

# INTERNATIONAL STANDARD

# NORME INTERNATIONALE



INTERNATIONAL SPECIAL COMMITTEE ON RADIO INTERFERENCE  
COMITÉ INTERNATIONAL SPÉCIAL DES PERTURBATIONS RADIOÉLECTRIQUES

**Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus  
and methods –**

**Part 1-4: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – Antennas  
and test sites for radiated disturbance measurements**

**Spécifications des méthodes et des appareils de mesure des perturbations  
radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques –**

**Partie 1-4: Appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de  
l'immunité aux perturbations radioélectriques – Antennes et emplacements  
d'essai pour les mesures des perturbations rayonnées**



## THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2020 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester. If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

IEC Central Office  
3, rue de Varembe  
CH-1211 Geneva 20  
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11  
[info@iec.ch](mailto:info@iec.ch)  
[www.iec.ch](http://www.iec.ch)

### About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

### About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigendum or an amendment might have been published.

#### IEC publications search - [webstore.iec.ch/advsearchform](http://webstore.iec.ch/advsearchform)

The advanced search enables to find IEC publications by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...). It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

#### IEC Just Published - [webstore.iec.ch/justpublished](http://webstore.iec.ch/justpublished)

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details all new publications released. Available online and once a month by email.

#### IEC Customer Service Centre - [webstore.iec.ch/csc](http://webstore.iec.ch/csc)

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: [sales@iec.ch](mailto:sales@iec.ch).

#### Electropedia - [www.electropedia.org](http://www.electropedia.org)

The world's leading online dictionary on electrotechnology, containing more than 22 000 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 16 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

#### IEC Glossary - [std.iec.ch/glossary](http://std.iec.ch/glossary)

67 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and definitions clause of IEC publications issued between 2002 and 2015. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

### A propos de l'IEC

La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des Normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

### A propos des publications IEC

Le contenu technique des publications IEC est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

#### Recherche de publications IEC -

[webstore.iec.ch/advsearchform](http://webstore.iec.ch/advsearchform)

La recherche avancée permet de trouver des publications IEC en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

#### IEC Just Published - [webstore.iec.ch/justpublished](http://webstore.iec.ch/justpublished)

Restez informé sur les nouvelles publications IEC. Just Published détaille les nouvelles publications parues. Disponible en ligne et une fois par mois par email.

#### Service Clients - [webstore.iec.ch/csc](http://webstore.iec.ch/csc)

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: [sales@iec.ch](mailto:sales@iec.ch).

#### Electropedia - [www.electropedia.org](http://www.electropedia.org)

Le premier dictionnaire d'électrotechnologie en ligne au monde, avec plus de 22 000 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 16 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

#### Glossaire IEC - [std.iec.ch/glossary](http://std.iec.ch/glossary)

67 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et définitions des publications IEC parues entre 2002 et 2015. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

# INTERNATIONAL STANDARD

# NORME INTERNATIONALE



INTERNATIONAL SPECIAL COMMITTEE ON RADIO INTERFERENCE  
COMITÉ INTERNATIONAL SPÉCIAL DES PERTURBATIONS RADIOÉLECTRIQUES

**Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus  
and methods –**

**Part 1-4: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – Antennas  
and test sites for radiated disturbance measurements**

**Spécifications des méthodes et des appareils de mesure des perturbations  
radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques –**

**Partie 1-4: Appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de  
l'immunité aux perturbations radioélectriques – Antennes et emplacements  
d'essai pour les mesures des perturbations rayonnées**

INTERNATIONAL  
ELECTROTECHNICAL  
COMMISSION

COMMISSION  
ELECTROTECHNIQUE  
INTERNATIONALE

ICS 33.100.10; 33.100.20

ISBN 978-2-8322-8547-3

**Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.**

**Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of CISPR 16-1-4:2019+AMD1:2020 CSV



## REDLINE VERSION

## VERSION REDLINE



INTERNATIONAL SPECIAL COMMITTEE ON RADIO INTERFERENCE  
COMITÉ INTERNATIONAL SPÉCIAL DES PERTURBATIONS RADIOÉLECTRIQUES

**Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods –**

**Part 1-4: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – Antennas and test sites for radiated disturbance measurements**

**Spécifications des méthodes et des appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques –**

**Partie 1-4: Appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Antennes et emplacements d'essai pour les mesures des perturbations rayonnées**

## CONTENTS

|                                                                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FOREWORD .....                                                                                                                        | 8  |
| 1 Scope .....                                                                                                                         | 10 |
| 2 Normative references .....                                                                                                          | 10 |
| 3 Terms, definitions and abbreviated terms .....                                                                                      | 11 |
| 3.1 Terms and definitions .....                                                                                                       | 11 |
| 3.2 Abbreviated terms .....                                                                                                           | 15 |
| 4 Antennas for measurement of radiated radio disturbance .....                                                                        | 16 |
| 4.1 General .....                                                                                                                     | 16 |
| 4.2 Physical parameter (measurand) for radiated disturbance measurements .....                                                        | 16 |
| 4.3 Antennas for the frequency range 9 kHz to 150 kHz .....                                                                           | 17 |
| 4.3.1 General .....                                                                                                                   | 17 |
| 4.3.2 Magnetic field antenna .....                                                                                                    | 17 |
| 4.3.3 Shielding of loop antenna .....                                                                                                 | 17 |
| 4.4 Antennas for the frequency range 150 kHz to 30 MHz .....                                                                          | 17 |
| 4.4.1 Electric field antenna .....                                                                                                    | 17 |
| 4.4.2 Magnetic field antenna .....                                                                                                    | 18 |
| 4.4.3 Balance and electric field discrimination of antennas .....                                                                     | 18 |
| 4.5 Antennas for the frequency range 30 MHz to 1 000 MHz .....                                                                        | 18 |
| 4.5.1 General .....                                                                                                                   | 18 |
| 4.5.2 Low-uncertainty antenna for use if there is an alleged non-compliance<br>to the electric disturbance field strength limit ..... | 18 |
| 4.5.3 Antenna characteristics .....                                                                                                   | 18 |
| 4.5.4 Balance of antenna .....                                                                                                        | 20 |
| 4.5.5 Cross-polar response of antenna .....                                                                                           | 22 |
| 4.6 Antennas for the frequency range 1 GHz to 18 GHz .....                                                                            | 23 |
| 4.6.1 General .....                                                                                                                   | 23 |
| 4.6.2 Receive antenna .....                                                                                                           | 23 |
| 4.7 Special antenna arrangements – large-loop antenna system .....                                                                    | 25 |
| 5 Test sites for measurement of radio disturbance field strength for the frequency<br>range of 9 kHz to 30 MHz .....                  | 26 |
| 6 Test sites for measurement of radio disturbance field strength for the frequency<br>range of 30 MHz to 1 000 MHz .....              | 26 |
| 6.1 General .....                                                                                                                     | 26 |
| 6.2 OATS .....                                                                                                                        | 26 |
| 6.2.1 General .....                                                                                                                   | 26 |
| 6.2.2 Weather-protection enclosure .....                                                                                              | 26 |
| 6.2.3 Obstruction-free area .....                                                                                                     | 26 |
| 6.2.4 Radio-frequency ambient environment of a test site .....                                                                        | 28 |
| 6.2.5 Ground plane .....                                                                                                              | 28 |
| 6.3 Suitability of other test sites .....                                                                                             | 28 |
| 6.3.1 Other ground-plane test sites .....                                                                                             | 28 |
| 6.3.2 Test sites without ground plane (FAR) .....                                                                                     | 29 |
| 6.4 Test site validations .....                                                                                                       | 29 |
| 6.4.1 General .....                                                                                                                   | 29 |
| 6.4.2 Overview of test site validations .....                                                                                         | 30 |
| 6.5 Basic parameters of the NSA method for OATS and SAC .....                                                                         | 30 |

|        |                                                                                                                |    |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 6.5.1  | General equation and table of theoretical NSA values.....                                                      | 30 |
| 6.5.2  | Antenna calibration .....                                                                                      | 34 |
| 6.6    | Reference site method for OATS and SAC .....                                                                   | 34 |
| 6.6.1  | General.....                                                                                                   | 34 |
| 6.6.2  | Antennas not permitted for RSM measurements .....                                                              | 35 |
| 6.6.3  | Determination of the antenna pair reference site attenuation on a REFTS .....                                  | 35 |
| 6.6.4  | Determination of the antenna pair reference site attenuation using an averaging technique on a large OATS..... | 36 |
| 6.7    | Validation of an OATS by the NSA method .....                                                                  | 39 |
| 6.7.1  | Discrete frequency method .....                                                                                | 39 |
| 6.7.2  | Swept frequency method.....                                                                                    | 40 |
| 6.8    | Validation of a weather-protection-enclosed OATS or a SAC .....                                                | 41 |
| 6.9    | Possible causes for exceeding site acceptability limits .....                                                  | 43 |
| 6.10   | Site validation for FARs .....                                                                                 | 44 |
| 6.10.1 | General.....                                                                                                   | 44 |
| 6.10.2 | RSM for FAR sites .....                                                                                        | 48 |
| 6.10.3 | NSA method for FAR sites .....                                                                                 | 50 |
| 6.10.4 | Site validation criteria for FAR sites .....                                                                   | 52 |
| 6.11   | Evaluation of set-up table and antenna tower.....                                                              | 52 |
| 6.11.1 | General.....                                                                                                   | 52 |
| 6.11.2 | Evaluation procedure for set-up table influences .....                                                         | 53 |
| 7      | Test sites for measurement of radio disturbance field strength for the frequency range 1 GHz to 18 GHz .....   | 54 |
| 7.1    | General.....                                                                                                   | 54 |
| 7.2    | Reference test site .....                                                                                      | 55 |
| 7.3    | Test site validation.....                                                                                      | 55 |
| 7.3.1  | General.....                                                                                                   | 55 |
| 7.3.2  | Acceptance criterion for site validation.....                                                                  | 56 |
| 7.4    | Antenna requirements for $S_{VSWR}$ standard test procedure .....                                              | 56 |
| 7.4.1  | General.....                                                                                                   | 56 |
| 7.4.2  | Transmit antenna .....                                                                                         | 57 |
| 7.4.3  | Antennas and test equipment for the $S_{VSWR}$ reciprocal test procedure .....                                 | 59 |
| 7.5    | Required positions for site validation testing .....                                                           | 60 |
| 7.5.1  | General.....                                                                                                   | 60 |
| 7.5.2  | Descriptions of $S_{VSWR}$ measurement positions in a horizontal plane (Figure 23).....                        | 60 |
| 7.5.3  | Descriptions of $S_{VSWR}$ additional measurement positions (Figure 24).....                                   | 61 |
| 7.5.4  | Summary of $S_{VSWR}$ measurement positions.....                                                               | 62 |
| 7.6    | $S_{VSWR}$ site validation – standard test procedure .....                                                     | 65 |
| 7.7    | $S_{VSWR}$ site validation – reciprocal test procedure using an isotropic field probe .....                    | 66 |
| 7.8    | $S_{VSWR}$ conditional measurement position requirements .....                                                 | 67 |
| 7.9    | $S_{VSWR}$ site validation test report.....                                                                    | 68 |
| 7.10   | Limitations of the $S_{VSWR}$ site validation method.....                                                      | 68 |
| 7.11   | Alternative test sites .....                                                                                   | 69 |
| 8      | Common mode absorption devices .....                                                                           | 69 |
| 8.1    | General.....                                                                                                   | 69 |
| 8.2    | CMAD $S$ -parameter measurements .....                                                                         | 69 |
| 8.3    | CMAD test jig.....                                                                                             | 69 |

|         |                                                                                                                                      |     |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 8.4     | Measurement method using the TRL calibration.....                                                                                    | 70  |
| 8.5     | Specification of ferrite clamp-type CMAD .....                                                                                       | 72  |
| 8.6     | CMAD performance (degradation) check using spectrum analyzer and tracking generator.....                                             | 73  |
| 9       | Reverberating chamber for total radiated power measurement .....                                                                     | 75  |
| 9.1     | General.....                                                                                                                         | 75  |
| 9.2     | Chamber.....                                                                                                                         | 75  |
| 9.2.1   | Chamber size and shape .....                                                                                                         | 75  |
| 9.2.2   | Door, openings in walls, and mounting brackets.....                                                                                  | 75  |
| 9.2.3   | Stirrers .....                                                                                                                       | 76  |
| 9.2.4   | Test for the efficiency of the stirrers.....                                                                                         | 76  |
| 9.2.5   | Coupling attenuation.....                                                                                                            | 77  |
| 10      | TEM cells for immunity to radiated disturbance measurement.....                                                                      | 78  |
| Annex A | (normative) Parameters of antennas .....                                                                                             | 79  |
| A.1     | General.....                                                                                                                         | 79  |
| A.2     | Preferred antennas .....                                                                                                             | 79  |
| A.2.1   | General.....                                                                                                                         | 79  |
| A.2.2   | Calculable antenna .....                                                                                                             | 79  |
| A.2.3   | Low-uncertainty antennas .....                                                                                                       | 79  |
| A.3     | Simple dipole antennas.....                                                                                                          | 80  |
| A.3.1   | General.....                                                                                                                         | 80  |
| A.3.2   | Tuned dipole.....                                                                                                                    | 81  |
| A.3.3   | Shortened dipole.....                                                                                                                | 81  |
| A.4     | Broadband antenna parameters .....                                                                                                   | 82  |
| A.4.1   | General.....                                                                                                                         | 82  |
| A.4.2   | Antenna type .....                                                                                                                   | 83  |
| A.4.3   | Specification of the antenna.....                                                                                                    | 83  |
| A.4.4   | Antenna calibration.....                                                                                                             | 84  |
| A.4.5   | Antenna user information .....                                                                                                       | 84  |
| Annex B | (XXX) (Void) .....                                                                                                                   | 85  |
| Annex C | (normative) Large-loop antenna system for magnetic field induced-current measurements in the frequency range of 9 kHz to 30 MHz..... | 86  |
| C.1     | General.....                                                                                                                         | 86  |
| C.2     | Construction of an LLAS .....                                                                                                        | 86  |
| C.3     | Construction of a large-loop antenna (LLA).....                                                                                      | 86  |
| C.4     | Validation of an LLAS .....                                                                                                          | 91  |
| C.5     | Construction of the LLAS verification dipole antenna.....                                                                            | 94  |
| C.6     | Conversion factors .....                                                                                                             | 96  |
| C.6.1   | General.....                                                                                                                         | 98  |
| C.6.2   | Current conversion factors for an LLAS with non-standard diameter .....                                                              | 99  |
| C.6.3   | Conversion of LLAS measured current to magnetic field strength.....                                                                  | 100 |
| C.7     | Examples.....                                                                                                                        | 102 |
| Annex D | (normative) Construction details for open area test sites in the frequency range of 30 MHz to 1 000 MHz (see Clause 6).....          | 104 |
| D.1     | General.....                                                                                                                         | 104 |
| D.2     | Ground plane construction .....                                                                                                      | 104 |
| D.2.1   | Material .....                                                                                                                       | 104 |
| D.2.2   | Roughness .....                                                                                                                      | 104 |
| D.3     | Services to EUT.....                                                                                                                 | 105 |

|                       |                                                                                                                         |     |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| D.4                   | Weather-protection enclosure construction .....                                                                         | 105 |
| D.4.1                 | Materials and fasteners .....                                                                                           | 105 |
| D.4.2                 | Internal arrangements .....                                                                                             | 106 |
| D.4.3                 | Size .....                                                                                                              | 106 |
| D.4.4                 | Uniformity with time and weather .....                                                                                  | 106 |
| D.5                   | Turntable and set-up table .....                                                                                        | 106 |
| D.6                   | Receive antenna mast installation .....                                                                                 | 107 |
| Annex E (xxx)         | (Void) .....                                                                                                            | 108 |
| Annex F (informative) | Basis for $\pm 4$ dB site acceptability criterion (see Clause 6) .....                                                  | 109 |
| F.1                   | General .....                                                                                                           | 109 |
| F.2                   | Error analysis .....                                                                                                    | 109 |
| Annex G (informative) | Examples of uncertainty budgets for site validation of a COMTS using RSM with a calibrated antenna pair (see 6.6) ..... | 111 |
| G.1                   | Quantities to be considered for antenna pair reference site attenuation calibration using the averaging technique ..... | 111 |
| G.2                   | Quantities to be considered for antenna pair reference site attenuation calibration using a REFTS .....                 | 112 |
| G.3                   | Quantities to be considered for COMTS validation using an antenna pair reference site attenuation .....                 | 113 |
| Annex H (informative) | Definition of uncertainty in cross-polar response measurement .....                                                     | 114 |
| H.1                   | General .....                                                                                                           | 114 |
| H.2                   | Example uncertainty estimate .....                                                                                      | 116 |
| H.3                   | Rationale for the estimates of input quantities in Table H.1 and Table H.3 .....                                        | 117 |
| H.4                   | Measurement of XPR below 100 MHz at an OATS .....                                                                       | 118 |
| Bibliography          | .....                                                                                                                   | 120 |

|           |                                                                                                                                                                                    |    |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 1  | – Schematic of radiation from EUT reaching an LPDA antenna directly and via ground reflection at a 3 m site, showing the beamwidth half-angle, $\phi$ , at the reflected ray ..... | 19 |
| Figure 2  | – RX antenna E-plane radiation pattern example, with limit area shaded for 3 m distance and 2 m EUT width .....                                                                    | 24 |
| Figure 3  | – Determination of maximum useable EUT width using half-power beamwidth .....                                                                                                      | 24 |
| Figure 4  | – Determination of maximum useable EUT height using half-power beamwidth .....                                                                                                     | 25 |
| Figure 5  | – Obstruction-free area of a test site with a turntable .....                                                                                                                      | 27 |
| Figure 6  | – Obstruction-free area with stationary EUT .....                                                                                                                                  | 27 |
| Figure 7  | – Test point locations for 3 m and 10 m test distances .....                                                                                                                       | 36 |
| Figure 8  | – Paired test point locations for all test distances .....                                                                                                                         | 38 |
| Figure 9  | – Example of paired test point selection for a test distance of 10 m .....                                                                                                         | 38 |
| Figure 10 | – Illustration of an investigation of influence of antenna mast on $A_{APR}$ .....                                                                                                 | 39 |
| Figure 11 | – Typical antenna positions for a weather-protected OATS or a SAC – vertical polarization validation measurements .....                                                            | 42 |
| Figure 12 | – Typical antenna positions for a weather-protected OATS or a SAC – horizontal polarization validation measurements .....                                                          | 42 |
| Figure 13 | – Typical antenna positions for a weather-protected OATS or a SAC – vertical polarization validation measurements for a smaller EUT .....                                          | 43 |
| Figure 14 | – Typical antenna positions for a weather-protected OATS or a SAC – horizontal polarization validation measurements for a smaller EUT .....                                        | 43 |
| Figure 15 | – Measurement positions for FAR site validation .....                                                                                                                              | 46 |

|                                                                                                                                                                                                                                                 |               |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| Figure 16 – Example of one measurement position and antenna tilt for FAR site validation .....                                                                                                                                                  | 48            |
| Figure 17 – Typical quasi free-space test site reference SA measurement set-up .....                                                                                                                                                            | 50            |
| Figure 18 – Theoretical free-space NSA as a function of frequency for different measurement distances [see Equation (16)].....                                                                                                                  | 52            |
| Figure 19 – Position of the antenna relative to the edge above a rectangle set-up table (top view).....                                                                                                                                         | 54            |
| Figure 20 – Antenna position above the set-up table (side view) .....                                                                                                                                                                           | 54            |
| Figure 21 – Transmit antenna E-plane radiation pattern example (this example is for informative purposes only).....                                                                                                                             | 58            |
| Figure 22 – Transmit antenna H-plane radiation pattern (this example is for informative purposes only) .....                                                                                                                                    | 59            |
| Figure 23 – $S_{VSWR}$ measurement positions in a horizontal plane (see 7.5.2 for description).....                                                                                                                                             | 60            |
| Figure 24 – $S_{VSWR}$ positions (height requirements) .....                                                                                                                                                                                    | 62            |
| Figure 25 – $S_{VSWR}$ conditional measurement position requirements .....                                                                                                                                                                      | 68            |
| Figure 26 – Definition of the reference planes inside the test jig .....                                                                                                                                                                        | 70            |
| Figure 27 – The four configurations for the TRL calibration .....                                                                                                                                                                               | 72            |
| Figure 28 – Limits for the magnitude of $S_{11}$ , measured according to the provisions of 8.1 to 8.3 .....                                                                                                                                     | 73            |
| Figure 29 – Example of a 50 $\Omega$ adaptor construction in the vertical flange of the jig .....                                                                                                                                               | 74            |
| Figure 30 – Example of a matching adaptor with balun or transformer .....                                                                                                                                                                       | 74            |
| Figure 31 – Example of a matching adaptor with resistive matching network.....                                                                                                                                                                  | 75            |
| Figure 32 – Example of a typical paddle stirrer .....                                                                                                                                                                                           | 76            |
| Figure 33 – Range of coupling attenuation as a function of frequency for a chamber using the stirrer shown in Figure 32 .....                                                                                                                   | 77            |
| Figure A.1 – Short dipole antenna factors for $R_L = 50 \Omega$ .....                                                                                                                                                                           | 82            |
| Figure C.1 – The LLAS, consisting of three mutually perpendicular large-loop antennas .....                                                                                                                                                     | 88            |
| Figure C.2 – An LLA containing two opposite slits, positioned symmetrically with respect to the current probe C .....                                                                                                                           | 89            |
| Figure C.3 – Construction of an LLA slit.....                                                                                                                                                                                                   | 89            |
| Figure C.4 – Example of an LLA slit construction using a strap of printed circuit board to obtain a rigid construction .....                                                                                                                    | 90            |
| Figure C.5 – Construction of the metal box containing the current probe.....                                                                                                                                                                    | 90            |
| Figure C.6 – Example showing the routing of several cables from an EUT to minimize capacitive coupling from the leads to the LLAS .....                                                                                                         | 91            |
| Figure C.7 – The eight positions of the LLAS verification dipole during validation of an LLA .....                                                                                                                                              | 92            |
| Figure C.8 – <del>Validation factor for an LLA of 2 m diameter</del> Reference validation factors for loops of 2 m, 3 m, and 4 m diameters .....                                                                                                | 93            |
| Figure C.9 – Construction of the LLAS verification dipole antenna .....                                                                                                                                                                         | 96            |
| <del>Figure C.10 – Conversion factors <math>C_{dA}</math> [for conversion into dB(<math>\mu A/m</math>)] and <math>C_{dV}</math> [for conversion into dB(<math>\mu V/m</math>)] for two standard measuring distances <math>d</math> .....</del> | <del>97</del> |
| <del>Figure C.11 – Sensitivity <math>S_D</math> of a large-loop antenna with diameter <math>D</math> relative to a large-loop antenna having a diameter of 2 m .....</del>                                                                      | <del>98</del> |
| Figure C.10 – Sensitivity $S_D$ of an LLA with diameter $D$ relative to an LLA with 2 m diameter .....                                                                                                                                          | 99            |

|                                                                                                                                  |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figure C.11 – Conversion factor $C_{dA}$ [for conversion into dB( $\mu$ A/m)] for three standard measurement distances $d$ ..... | 101 |
| Figure D.1 – The Rayleigh criterion for roughness in the ground plane .....                                                      | 105 |

|                                                                                                                                      |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Table 1 – Site validation methods applicable for OATS, OATS-based, SAC, and FAR site types .....                                     | 30  |
| Table 2 – Theoretical normalized site attenuation, $A_N$ – recommended geometries for broadband antennas <sup>a</sup> (1 of 2) ..... | 32  |
| Table 3 – Example template for $A_{APR}$ data sets .....                                                                             | 35  |
| Table 4 – RSM frequency steps .....                                                                                                  | 35  |
| Table 5 – Maximum dimensions of test volume versus test distance .....                                                               | 44  |
| Table 6 – Frequency ranges and step sizes for FAR site validation .....                                                              | 48  |
| Table 7 – $S_{VSWR}$ measurement position designations (1 of 3) .....                                                                | 63  |
| Table 8 – $S_{VSWR}$ reporting requirements .....                                                                                    | 68  |
| Table C.1 – Reference validation factors of Figure C.8 for loops of 2 m, 3 m, and 4 m diameters .....                                | 94  |
| Table C.2 – Sensitivity $S_D$ of an LLA with diameter $D$ relative to an LLA with 2 m diameter (Figure C.10) .....                   | 100 |
| Table C.3 – Magnetic field strength conversion factor $C_{dA}$ for three measurement distances (Figure C.11) .....                   | 102 |
| Table D.1 – Maximum roughness for 3 m, 10 m and 30 m measurement distances .....                                                     | 105 |
| Table F.1 – Error budget .....                                                                                                       | 109 |
| Table G.1 – Antenna pair reference site attenuation calibration using the large-OATS averaging technique .....                       | 111 |
| Table G.2 – Antenna pair reference site attenuation calibration using REFTS .....                                                    | 112 |
| Table G.3 – COMTS validation using an antenna pair reference site attenuation .....                                                  | 113 |
| Table H.1 – Example uncertainty estimate for XPR measurement in a FAR and assumed $a_{xpT} = 22$ dB, $a_{xpR} = 34$ dB .....         | 117 |
| Table H.2 – Uncertainties depending on other values of $A_{xpT}$ (other assumptions as in Table H.1) .....                           | 118 |
| Table H.3 – Example uncertainty estimate for XPR measurement at an OATS and assumed $a_{xpT} = 22$ dB, $a_{xpR} = 34$ dB .....       | 119 |



# INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

## INTERNATIONAL SPECIAL COMMITTEE ON RADIO INTERFERENCE

### SPECIFICATION FOR RADIO DISTURBANCE AND IMMUNITY MEASURING APPARATUS AND METHODS –

#### Part 1-4: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – Antennas and test sites for radiated disturbance measurements

#### FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights

**This consolidated version of the official IEC Standard and its amendment has been prepared for user convenience.**

**CISPR 16-1-4 edition 4.1 contains the fourth edition (2019-01) [documents CIS/A/1262/FDIS and CIS/A/1275/RVD] and its amendment 1 (2020-06) [documents CIS/A/1316/FDIS and CIS/A/1320/RVD].**

**In this Redline version, a vertical line in the margin shows where the technical content is modified by amendment 1. Additions are in green text, deletions are in strikethrough red text. A separate Final version with all changes accepted is available in this publication.**



This edition constitutes a technical revision.

This edition includes the following significant technical changes with respect to the previous edition:

- provisions are added to address test site validation in the frequency range from 30 MHz to 1000 MHz using the reference site method, to take into account the receive antenna radiation pattern in the frequency range from 1 GHz to 18 GHz, and further details on test site validation using the NSA method with broadband antennas in the frequency range from 30 MHz to 1 000 MHz.

International Standard CISPR 16-1-4 has been prepared by CISPR subcommittee A: Radio-interference measurements and statistical methods.

It has the status of a basic EMC publication in accordance with IEC Guide 107, *Electromagnetic compatibility – Guide to the drafting of electromagnetic compatibility publications*.

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

A list of all parts of CISPR 16 series, under the general title *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods*, can be found on the IEC website.

The committee has decided that the contents of the base publication and its amendment will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

- reconfirmed,
- withdrawn,
- replaced by a revised edition, or
- amended.

**IMPORTANT – The 'colour inside' logo on the cover page of this publication indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this document using a colour printer.**

## SPECIFICATION FOR RADIO DISTURBANCE AND IMMUNITY MEASURING APPARATUS AND METHODS –

### Part 1-4: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – Antennas and test sites for radiated disturbance measurements

#### 1 Scope

This part of CISPR 16 specifies the characteristics and performance of equipment for the measurement of radiated disturbances in the frequency range 9 kHz to 18 GHz. Specifications for antennas and test sites are included.

NOTE In accordance with IEC Guide 107, CISPR 16-1-4 is a basic EMC publication for use by product committees of the IEC. As stated in Guide 107, product committees are responsible for determining the applicability of the EMC standard. CISPR and its sub-committees are prepared to cooperate with product committees in the evaluation of the value of particular EMC tests for specific products.

The requirements of this publication apply at all frequencies and for all levels of radiated disturbances within the CISPR indicating range of the measuring equipment.

Methods of measurement are covered in Part 2-3, further information on radio disturbance is given in Part 3, and uncertainties, statistics and limit modelling are covered in Part 4 of CISPR 16.

#### 2 Normative references

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

CISPR 16-1-1, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 1-1: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – Measuring apparatus*

CISPR 16-1-5:2014, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 1-5: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – Antenna calibration sites and reference test sites for 5 MHz to 18 GHz*  
CISPR 16-1-5:2014/AMD1:2016

CISPR 16-1-6:2014, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 1-6: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – EMC antenna calibration*  
CISPR 16-1-6:2014/AMD1:2017

CISPR 16-2-3:2016, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 2-3: Methods of measurement of disturbances and immunity – Radiated disturbance measurements*

CISPR TR 16-3, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 3: CISPR technical reports*

### 3 Terms, definitions and abbreviated terms

For the purposes of this document, the terms, definitions and abbreviated terms given in CISPR 16-1-1, CISPR 16-1-5, IEC 60050-161 and the following apply.

ISO and IEC maintain terminological databases for use in standardization at the following addresses:

- IEC Electropedia: available at <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: available at <http://www.iso.org/obp>

#### 3.1 Terms and definitions

##### 3.1.1

##### **antenna**

transducer that converts the guided electromagnetic energy of the feed line into a radiated wave in space and vice versa

Note 1 to entry: In the context of this document, for antennas for which a balun is intrinsic to the functioning of the antenna, the term "antenna" includes the balun.

##### 3.1.2

##### **antenna factor**

AF

$F_a$

ratio of the electric field strength of a plane wave incident from the direction corresponding to the mechanical boresight (i.e. the main axis of the antenna) to the voltage induced across a specified load connected to the antenna, measured in a free-space environment

Note 1 to entry: The abbreviation AF is used as a general term to denote antenna factor, whereas  $F_a$  denotes the boresight AF in free-space. AF is affected by the load impedance (typically 50  $\Omega$ ) connected to the antenna, and is frequency dependent. For a biconical antenna this impedance could be up to 200  $\Omega$ . For antennas with no balun the impedance is equal to the load impedance, typically 50  $\Omega$ . AF can be affected by mutual coupling of the antenna to the ground plane, and is directivity dependent. For more details see the definitions and 4.2 in CISPR 16-1-6:2014.

Note 2 to entry: The AF has the physical dimension of  $m^{-1}$  and measured data are normally expressed in dB relative to 1/m [dB( $m^{-1}$ )]. In radiated disturbance measurements, if  $F_a$  is known, the strength of an incident field,  $E$ , can be estimated from a reading,  $V$ , of a measuring receiver connected to the antenna as follows:

$$E = V + F_a$$

where  $E$  is in dB( $\mu V/m$ ),  $V$  is in dB( $\mu V$ ) and  $F_a$  is in dB( $m^{-1}$ ).

##### 3.1.3

##### **antenna pair reference site attenuation**

$A_{APR}$

set of site attenuation measurement results for both vertical and horizontal polarizations using a pair of antennas separated by a defined distance at an ideal open-area test site, with one antenna at a specified fixed height above the ground plane, and the other antenna scanned over a specified height range in which the minimum insertion loss is recorded

Note 1 to entry:  $A_{APR}$  is an influence quantity for uncertainty calculation of site validation measurements using RSM.

Note 2 to entry:  $A_{APR}$  measurements are used for comparison to corresponding site attenuation measurements of a COMTS to evaluate the performance of the COMTS.

### 3.1.4

#### **antenna reference point**

midpoint of an antenna from which the distance to the EUT or second antenna is measured

Note 1 to entry: The antenna reference point is either defined by the manufacturer using a marker on LPDA antennas or by the calibration laboratory.

### 3.1.5

#### **balun**

device for transforming an unbalanced transmission line to a balanced transmission line and vice versa

Note 1 to entry: A balun is used, for example, to couple balanced antenna elements to an unbalanced feed line, such as a coaxial cable. A balun may exhibit inherent impedance transformation differing from unity.

### 3.1.6

#### **calibration test site**

CALTS

open area test site with metallic ground plane and tightly specified site attenuation performance in horizontal electric field polarization

Note 1 to entry: A CALTS is used for determining the free-space antenna factor of an antenna.

### 3.1.7

#### **common mode absorption device**

CMAD

device that may be applied on cables leaving the test volume in radiated disturbance measurements to reduce the compliance uncertainty

### 3.1.8

#### **compliance test site**

COMTS

environment that assures valid, reproducible measurement results of the disturbance field strength from equipment under test for comparison to a compliance limit

### 3.1.9

#### **cross-polar response**

XPR

measure of the rejection by the antenna of the cross-polarized field, when the antenna is rotated in a linearly polarized electromagnetic field that is uniform in phase and amplitude over the aperture of the antenna under test

### 3.1.10

#### **EUT volume**

cylinder defined by EUT boundary diameter and height that fully encompasses all portions of the actual EUT, including cable racks and 1,6 m of cable length (30 MHz to 1 GHz) and 0,3 m of cable length (1 GHz and above)

Note 1 to entry: The test volume is one of several criteria limiting the EUT volume (see CISPR 16-2-3).

Note 2 to entry: The EUT volume has a diameter  $D$  (boundary diameter) and height  $h$ .

### 3.1.11

#### **fully-anechoic room**

FAR

an enclosure, the six internal surfaces of which are lined with radio-frequency-energy absorbing material (i.e. RF absorber) that attenuates electromagnetic energy in the frequency range of interest

Note 1 to entry: For general radiated disturbance measurement purposes, a FAR should be constructed inside a shielded enclosure.

### 3.1.12

#### hybrid antenna

antenna consisting of a wire-element log-periodic dipole array (LPDA) section and a broadband dipole section

Note 1 to entry: The longest element of the LPDA section is typically resonant at approximately 200 MHz, and the boom is lengthened at the open-circuit end to feed the connected broadband dipole (e.g. biconical or bowtie) section. Over the range 30 MHz to 200 MHz, the broadband dipole exhibits a performance similar to a biconical antenna, notably in the variation of height-dependent antenna factor.

Note 2 to entry: A common-mode choke is typically used at the open-circuit (i.e. rear) end of the boom to minimize parasitic (unintended) RF currents on the outer conductor of the coaxial cable flowing into the measuring receiver.

### 3.1.13

#### ideal open-area test site

open-area test site having a perfectly flat, perfectly conducting ground plane of infinite area, and with no reflecting objects except the ground plane

Note 1 to entry: An ideal OATS is a theoretical construct that is used in the definition of the measurand  $A_{APR}$  and in the calculation of the theoretical normalized site attenuation  $A_N$  for ground plane sites.

### 3.1.14

#### insertion loss

loss arising from the insertion of a device into a transmission line, expressed as the ratio of voltages immediately before and after the point of insertion of a device under test, before and after the insertion

Note 1 to entry: Insertion loss is equal to the inverse of the transmission  $S$ -parameter, i.e.  $|1/S_{21}|$ .

### 3.1.15

#### low-uncertainty antenna

robust biconical or LPDA antenna that meets the balance and XPR requirements of this document, and whose antenna factor has an uncertainty of less than 0,5 dB, used for the measurement of electric field strength at a defined point in space

Note 1 to entry: Low-uncertainty antennas are further described in A.2.3.

### 3.1.16

#### mechanical boresight

boresight direction

boresight

direction of the main beam, which is defined by the geometric properties of the antenna

Note 1 to entry: For EMC antennas the direction of the main beam is usually: a) coincident with the direction in line with the mechanical longitudinal axis of LPDA antennas; b) orthogonal to the elements of monopole, dipole, and biconical antennas; and c) orthogonal to the front aperture of horn antennas. In each of these cases, the orthogonal line is coincident with the centre of the antenna.

### 3.1.17

#### null

minimum in signal level resulting from the vector sum of the direct and ground-reflected signals at the receive antenna and with the level being considerably lower than the in-phase sum of these signals

Note 1 to entry: The depth of a null is measured from the in-phase sum of the direct and ground reflected signals. A null in the received signal occurs when the antennas are above a ground plane at heights such that the direct and ground reflected signals are in anti-phase, which can result in large uncertainty in the measurement of field strength. A null extends from 90° to 180° out of phase. At 90° the null depth is approximately 6 dB. The depth is compared to the nearest adjacent maximum signal in the swept frequency response (or height scan of one antenna at a fixed frequency).

Note 2 to entry: The dip in signal level on boresight for some DRH antennas is sometimes referred to as a null. This definition does not apply to such dips.

Note 3 to entry: IEC 60050-726:1982, 726-02-07 defines standing-wave minimum, with synonym node (of a standing wave), as the location in a propagation medium where the vectorial sum of a specified field quantity of two waves creating a standing wave is a minimum.

### 3.1.18

#### **quasi free-space test site**

facility for radiated disturbance measurements that is intended to achieve free-space conditions

Note 1 to entry: Unwanted reflections from the surroundings are kept to a minimum, to satisfy the site acceptance criterion applicable to the radiated disturbance measurement procedure being considered.

### 3.1.19

#### **reference test site**

REFTS

open-area test site with metallic ground plane and tightly specified site attenuation performance in horizontal and vertical electric field polarizations

Note 1 to entry: Site attenuation measurements of a REFTS are used for comparison to corresponding site attenuation measurements of a compliance test site, in order to evaluate the performance of the compliance test site.

### 3.1.20

#### **reflection coefficient**

ratio of a common quantity to both the reflected and incident travelling waves

Note 1 to entry: Hence, the voltage reflection coefficient is defined as the ratio of the complex voltage of the reflected wave to the complex voltage of the incident wave. The voltage reflection coefficient is equal to the scattering parameter  $S_{11}$ .

### 3.1.21

#### **resonant dipole antenna**

tuned dipole antenna

antenna consisting of two straight collinear conductors of equal length, placed end to end, separated by a small gap constituting a balanced feed, with each conductor approximately a quarter-wavelength long such that at the specified frequency the input impedance of the wire antenna measured across the gap has zero reactance when the dipole is located in the free space

### 3.1.22

#### **scattering parameters**

$S$ -parameters

set of four parameters used to describe the properties of a two-port network inserted into a transmission line

### 3.1.23

#### **semi-anechoic chamber**

SAC

shielded enclosure, in which five of the six internal surfaces are lined with radio-frequency absorbing material that attenuates electromagnetic energy (i.e. RF absorber) in the frequency range of interest, and the bottom horizontal surface is a conducting ground plane for use with OATS test set-ups

### 3.1.24

#### **short-open-load-through calibration method**

SOLT

through-open-short-match calibration method

TOSM

calibration method for a vector network analyzer using three known impedance standards – short, open, and match/load, and a single transmission standard – through

Note 1 to entry: The SOLT method is widely used, and the necessary calibration kits with 50  $\Omega$  characteristic impedance components are commonly available. A full two-port error model includes six error terms for each of the forward and reverse directions, for a total of twelve separate error terms, and requires twelve reference measurements to perform the calibration.

### 3.1.25 site attenuation

SA

$A_s$

minimum site insertion loss measured between two polarization-matched antennas located at a test site when one antenna is moved vertically over a specified height range and the other is set at a fixed height

Note 1 to entry: The terms site insertion loss (see 3.1.26) and site attenuation describe essentially the same measurement, however the term site attenuation (SA) is used in the context of finding the minimum site insertion loss (SIL) between a pair of antennas when one antenna is scanned in height above a ground plane.

### 3.1.26 site insertion loss SIL

$A_i$

transmission loss between two polarization-matched antennas when a direct electrical connection between the signal generator output and the measuring receiver input is replaced by a transmit antenna and a receive antenna placed at specified positions at a test site

### 3.1.27 test volume

validated volume within a test facility in which an EUT may be positioned

Note 1 to entry: Validation procedures in this document are used to determine the test volume.

Note 2 to entry: The test volume as defined in this document is cylindrical in shape. Different test volume shapes have been defined in other documents, e.g. in cubic form in IEC 61000-4-20 [22] (TEM waveguides).

### 3.1.28 through-reflect-line (TRL) calibration

calibration method for a vector network analyzer using three known impedance standards “through”, “reflect,” and “line” for the internal or external calibration of the VNA

Note 1 to entry: Four reference measurements are needed for this calibration.

### 3.1.29 vector network analyzer

VNA

network analyzer capable of measuring complex values of the four  $S$ -parameters  $S_{11}$ ,  $S_{12}$ ,  $S_{21}$ ,  $S_{22}$

## 3.2 Abbreviated terms

The following are abbreviations used in this document that are not already given in 3.1.

|        |                         |
|--------|-------------------------|
| AUT    | antenna under test      |
| DRH    | double ridged horn      |
| EUT    | equipment under test    |
| FSOATS | free-space OATS         |
| HP     | horizontal polarization |
| LLA    | large-loop antenna      |



|                   |                                  |
|-------------------|----------------------------------|
| LLAS              | large-loop antenna system        |
| LPDA              | log-periodic dipole array        |
| NSA               | normalized site attenuation      |
| OATS              | open-area test site              |
| PDF               | probability density function     |
| RF                | radio frequency                  |
| RSM               | reference site method            |
| RX                | receive                          |
| $S_{\text{VSWR}}$ | site voltage standing wave ratio |
| TX                | transmit                         |
| VP                | vertical polarization            |
| VSWR              | voltage standing wave ratio      |
| XP                | cross polarization               |

## 4 Antennas for measurement of radiated radio disturbance

### 4.1 General

Antennas of the type that are used for radiated disturbance measurements, having been calibrated, shall be used to measure the field strength, taking into account their radiation patterns and mutual coupling with their surroundings. The antenna and the circuits inserted between it and the measuring receiver shall not appreciably affect the overall characteristics of the measuring receiver. When the antenna is connected to the measuring receiver, the measuring system shall comply with the bandwidth requirements of CISPR 16-1-1 appropriate to the frequency band concerned.

The antenna shall be linearly polarized. It shall be orientable so that all polarizations of incident radiation can be measured. The height of the centre of the antenna above ground or above the absorber in a FAR may have to be adjustable according to a specific measurement procedure.

The accuracy of field-strength measurement of a uniform field of a sine-wave signal shall be better than  $\pm 3$  dB when an antenna meeting the requirements of this subclause is used with a measuring receiver meeting the requirements of CISPR 16-1-1.

NOTE This requirement does not include the effect due to a test site.

For additional information about the parameters of broadband antennas, see Annex A.

### 4.2 Physical parameter (measurand) for radiated disturbance measurements

The physical parameter for radiated disturbance measurements made against a disturbance limit expressed in volts per metre is electric field strength measured at a defined point in space relative to the position of the equipment under test (EUT). More specifically, for measurements in the frequency range 30 MHz to 1 000 MHz on an OATS or in a SAC, the measurand is the maximum field strength as a function of horizontal and vertical polarization and at heights between 1 m and 4 m, and at a horizontal distance of 10 m from the EUT, while the EUT is rotated over all angles in the azimuth plane.

### 4.3 Antennas for the frequency range 9 kHz to 150 kHz

#### 4.3.1 General

Experience has shown that, in this frequency range, it is the magnetic field component that is primarily responsible for observed instances of interference.

#### 4.3.2 Magnetic field antenna

For measurement of the magnetic component of the radiation, either an electrically-screened loop antenna of dimension such that the antenna can be completely enclosed by a square having sides of 60 cm in length, or an appropriate ferrite-rod antenna, may be used.

The unit of magnetic field strength is  $\mu\text{A/m}$ . In logarithmic units  $H$  is in  $\text{dB}(\mu\text{A/m})$ , or 20 times the log of the measured field strength level. The associated disturbance limit shall be expressed in the same units.

NOTE Direct measurements can be made of the strength of the magnetic component, in  $\text{dB}(\mu\text{A/m})$  or  $\mu\text{A/m}$  of a radiated field under all conditions, that is, both in the near field and in the far field. However, many field strength measuring receivers are calibrated in terms of the equivalent plane-wave electric field strength in  $\text{dB}(\mu\text{V/m})$ , i.e. assuming that the ratio of the  $E$  and  $H$  components is  $120\pi\ \Omega$  or  $377\ \Omega$ . Calculations for  $H$  are as follows:

$$H = \frac{E}{377\ \Omega} \quad (1)$$

where  $H$  is typically in  $\mu\text{A/m}$  and  $E$  in  $\mu\text{V/m}$ .

For measurements in dB:

$$H = E - 51,5 \quad (2)$$

where  $H$  is in  $\text{dB}(\mu\text{A/m})$  and  $E$  in  $\text{dB}(\mu\text{V/m})$ .

The impedance used in the above conversions,  $Z = 377\ \Omega$ , with  $20\ \lg Z = 51,5\ \text{dB}(\Omega)$ , is a constant originating from the calibration of field strength measuring equipment indicating the magnetic field strength in  $\mu\text{V/m}$  (or  $\text{dB}(\mu\text{V/m})$ ).

#### 4.3.3 Shielding of loop antenna

Inadequate shielding of a loop antenna can result in electric field response. The electric field discrimination of the antenna shall be evaluated by rotating the antenna in a uniform field, such that the plane of the loop remains parallel to the electric field vector. When the plane of the loop antenna is perpendicular to the magnetic flux and then the antenna is rotated so that its plane is parallel to the magnetic flux, the measured response shall decrease by at least 20 dB.

### 4.4 Antennas for the frequency range 150 kHz to 30 MHz

#### 4.4.1 Electric field antenna

For the measurement of the electric component of the radiation, either a balanced or an unbalanced antenna may be used. If an unbalanced antenna is used, the measurement will refer only to the effect of the electric field on a monopole (rod) antenna. The type of antenna used shall be stated with the results of the measurements.

Information pertaining to calculating the performance characteristics of a monopole (rod) antenna and the characterization of its matching network is specified in CISPR 16-1-6. CISPR 16-1-6 states that the antenna factor derived by the Equivalent Capacitance Substitution Method (ECSM) has greater uncertainties for monopole lengths greater than one-eighth of a wavelength.

The unit of electric field strength shall be  $\mu\text{V/m}$ . In logarithmic units,  $E$  shall be expressed in  $\text{dB}(\mu\text{V/m})$ , or 20 times the logarithm of the measured field strength level. The associated disturbance limit shall be expressed in the same units.

#### 4.4.2 Magnetic field antenna

For the measurement of the magnetic component of the radiation, an electrically-screened loop antenna, as described in 4.3.2 shall be used.

NOTE Tuned electrically balanced loop antennas can be used to make measurements of magnetic field strengths as low as  $-51,5 \text{ dB}(\mu\text{A/m})$  using QP detection in the frequency range 1,6 MHz to 30 MHz, i.e. lower than with untuned electrically-screened loop antennas where the noise level is approximately 25 dB higher.

#### 4.4.3 Balance and electric field discrimination of antennas

If a balanced electric field antenna is used, it shall comply with the requirement of 4.5.4. If a balanced magnetic field antenna is used, it shall comply with the requirement of 4.3.3.

### 4.5 Antennas for the frequency range 30 MHz to 1 000 MHz

#### 4.5.1 General

In this frequency range, the measurements are of the electric field strength, so magnetic field antennas are not included. The antenna shall be a dipole-like antenna designed to measure the electric field strength, and the free-space antenna factor shall be used. The antenna types include:

- tuned dipole antennas, whose element pairs are either straight rods or conical in shape;
- dipole arrays such as the log-periodic dipole array (LPDA) antennas, comprising a series of staggered sets of straight rod elements;
- hybrid antennas.

#### 4.5.2 Low-uncertainty antenna for use if there is an alleged non-compliance to the electric disturbance field strength limit

For lower measurement uncertainty, the value of electric field strength measured by a typical biconical antenna or LPDA antenna is preferred, in particular over hybrid antennas. Typical biconical and LPDA antennas are defined in Annex A, and only calibrated antennas shall be used.

NOTE 1 Improved uncertainties are achieved by using a biconical antenna over the frequency range 30 MHz to 250 MHz and an LPDA antenna over the range 250 MHz to 1 GHz. Alternatively, a change-over frequency of 200 MHz can be used, but uncertainties due to phase centre variations of the LPDA will be higher.

NOTE 2 The measurement uncertainty of radiated disturbance from an EUT depends on many different influence factors such as the quality of the site, antenna factor uncertainty, antenna type, and the measuring receiver characteristics. The reason for defining low-uncertainty antennas is to limit other antenna influences on the measurement uncertainty, such as the effect of mutual coupling with a ground plane, the radiation pattern with respect to height scanning, and the variable phase centre position. Verification of effects of these influences is accomplished by a comparison of the readings of the two antennas at the selected change-over frequency, which should give the same value of electric field strength within a margin of  $\pm 1 \text{ dB}$ .

#### 4.5.3 Antenna characteristics

Given that the sensitivity of the simple dipole antenna is low in the frequency range 300 MHz to 1 000 MHz, a more complex antenna may be used. Such an antenna shall have characteristics as follows:

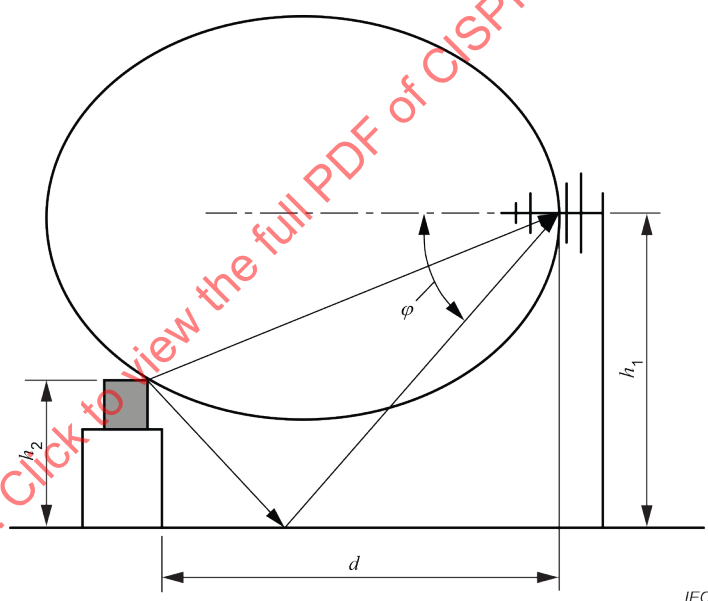
- a) The antenna shall be linearly polarized, which shall be evaluated by applying the cross-polarization test procedure of 4.5.5.
- b) Balanced dipole antennas, such as tuned-dipole and biconical antennas, shall have validated balun performance, which shall be evaluated by applying the balance test procedure of 4.5.4. This requirement also applies to hybrid antennas below 200 MHz.

- c) The return loss of the antenna with the antenna feeder connected shall not be less than 10 dB. A matching attenuator may be part of the antenna feeder cable for antennas if needed to meet this requirement.
- d) An antenna factor (AF) shall be given making it possible to fulfil the accuracy requirements of 4.1.

Accounting for the antenna directivity: a test site with a conducting ground plane is assumed for the following antenna characteristic description. The amplitude of the received signal will be reduced if either or both the direct and ground-reflected signals from the EUT to the antenna are not entering the main lobe of the radiation pattern of the antenna at its peak. The peak is usually in the boresight direction of the antenna. This reduction in amplitude is taken to be an error in the radiated disturbance measurement result; the ensuing uncertainty tolerance is based on the beamwidth,  $2\varphi$  (see Figure 1).

Conditions for ensuring that this error is no larger than + 1 dB are given in item 1) for a 10 m site, and in item 2) for a 3 m site. Alternatively, a condition based on antenna gain is given in item 3), in lieu of the rigorous radiation pattern conditions.

Radiated disturbance measurements are performed with the antenna horizontally and vertically polarized in turn. If it is chosen to measure the radiation patterns in only one plane, the narrower beamwidth pattern results shall be used, and with the condition that the pattern of the antenna shall be verified in the horizontal plane while orienting it for horizontal polarization.



NOTE Parameters are defined in Equation (4).

**Figure 1 – Schematic of radiation from EUT reaching an LPDA antenna directly and via ground reflection at a 3 m site, showing the beamwidth half-angle,  $\varphi$ , at the reflected ray**

- 1) For a 10 m OATS or SAC, the antenna response in the direction of the direct ray differs negligibly from the boresight amplitude when the antenna is aligned such that its boresight direction is parallel to the ground plane. The directivity component of the uncertainty in the disturbance measurement can be kept to less than +1 dB if the antenna response in the direction of the reflected ray is no more than 2 dB lower than the antenna boresight response. To ensure this condition, the total vertical beamwidth  $2\varphi$  of the measurement antenna, within which the antenna gain is within 2 dB of its maximum, shall be such that:

$$\varphi > \tan^{-1} \frac{h_1 + h_2}{d} \quad (3)$$

- 2) For sites with less than 10 m separation, typically 3 m, the total vertical beamwidth  $2\varphi$  of the measurement antenna, within which the antenna gain is within 1 dB of its maximum, shall be such that:

$$2\varphi > \left( \tan^{-1} \frac{h_1 + h_2}{d} \right) - \left( \tan^{-1} \frac{h_1 - h_2}{d} \right) \quad (4)$$

where

$h_2$  is the height of the equipment under test;

$h_1$  is the measurement antenna height;

$d$  is the horizontal distance between the phase centre of the measurement antenna and the device under test.

Antenna down-tilting can reduce the associated uncertainties; if that is not employed, the reduction in received signal shall be calculated from the radiation patterns and applied as a correction with associated directivity uncertainties. Example uncertainty budgets are given in CISPR 16-4-2.

NOTE 1 Assuming an E-plane radiation pattern normalized to unity on boresight (i.e. peak of the mainlobe) record the electric field at the angles of declination from the antenna for the direct ray,  $E_D$ , and reflected ray,  $E_R$ . The error, compared to an electric field of unity magnitude for each of the direct and reflected rays, is given in decibels by  $20 \lg [2/(E_D + E_R)]$ .

NOTE 2 The reduction in signal strength caused by reduced directivity at angles off antenna boresight is a systematic error and therefore can be corrected. If a correction is applied, from knowledge of the radiation patterns at each frequency and polarization, the uncertainty of field-strength measurement can be reduced accordingly.

- 3) For the broad beamwidth antenna types typically used for radiated disturbance measurements, such as biconical, LPDA, and hybrid antennas, the beamwidth is inversely related to the antenna directivity. An alternative to the criterion based on beamwidths in items 1) and 2) is to specify the maximum gain of an antenna, then refer to generic uncertainty tolerances for the directivity component in the uncertainty budget for the disturbance measurement results. The generic uncertainties, based on the narrowest beamwidths in the frequency range used for a specific antenna, are given in CISPR 16-4-2. The maximum isotropic antenna gain for biconical antennas shall be 2 dB, and shall be 8 dB for LPDA and hybrid antennas. For V-type LPDA antennas, whose H-plane beamwidth is equal to the E-plane beamwidth, the maximum permitted isotropic gain shall be 9 dB.

#### 4.5.4 Balance of antenna

##### 4.5.4.1 General

In radiated disturbance measurements, common-mode (CM) currents can be present on the cable attached to the receive antenna (antenna cable). In turn, these CM currents create electromagnetic fields that can be picked up by the receive antenna if the balun is not perfectly balanced. Consequently, the radiated disturbance measurement results can be influenced.

The major contributions to the antenna cable CM currents are caused by:

- a) the electric field strength to be measured, if it has a component parallel to the antenna cable, and
- b) the conversion of the differential mode (DM) antenna signal (the desired signal) into a CM signal by the imperfection of the balun of the receive antenna.

In general, LPDA antennas do not exhibit significant DM/CM (DM to CM) conversion. Therefore the following check applies for dipole and biconical antennas over their entire

operating frequency range, and to hybrid antennas over the frequency range of the broadband dipole section (in most cases 30 MHz to 200 MHz).

#### 4.5.4.2 Balun DM/CM conversion check

The following method describes the measurement of two voltages  $V_1$  and  $V_2$ . The ratio of these voltages, both expressed in identical units, e.g.  $\mu\text{V}$ , is a measure of the DM/CM conversion (also known as the balun imbalance, balun symmetry, or antenna symmetry).

- a) Set the receive AUT vertically polarized with its centre at a height of 1,0 m above the ground plane of an OATS or SAC. The tip of the antenna shall be at least 0,25 m above the ground plane. Extend a  $1,5 \text{ m} \pm 0,1 \text{ m}$  length of the antenna cable horizontally behind the rear active element of the receive antenna at a height of 1,0 m above the ground plane, and then allow it to drop vertically to the ground plane.
- b) For a standard characterization of the receive antenna imbalance, place a second (transmit) antenna vertically polarized at a horizontal distance of 10 m from the centre of the AUT. The centre of the transmit antenna shall be at a height of 1,0 m above the ground plane, and its tip shall be at least 0,25 m above the ground plane. The transmit antenna shall be linearly polarized, and have a cross-polar rejection greater than 20 dB over the frequency range of the balun test. For the frequency range above 200 MHz, transmit antenna height variation shall be used to avoid nulls in the SIL response. Measurements at shorter distances (e.g. 3 m and 5 m) may be made to determine the uncertainty contribution of balun imbalance at these distances.
- c) Connect the transmit antenna to a signal source (for example, a tracking generator or the source output of a network analyzer). Next, set the output level of that signal source so that over the frequency range of interest, and for both vertical orientations of the antenna, the signal-to-ambient noise ratio at the receiver is 34 dB (17 dB for average detection) or more.
- d) Record the voltage  $V_1$  at the receiver over the frequency range of interest.
- e) Invert the receive antenna (i.e. rotate that antenna through  $180^\circ$ ) without changing anything else in the set-up, in particular the receive antenna cable, and without changing the setting of the signal source.
- f) Record the voltage  $V_2$  at the receiver over the frequency range of interest.
- g) The DM/CM conversion is sufficiently low if  $|20 \lg (V_1/V_2)| < 1 \text{ dB}$ .

NOTE 1 For the purpose of radiated disturbance measurements, if the DM/CM conversion criterion is not met, ferrite rings around the antenna cable can reduce the DM/CM conversion. The EMC test laboratory can repeat the test with four ferrite rings spaced approximately 20 cm apart; the first placed within 10 cm of the input to the balun. If the criterion is met by using these ferrite rings, then the ferrite rings also apply in the actual disturbance measurements. Likewise, the interaction with the cable can be reduced by extending the cable several metres horizontally behind the antenna before dropping to the ground plane.

NOTE 2 If the receive antenna is used in a FAR, the DM/CM check can be performed in that FAR, with the receive antenna at its usual location and the transmit antenna at least 3 m away. The antennas are best positioned centrally in the room with a clearance behind the antennas of at least 1 m between the vertical portion of cable and the tips of the absorbers.

NOTE 3 The measuring site and its conducting ground plane (OATS or SAC), or the FAR, are assumed to comply with the respective site validation requirements.

NOTE 4 The horizontal distance of 1,5 m over which the antenna cable runs horizontally behind the centre of the antenna is understood as kept as the minimum distance allowed during the actual vertically polarized radiated disturbance measurements.

NOTE 5 In general it is not necessary to strictly define a test set-up, because the imbalance effect is dominated by the interaction of the antenna and that part of the antenna cable that lies parallel to the antenna elements. Also there is a much smaller effect that is dependent on the uniformity of the field incident on the receive antenna in normal EMC measurement set-ups at an OATS or in a FAR.

NOTE 6 For baluns that have the receive cable connector mounted on the side ( $90^\circ$  to the antenna boom), a right angle connector can be used to reduce the movement of the cable.

NOTE 7 The uncertainty of the balun DM/CM measurement result will be caused only by any nonlinearity of the receiver, because everything else remains unchanged during the  $V_1$  and  $V_2$  measurements. A nonlinearity of less than 0,1 dB within the  $\pm 1 \text{ dB}$  range from the reference indication  $V_1$  is good enough to meet the 1 dB criterion.



#### 4.5.5 Cross-polar response of antenna

When an antenna is placed in a linearly-polarized electromagnetic field, the terminal voltage when the antenna and field are cross-polarized shall be at least 20 dB below the terminal voltage when they are co-polarized. This requirement applies over the entire frequency range of 30 MHz to 18 GHz. In practice, this requirement is not satisfied by some types of LPDA antennas for which the two halves of each dipole are in echelon, which intrinsically generates a cross-polar response (XPR).

The majority of testing with LPDA antennas is above 200 MHz. To achieve free-space conditions, a high-quality fully anechoic room, or antenna support towers of sufficient height above ground on an outdoor range may be used; see 6.3.2 of this document and Clause 6 of CISPR 16-1-5:2014 for associated site characteristics. A uniform field shall be set up across the effective length of the AUT. The separation between the centre of the AUT and the transmit antenna shall be greater than one wavelength. For an LPDA antenna, the separation is to its centre mark. When the lowest frequency is 200 MHz, a fixed separation of 1,5 m over the entire frequency range is recommended.

Set the transmit antenna and the AUT vertically polarized and note the signal strength over the frequency range. Rotate the transmit antenna by 90° and note the difference in signal strength relative to the co-polar reading.

NOTE A good-quality site is needed to set up a uniform field across the effective area of the AUT. The cross-polar discrimination afforded by the linearly-polarized wave can be proven by transmitting between a pair of standard-gain horn antennas or open-ended waveguides as test antennas, and checking that the combination of site error and inherent cross-polar performance with the test antennas yields a suppression of the horizontal component by more than 30 dB. If the site errors are very low, and if the test antennas have identical performance, the cross-polar rejection of one test antenna is approximately 6 dB lower than the combined cross-polar coupling of the pair of test antennas. For example, if the combined cross-polar level is 30 dB, then the level for a single test antenna is 36 dB. The criterion for the site set-up, including antenna separation and site performance, is the achievement of a combined cross-polar level of 30 dB. A pair of horn antennas can be set up, horizontally polarized, with a separation between their front apertures of 1,5 m. The site insertion loss (SIL) is recorded over the frequency range of interest. One of the antennas is rotated by 90° so that it is vertically polarized. The change in SIL of at least 30 dB will provide acceptable measurement uncertainty. For frequencies below 1 GHz, V-shaped LPDA antennas can be used in place of horn antennas to prove the suitability of the site. It is possible to use dipole or biconical antennas, but due to their uniform H-plane radiation patterns a greater antenna height would be needed.

An interfering signal 20 dB lower in level than the desired signal gives a maximum error on the desired signal of  $\pm 0,9$  dB. The maximum error occurs when the cross-polar signal is in phase with the co-polar signal. If the XPR of the LPDA is worse than 20 dB, the operator shall calculate the uncertainty and declare it with the result. For example, a cross-polar level of 14 dB implies a maximum uncertainty of +1,6 dB to –1,9 dB; the larger value and an assumed rectangular distribution shall be used when calculating the standard uncertainty.

To add a signal of 0 dB to another of –14 dB, first convert to relative voltages by dividing by 20 and taking the anti-logarithm. Then add the smaller signal to the unity signal. Take the logarithm and multiply by 20. The result is the positive decibel error. Repeat, but subtract the smaller signal from the unity signal to give the negative decibel error.

For the purpose of calculating the uncertainty of a radiated disturbance measurement, if the signal level measured in one polarization exceeds the signal measured in the orthogonal polarization by 6 dB or more, then an LPDA whose XPR is only 14 dB will have been deemed to have met the specification of 20 dB. If the difference between the vertically and horizontally polarized signal levels is less than 6 dB, additional uncertainty shall be calculated if the sum of this difference and the XPR is less than 20 dB.

Considerations on measurement uncertainty for XPR measurement results can be found in Annex H ~~[24]~~. Annex H provides an example of an XPR of an AUT sufficient to meet the 20 dB XPR requirement in the measurement.



## 4.6 Antennas for the frequency range 1 GHz to 18 GHz

### 4.6.1 General

Radiated disturbance measurements above 1 GHz shall be made using calibrated linearly polarized antennas. Examples are LPDA antennas, double-ridged guide horn antennas, and standard gain horn antennas. The "beam" or main lobe of the pattern of any antenna used shall be wide enough to encompass the EUT when located at the measuring distance. The width of the main lobe is defined as the 3 dB beamwidth of the antenna, and information allowing determination of this parameter should be given in the antenna documentation. For horn antennas, the following condition shall be satisfied:

$$d \geq \frac{D^2}{2\lambda} \quad (5)$$

where

- $d$  is the measurement distance (m);  
 $D$  is the largest dimension of the aperture of the antenna (m); and  
 $\lambda$  is the free space wavelength at the frequency of measurement (m).

The requirement for the XPR of the antenna in 4.5.5 also applies for the 1 GHz to 18 GHz frequency range.

### 4.6.2 Receive antenna

#### 4.6.2.1 General

The receive antenna shall be linearly polarized and for site validation be the same type as used for EUT disturbance measurements.

Some antenna models may have different versions with possibly different radiation patterns, and users are advised to verify the preceding condition.

NOTE 1 "Antenna type" means a shape or a kind of antenna, for example horn antenna or LPDA antenna.

NOTE 2 "Antenna model" means the specified manufacturer's model number.

NOTE 3 "Version" means the specified manufacturer's revision number, if applicable, of a particular antenna model number.

#### 4.6.2.2 Receive antenna radiation pattern

E-plane and H-plane radiation patterns shall be measured with reference to the antenna boresight. The measurand is the antenna pattern in dB, presented using a polar-coordinate plot such as in Figure 2. Radiation pattern plots should be normalized to 0 dB. The 0° angle shall be equal to the mechanical boresight.

E-plane and H-plane radiation patterns of each individual antenna shall be recorded over the frequency range of the antenna with a step size of 500 MHz or less, per Annex I of CISPR 16-1-6:2014/AMD1:2016.

Type-test results, including statistical data, supplied by the manufacturer may be used to provide evidence that the receive antenna radiation pattern requirements are met. Service measures shall be taken to assure pattern stability during the antenna life.

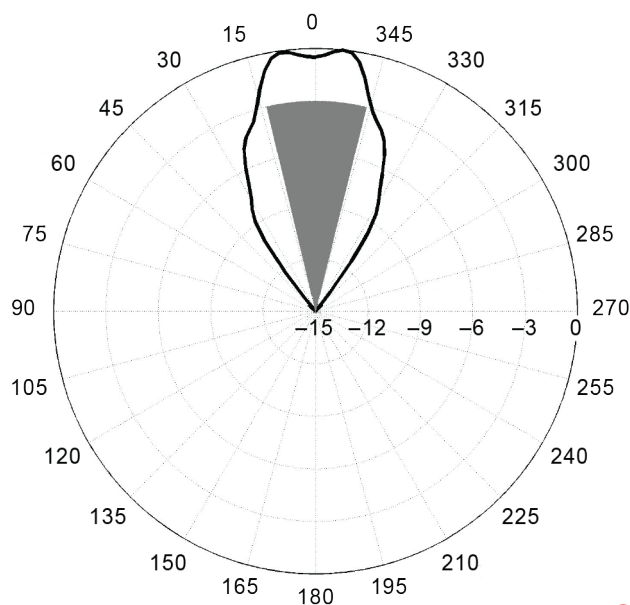


**Figure 2 – RX antenna E-plane radiation pattern example, with limit area shaded for 3 m distance and 2 m EUT width**

NOTE In general, the boresight direction is the direction of maximum radiation from the antenna. However, it may happen that the pattern has two radiation maxima but with none of the maxima in the direction of the mechanical boresight, e.g. as in Figure 2.

#### 4.6.2.3 Receive antenna radiation pattern requirements

The grey-shaded areas shown in the polar plots of Figure 3 and Figure 4 are defined by the maximum height,  $h$ , and the maximum width,  $w$ , of the EUT, and the test distance,  $d$ .

For the receive antenna to sufficiently illuminate the EUT, the half-power beamwidth of the receive antenna shall not fall inside the shaded area in the E-plane and H-plane pattern cuts shown in Figure 3 and Figure 4.

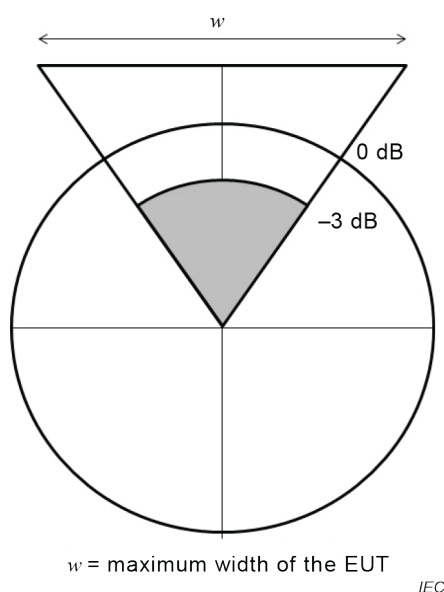


**Figure 3 – Determination of maximum useable EUT width using half-power beamwidth**

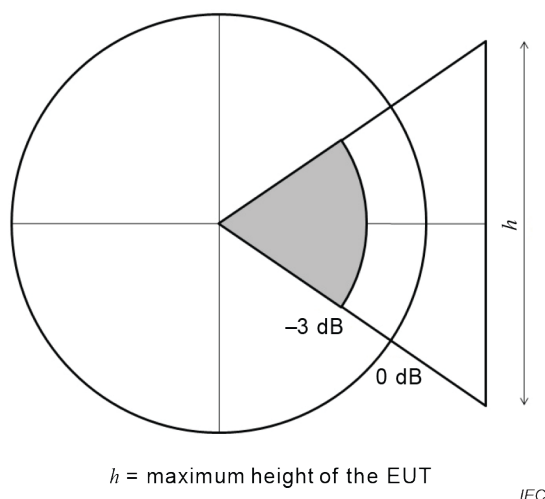


**Figure 4 – Determination of maximum useable EUT height using half-power beamwidth**

#### 4.7 Special antenna arrangements – large-loop antenna system

In the frequency range 9 kHz to 30 MHz, the interference capability of the magnetic field component of the radiation of a single EUT can be determined by using a large-loop antenna system (LLAS). In the LLAS, the interference capability is measured in terms of the currents induced by the magnetic field in each LLA of the LLAS. The LLAS measures the current induced by the magnetic field component of a single EUT. The LLAS allows indoor measurements.

The LLAS consists of three circular mutually-perpendicular large-loop antennas, each having a diameter of 2 m, supported by a non-metallic base. A full description of the LLAS is given in Annex C.

The EUT ~~is~~ shall be positioned in the centre of the LLAS on a non-conductive support table. The maximum dimensions of the EUT are limited so that the distance between the EUT and each LLAS loop is at least 0,20 m. Guidelines for ~~the~~ routing of ~~signal~~ EUT cables are given in ~~NOTE 2 of~~ C.3 and Figure C.6. Cables shall be routed together, leave the LLAS volume in the same octant of the LLAS, and be no closer than 0,4 m to any of the LLAS loops.

The LLAS may be placed in any environment. Placement inside a shielded room, SAC, FAR, or weather-protected OATS is permitted. Placement in a shielded environment is recommended to eliminate ambient signals allowing for better sensitivity to EUT emissions. A minimum distance of 0,5 m between the LLAS and any metallic plane is recommended. The validation of the LLAS shall be performed at the location where the LLAS measurements normally take place to take into account the effect of the environment (see C.4).

The three mutually-perpendicular LLAS loops allow measurement of the interference capability of all polarizations of the radiated field with the prescribed accuracy, and without rotation of the EUT or changing the orientation of the LLAS loops.

Each of the three LLAS loops shall comply with the validation requirements given in C.4.

**NOTE** Circular LLAS loops with diameters different from the standard diameter of 2 m can be used, provided their diameter  $D \leq 4$  m, and the distance in metres between the EUT and an LLAS loop is at least  $0,10 \times D$ . ~~Correction~~ Conversion factors for non-standard diameters are given in C.6.

## **5 Test sites for measurement of radio disturbance field strength for the frequency range of 9 kHz to 30 MHz**

(Void)

## **6 Test sites for measurement of radio disturbance field strength for the frequency range of 30 MHz to 1 000 MHz**

### **6.1 General**

An environment is required that assures valid, reproducible measurement results of disturbance field strength from an EUT. For an EUT that can only be tested at its place of use, other provisions shall be utilized (i.e. see details on in-situ measurements in CISPR 16-2-3).

### **6.2 OATS**

#### **6.2.1 General**

An OATS is an area characterized by cleared level terrain and with the presence of a conducting ground plane. To meet the validation requirements of this document, a metallic ground plane is recommended. Such a test site shall be free of buildings, electric lines, fences, trees, etc. and free from underground cables, pipelines, etc., except as required to supply and operate the EUT. Refer to Annex D for specific construction recommendations of an OATS for disturbance field-strength measurements in the range of 30 MHz to 1 000 MHz. The site validation procedures for an OATS are given in 6.6 and 6.7. Annex F explains the basis for the acceptability criterion.

#### **6.2.2 Weather-protection enclosure**

Weather protection is desirable if the test site is used throughout the year. A weather-protection structure can protect either the entire test site (including EUT and field-strength measuring antenna) or the EUT only. The materials used shall be RF-transparent, to preclude undesirable reflections and attenuation of the emitted field from the EUT (see 6.3.1).

The structure of a weather-protection enclosure shall be shaped to allow easy removal of snow, ice, or water. See Annex D for further details.

#### **6.2.3 Obstruction-free area**

For open-area test sites, an obstruction-free area surrounding the EUT and field-strength measuring antenna is required. The obstruction-free area shall be free from significant scatterers of electromagnetic fields, and shall be large enough so that scatterers outside the obstruction-free area will have little effect on the fields measured by the field-strength measuring antenna. To determine the adequacy of an obstruction-free area, site validation tests shall be performed.

Because the magnitude of the field scattered from an object depends on many factors (size of the object, distance from the EUT, orientation with respect to the EUT, conductivity and permittivity of the object, frequency, etc.), it is impractical to specify a reasonable obstruction-free area that is necessary and sufficient for all applications. The size and shape of the obstruction-free area are dependent upon the measurement distance, and whether or not the EUT will be rotated. If the site is equipped with a turntable, the recommended obstruction-free area is an ellipse with the receive antenna and EUT at the two foci, with a major axis equal to twice the measurement distance and a minor axis equal to the product of the measurement distance and  $\sqrt{3}$  (see Figure 5).

For this ellipse, the length of the path taken by the undesired indirect ray reflected from any object on the perimeter is twice the length of the path taken by the direct ray between the foci.

If a large EUT is installed on the turntable, the obstruction-free area shall be expanded so that the obstruction clearance distances are established relative to the perimeter of the EUT.

If the site is not equipped with a turntable, i.e. the EUT is stationary, the recommended obstruction-free area is a circular area such that the radial distance from the boundary of the EUT to the boundary of the area is greater than or equal to the measurement distance multiplied by 1,5 (see Figure 6). In this case, the antenna is moved around the EUT at the measurement distance.

The terrain within the obstruction-free area shall be flat. Small slopes needed for adequate drainage are acceptable. The flatness of the metallic ground plane, if used, is discussed in D.2. Measuring apparatus and all personnel shall be situated outside the obstruction-free area.

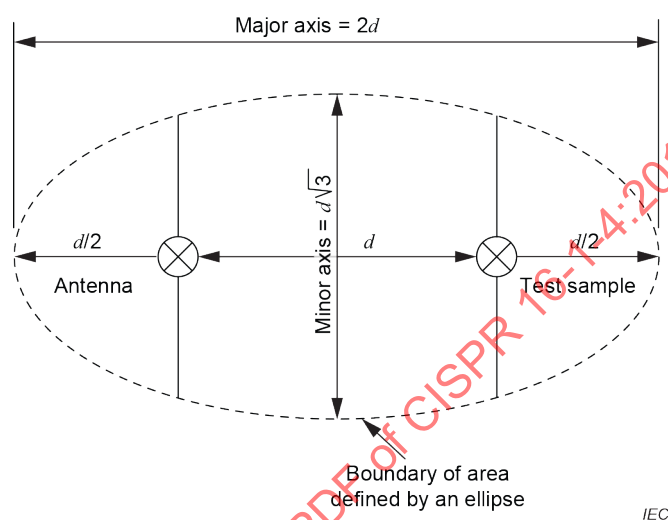


Figure 5 – Obstruction-free area of a test site with a turntable

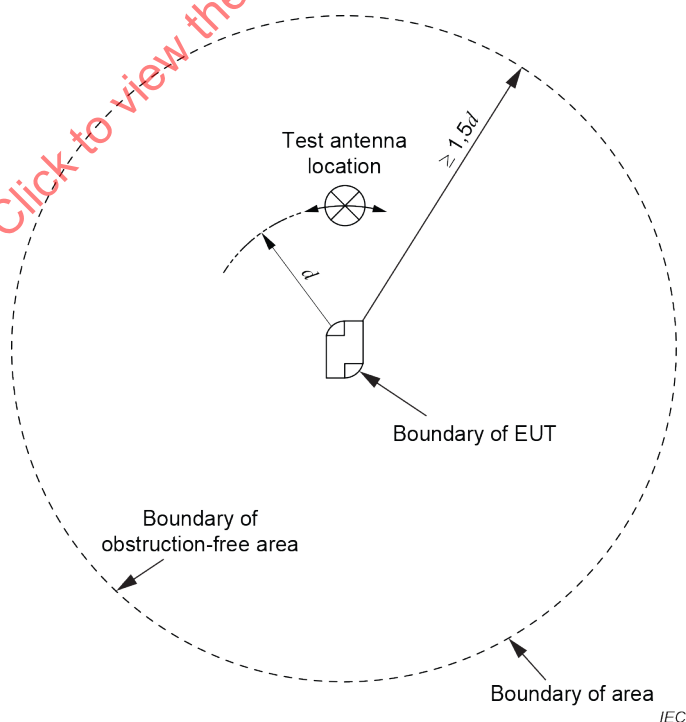


Figure 6 – Obstruction-free area with stationary EUT

#### 6.2.4 Radio-frequency ambient environment of a test site

The radio-frequency ambient levels at an OATS shall be sufficiently low compared to the levels of the disturbance measurements to be performed. The quality of the site for this condition may be evaluated under four categories, listed as follows in order of merit:

- a) the ambient emissions are 6 dB or more below the measurement levels;
- b) some ambient emissions are within 6 dB of the measurement levels;
- c) some ambient emissions are above the measurement levels, but are either aperiodic (i.e. sufficiently long in time between transmissions to allow a measurement to be made) or continuous, but only on limited identifiable frequencies;
- d) the ambient levels are above the measurement levels over a large portion of the measurement frequency range and occurring continuously.

The selection of a test site should ensure that the accuracy of the measurement is maintained, given the ambient environment and the degree of engineering skill available.

In addition to the RF ambient environment, the receiver intrinsic noise floor contributes to the uncertainty of the results of radiated disturbance measurements. Hence both the RF ambient emissions and the receiver intrinsic noise shall be minimized, to allow a valid comparison of the measured disturbance level with the disturbance limit.

#### 6.2.5 Ground plane

The OATS ground plane can be at earth level, or elevated on a suitably-sized platform or horizontal rooftop site. A metal ground plane is preferred, but for certain equipment and applications, product publications may recommend other site types. Adequacy of the metal ground plane will be dependent on whether the test site meets the site validation requirements of 6.4. If metallic material is not used for the ground plane, caution is required to select a site that does not change its reflective characteristics with time, weather conditions, or effects due to buried metallic material, such as pipes, conduits, and non-homogeneous soil. Such sites generally give different SA characteristics compared to those with metallic surfaces.

### 6.3 Suitability of other test sites

#### 6.3.1 Other ground-plane test sites

There are many different test sites and facilities that have been constructed and used to make radiated disturbance measurements. Most are protected from the weather and the adverse effects of the RF ambient. For example in a SAC, all walls and the ceiling are equipped with appropriate RF absorbing material, while the floor consists of a metallic ground plane to emulate an OATS. A SAC isolates the receive antenna from the ambient RF environment, and permits EUT testing independent of weather conditions.

Whenever construction material encloses a ground-plane test site, it is possible that the results of a validation measurement at a single location, as specified in 6.7, are not adequate to show acceptability of such an alternative site.

Therefore to evaluate suitability of an alternative ground-plane test site, the procedure of 6.8 shall be used, which is based on making validation measurements at multiple positions throughout a volume occupied by the EUT. For a site to be judged suitable as an equivalent to an OATS, the results of these validation measurements shall all be within a tolerance of  $\pm 4$  dB.

NOTE SACs typically meet site quality category a) in 6.2.4.

### 6.3.2 Test sites without ground plane (FAR)

A fully-absorber-lined shielded enclosure, also known as a fully-anechoic room (FAR), can be used for radiated disturbance measurements. When a FAR site is used, appropriate radiated disturbance limits shall be defined in relevant standards (generic, product, or product family standards). Compliance of an EUT with the requirements for the protection of radio-services (i.e. limits) shall be evaluated at FAR sites using similar methods as with measurements done at an OATS.

A FAR is intended to simulate a free-space environment, such that only the direct ray from the transmit antenna or EUT reaches the receive antenna. All indirect and reflected ray waves shall be minimized by appropriate placement of RF absorbing material on all walls, ceiling, and floor of a FAR. Like a SAC, a FAR isolates the receive antenna from the RF ambient environment, and permits EUT testing independent of weather conditions.

NOTE FARs typically meet site quality category a) in 6.2.4.

## 6.4 Test site validations

### 6.4.1 General

Three methods for site validation of a COMTS may be used for the purposes of this document:

- NSA method with tuned dipoles;
- NSA method with broadband antennas;
- Reference site method (RSM) with broadband antennas.

The NSA method with tuned dipoles is not specifically described, but it may be used for the purposes of this document. Theoretical NSA tables for tuned dipoles, including tables of the theoretical mutual impedance correction factors, are given in [20]<sup>1</sup>.

Validations for test sites with a ground plane (i.e. OATS and SAC) are introduced in 6.4.2 and 6.5.1, followed by detailed procedures for the RSM in 6.6 and for the NSA method in 6.7. Validation of a SAC and a weather-protection enclosed OATS requires additional measurements as described in 6.8.

Table 1 summarizes the site validation methods applicable for these specific test site types. As shown in this table, two or three site validation methods are described for each of these test site types. These methods are deemed to be equivalent for the purposes of this document; meaning compliance with the validation criterion can be evaluated using only one method. Furthermore, no one of these documented methods is defined as the reference method.

The site validation methods in this document provide a measure of uniformity of the validated test volume using a comparison between ideal (theoretical) and measured site attenuation between the transmit antenna and the receive antenna. The transmit antenna does not simulate the EUT; therefore, the validation procedure does not define the maximum EUT volume. Considerations on EUT sizes depending on measurement distance are given in CISPR 16-2-3.

---

<sup>1</sup> Numbers in square brackets refer to the bibliography.



**Table 1 – Site validation methods applicable for OATS, OATS-based, SAC, and FAR site types**

| Test site type               | Applicability of site validation methods |                           |                           |
|------------------------------|------------------------------------------|---------------------------|---------------------------|
|                              | Tuned dipoles<br>NSA                     | Broadband antennas<br>NSA | Broadband antennas<br>RSM |
| OATS                         | Yes                                      | Yes                       | Yes                       |
| OATS with weather protection | No                                       | Yes                       | Yes                       |
| SAC                          | No                                       | Yes                       | Yes                       |
| FAR                          | No                                       | Yes                       | Yes                       |

## 6.4.2 Overview of test site validations

The validation of a test site is performed using two co-polarized antennas. The validation shall be performed separately for both horizontal and vertical polarizations.

SA is obtained from the difference of:

- the source voltage level,  $V_i$ , applied to a transmit antenna;
- the maximum received voltage level,  $V_R$ , measured on the terminals of a receive antenna during a specified antenna height scan.

The voltage measurements are performed in a 50  $\Omega$  system.

The measured SA of an OATS (as in 6.2) and other ground-plane test sites (as in 6.3.1) is compared to the SA characteristics obtained at an ideal OATS – this is the definition of the measurand for test site validations. The result of this comparison is the SA deviation,  $\Delta A_s$ , in dB; see Equation (6) and Equation (7). The site is considered suitable when the SA deviation results are within a tolerance of  $\pm 4$  dB.

If the  $\pm 4$  dB tolerance is exceeded, the test site configuration shall be investigated as described in 6.9.

NOTE The basis for the  $\pm 4$  dB site acceptability criterion is given in Annex F.

Additionally, SA deviations shall not be used to correct field-strength measurement data for an EUT. The procedures of 6.4 shall be used only for test site validations.

## 6.5 Basic parameters of the NSA method for OATS and SAC

### 6.5.1 General equation and table of theoretical NSA values

NSA values calculated at specific frequencies are provided in Table 2 for broadband antennas. The quantities  $d$ ,  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $f_M$ , and  $A_N$  used are identified at the end of Table 2.

NOTE 1 NSA values for frequencies other than shown in Table 2 can be obtained using linear interpolation between the tabulated values.

NOTE 2 The spacing  $d$  between LPDA antenna pairs is measured from the projection on the ground plane of the mid-point of the longitudinal axis of each antenna.

NOTE 3 The spacing  $d$  between biconical antennas is measured from the element centreline axes at the feedpoint.

For measurements in each polarization, the NSA method requires two different measurements of the received voltage,  $V_R$ .

The first reading of  $V_R$  ( $V_{\text{DIRECT}}$ ) is taken with the two coaxial cables disconnected from the two antennas and connected to each other via an adaptor. The second reading of  $V_R$  ( $V_{\text{SITE}}$ ) is taken with the coaxial cables reconnected to their respective antennas, then the maximum signal is measured when the receive antenna is scanned in height (1 m to 4 m, for 3 m, 5 m, 10 m and 30 m separation distances). For both measurements, the signal source voltage,  $V_i$ , is kept constant. The measured results, along with the theoretical NSA ( $A_N$ ), are used in Equation (6) to obtain the SA deviation results. All terms are in dB.

$$\Delta A_s = V_{\text{DIRECT}} - V_{\text{SITE}} - F_{aT} - F_{aR} - A_N \quad (6)$$

where

$\Delta A_s$  is the SA deviation;  
 $F_{aT}$  is the transmit antenna factor;  
 $F_{aR}$  is the receive antenna factor;  
 $A_N$  is the theoretical NSA, according to Table 2.

$F_{aT}$  and  $F_{aR}$  shall be calibrated as free-space antenna factors; see 6.5.2.

Note that the first two terms represent the actual measurement of SA, i.e. in the classical view SA is equal to  $(V_{\text{DIRECT}} - V_{\text{SITE}})$ , which is the insertion loss of the propagation path with the inclusion of the properties of the two antennas used.

To confirm the absence of voltage drift due to temperature changes in measurement devices or cables, re-measure  $V_{\text{DIRECT}}$  after a suitable time period to confirm stability of the results.

For the respective NSA measurement method used (swept frequency method per 6.7.2, or discrete frequency method per 6.7.1), the validation criterion shall be satisfied at all frequencies in the desired frequency range.

Table 2 lists NSA values for broadband antennas, such as biconical and LPDA, for both horizontal and vertical polarizations relative to the ground plane.

If  $\Delta A_s$  is greater than  $\pm 4$  dB, proceed as described in 6.9.

|   | Vertical |   |     |     |    |     |     |  |
|---|----------|---|-----|-----|----|-----|-----|--|
| 6 | 3        | 5 | 5   | 5   | 10 | 10  | 10  |  |
| 5 | 1,5      | 1 | 1,5 | 2,0 | 1  | 1,5 | 2,5 |  |
| 4 | 1        | 1 | 1   | 1   | 1  | 1   | 1   |  |
| 3 | 4        | 4 | 4   | 4   | 4  | 4   | 4   |  |

|      | 20,7 | 15,6 | 14,3 | 29,8 | 24,1 | 21,3 | 19,7 | 47,8 | 41,7 | 8,2  | 9,3  |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 18,2 | 18,2 | 13,3 | 12,2 | 27,1 | 21,6 | 18,9 | 17,4 | 45,1 | 39,1 | 6,9  | 8,0  |
| 16,0 | 16,0 | 11,4 | 10,5 | 24,9 | 19,4 | 16,9 | 15,6 | 42,8 | 36,8 | 5,8  | 7,0  |
| 14,1 | 14,1 | 9,8  | 9,1  | 22,9 | 17,5 | 15,2 | 14,2 | 40,8 | 34,7 | 4,9  | 6,1  |
| 12,4 | 12,4 | 8,5  | 7,9  | 21,1 | 15,9 | 13,7 | 13,1 | 38,9 | 32,9 | 4,0  | 5,4  |
| 9,5  | 9,5  | 6,3  | 6,0  | 18,0 | 13,1 | 11,5 | 11,3 | 35,8 | 29,8 | 2,6  | 4,1  |
| 7,2  | 7,2  | 4,6  | 4,4  | 15,5 | 10,9 | 9,9  | 9,9  | 33,1 | 27,2 | 1,5  | 3,2  |
| 5,3  | 5,3  | 3,2  | 3,2  | 13,3 | 9,2  | 8,6  | 8,7  | 30,8 | 24,9 | 0,6  | 2,6  |
| 3,7  | 3,7  | 2,0  | 2,1  | 11,4 | 7,8  | 7,5  | 7,7  | 28,8 | 23,0 | -0,1 | 2,1  |
| 2,3  | 2,3  | 1,0  | 1,1  | 9,7  | 6,7  | 6,6  | 6,7  | 27   | 21,2 | -0,7 | 1,9  |
| 0,1  | 0,1  | -0,7 | -0,5 | 7,0  | 5,0  | 4,9  | 5,1  | 23,9 | 18,2 | -1,5 | 1,3  |
| -1,7 | -1,7 | -2,1 | -1,9 | 4,8  | 3,5  | 3,5  | 3,8  | 21,2 | 15,8 | -1,8 | -1,5 |
| -3,1 | -3,1 | -3,3 | -3,1 | 3,1  | 2,3  | 2,4  | 2,6  | 19   | 13,8 | -1,7 | -3,7 |
| -4,3 | -4,3 | -4,4 | -4,1 | 1,7  | 1,2  | 1,3  | 1,6  | 17   | 12,0 | -1,3 | -5,3 |
| -5,3 | -5,3 | -5,3 | -4,7 | 0,6  | 0,3  | 0,4  | 0,6  | 15,3 | 10,6 | -3,6 | -6,7 |
| -7,5 | -7,5 | -6,7 | -6,7 | -1,6 | -1,7 | -1,6 | -1,2 | 11,6 | 7,8  | -7,7 | -9,1 |

Table 2 (2 of 2)

| Polariza-<br>tion |     | Horizontal                                                                                                                                                              |       |       |       |       |       |       |       |      |      | Vertical |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |
|-------------------|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|
| $d$               | m   | 3                                                                                                                                                                       | 3     | 5     | 5     | 10    | 10    | 10    | 10    | 30   | 30   | 3        | 3     | 5     | 5     | 5     | 10    | 10    | 10    | 30    | 30   |      |
| $h_1$             | m   | 1                                                                                                                                                                       | 2     | 2     | 2,5   | 1     | 2     | 3     | 4     | 1    | 2    | 1        | 1,5   | 1     | 1,5   | 2,0   | 1     | 1,5   | 3,5   | 1     | 1,5  |      |
| $h_{2,min}$       | m   | 1                                                                                                                                                                       | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1    | 1    | 1        | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1    |      |
| $h_{2,max}$       | m   | 4                                                                                                                                                                       | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4    | 4    | 4        | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4    |      |
| $f_M$             | MHz | $A_N$                                                                                                                                                                   |       |       |       |       |       |       |       |      |      |          |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |
|                   |     | dB(m <sup>2</sup> )                                                                                                                                                     |       |       |       |       |       |       |       |      |      |          |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |
| 300               |     | -12,8                                                                                                                                                                   | -12,3 | -9,2  | -8,5  | -8,4  | -3,3  | -3,3  | -2,8  | 8,8  | 6,1  | -10,5    | -10,9 | -6,2  | -7,5  | -7,3  | -1,5  | -1,9  | -2,4  | -1,9  | 6,2  | 6,5  |
| 400               |     | -14,8                                                                                                                                                                   | -14,9 | -11,8 | -11,2 | -11,0 | -5,9  | -5,8  | -5,4  | 4,6  | 3,5  | -14,0    | -12,6 | -10,0 | -10,5 | -10,0 | -4,1  | -5,0  | -5,1  | -4,5  | 3,9  | 4,3  |
| 500               |     | -17,3                                                                                                                                                                   | -16,7 | -13,0 | -13,3 | -13,0 | -7,9  | -7,6  | -7,3  | 1,8  | 1,6  | -16,4    | -15,1 | -12,5 | -12,6 | -11,6 | -6,7  | -7,2  | -7,1  | -6,3  | 2,1  | 2,8  |
| 600               |     | -19,1                                                                                                                                                                   | -18,3 | -14,9 | -14,9 | -14,5 | -9,5  | -9,3  | -8,9  | 0,0  | 0,0  | -16,3    | -16,9 | -14,4 | -13,5 | -13,4 | -8,7  | -9,0  | -8,7  | -8,0  | 0,8  | 1,8  |
| 700               |     | -20,6                                                                                                                                                                   | -19,7 | -16,4 | -16,1 | -15,9 | -10,8 | -10,6 | -10,2 | -1,3 | -1,4 | -18,4    | -18,4 | -15,9 | -15,1 | -14,8 | -10,2 | -10,4 | -9,9  | -9,3  | -0,3 | -0,9 |
| 800               |     | -21,3                                                                                                                                                                   | -20,8 | -17,6 | -17,3 | -17,1 | -12,0 | -11,8 | -11,4 | -2,5 | -2,5 | -20,0    | -19,3 | -17,2 | -16,5 | -16,0 | -11,5 | -11,6 | -11,1 | -10,5 | -1,1 | -2,3 |
| 900               |     | -22,5                                                                                                                                                                   | -21,8 | -18,7 | -18,4 | -18,0 | -12,8 | -12,9 | -12,4 | -3,5 | -3,5 | -21,3    | -20,4 | -17,4 | -17,6 | -16,9 | -12,6 | -12,7 | -12,1 | -11,5 | -1,7 | -3,4 |
| 1 000             |     | -23,5                                                                                                                                                                   | -22,7 | -19,7 | -19,3 | -19,0 | -13,8 | -13,8 | -13,6 | -4,4 | -4,5 | -22,4    | -21,4 | -18,5 | -18,6 | -17,9 | -13,6 | -13,6 | -13,1 | -12,4 | -3,5 | -4,3 |
| <sup>a</sup>      |     | These data apply to antennas that have at least 25 cm of ground-plane clearance when the centre of the antennas is 1 m above the ground plane in vertical polarization. |       |       |       |       |       |       |       |      |      |          |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |
|                   |     | Values at other frequencies are found via linear interpolation.                                                                                                         |       |       |       |       |       |       |       |      |      |          |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |
| $d$               |     | is the horizontal separation between the projection of the transmit antenna and receive antenna midpoints on the ground plane;                                          |       |       |       |       |       |       |       |      |      |          |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |
| $h_1$             |     | is the height of the centre of the transmit antenna above the ground plane;                                                                                             |       |       |       |       |       |       |       |      |      |          |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |
| $h_2$             |     | is the range of heights of the centre of the receive antenna above the ground plane. The maximum received signal in this height scan range is used for NSA results;     |       |       |       |       |       |       |       |      |      |          |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |
| $f_M$             |     | is the frequency;                                                                                                                                                       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |          |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |
| $A_N$             |     | is the NSA.                                                                                                                                                             |       |       |       |       |       |       |       |      |      |          |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |

### 6.5.2 Antenna calibration

For site validation using the NSA method, free-space antenna factors are used, as measured with the methods of CISPR 16-1-6.

The use of free-space antenna factors for the calculation of NSA, as in Equation (6), can cause errors, particularly for biconical and tuned dipole antennas below 300 MHz. This is because the model for the theoretical NSA values in Table 2 is based on a Hertzian dipole and not on the actual antennas used to measure SA. This model does not take account of the significant change in antenna factor due to mutual coupling to the ground plane, or account of the radiation pattern of the antenna. This problem does not occur with the RSM because it does not involve antenna factors. A partial solution is available in [19] which significantly reduces uncertainties of the antenna factors in the NSA method.

## 6.6 Reference site method for OATS and SAC

### 6.6.1 General

The RSM is another method for validating the suitability of a test site, using broadband antennas. As with the NSA method, the evaluation of  $V_{\text{DIRECT}}$  and  $V_{\text{SITE}}$  is required. These results are obtained using exactly the same geometries and polarizations as specified for the NSA method. For a weather-protection-enclosed OATS or a SAC, the configurations are:

- 3 m, 5 m, or 10 m test distance;

NOTE 1 Although RSM may be applied to 30 m sites, it is impractical due to the limited number of appropriate reference test sites.

- transmit antenna heights are 1 m and 2 m for horizontal polarization, and 1 m and 1,5 m for vertical polarization;

NOTE 2 For other transmit antenna heights, see Table 2.

- 1 m to 4 m receive antenna height scan range.

The main difference between the RSM and NSA methods is in the calculation of SA deviations, using Equation (7):

$$\Delta A_s = V_{\text{DIRECT}} - V_{\text{SITE}} - A_{\text{APR}} \quad (7)$$

Rather than using antenna factors for the transmit antenna and the receive antenna and the calculated NSA ( $A_N$ ) values, as in the NSA method Equation (6), measured results for the antenna-pair reference SA ( $A_{\text{APR}}$ ) are used.

NOTE 3  $A_{\text{APR}}$  does not involve antenna factors, but comprises coupling between the antennas, including the effects of coupling of each antenna to the ground. Furthermore, the radiation patterns of the antennas are included, different from the NSA method where the radiation patterns are approximated as being those of Hertzian dipoles.

For a weather-protection enclosed OATS and a SAC, four data sets are required, i.e. two antenna heights with two polarizations. For each additional distance, polarization and antenna height, a different  $A_{\text{APR}}$  is needed, as shown in the example template of Table 3.

**Table 3 – Example template for  $A_{APR}$  data sets**

| Frequency<br>MHz | Antenna pair reference site attenuation, $A_{APR}$<br>dB |             |             |               |
|------------------|----------------------------------------------------------|-------------|-------------|---------------|
|                  | Horizontal                                               |             | Vertical    |               |
|                  | $h_1 = 1$ m                                              | $h_1 = 2$ m | $h_1 = 1$ m | $h_1 = 1,5$ m |
| 30               | ...                                                      | ...         | ...         | ...           |
| 31               | ...                                                      | ...         | ...         | ...           |
| 32               | ...                                                      | ...         | ...         | ...           |
| ...              | ...                                                      | ...         | ...         | ...           |

When using a network analyzer or a stepped-frequency receiver to perform an RSM measurement, the frequency steps of Table 4 shall be used.

NOTE 4 RSM is a swept frequency method; Table 4 defines the maximum step size.

NOTE 5 When using a continuously-tuned receiver or a spectrum analyzer for an RSM measurement, the frequency step size definition of Table 4 does not apply.

**Table 4 – RSM frequency steps**

| Frequency range<br>MHz | Maximum frequency step size<br>MHz |
|------------------------|------------------------------------|
| 30 to 100              | 1                                  |
| 100 to 500             | 5                                  |
| 500 to 1 000           | 10                                 |

Frequencies used for the RSM measurement of a test site shall be identical to the frequencies used to obtain the  $A_{APR}$  data (e.g. at a REFTS; see 6.6.3).

The  $\Delta A_s$  criterion, see Equation (7), shall be satisfied at the frequencies given in Table 4.

## 6.6.2 Antennas not permitted for RSM measurements

For the purposes of this document, hybrid antennas shall not be used for RSM site validation measurements.

NOTE 1 When specific SAC sites are validated using biconical and hybrid antennas, a large deviation in the results has been observed. The main reason for deviations is the different distance between the phase centres of the antennas, e.g. 10 m for biconical antennas and approximately 11,2 m for typical hybrid antennas. To avoid such reproducibility issues, hybrid antennas are excluded.

NOTE 2 Hybrid antennas typically are not used for site validation because of the larger uncertainties in positioning of these typically larger and bulkier antennas, especially for a 3 m test site where the overall combined length of the two hybrid antennas may be nearly 3 m.

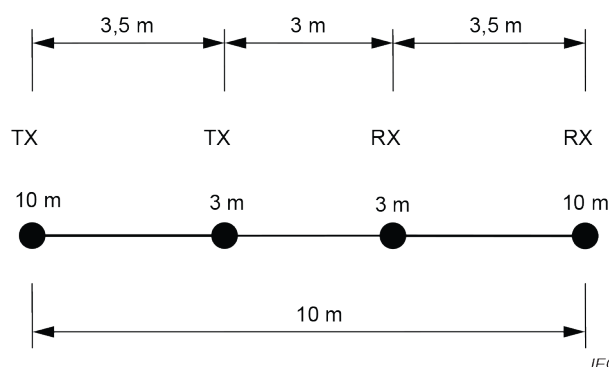
NOTE 3 Better performance for a SAC is typically obtained with standard antennas (biconical or LPDA) for a lower  $\Delta A_s$ ; adjustment of SAC design parameters to achieve site validation compliance using hybrid antennas is strongly discouraged. To construct a SAC with better performance than those required, the standard requires the manufacturer to fulfil e.g.  $\Delta A_s = 3,5$  dB.

## 6.6.3 Determination of the antenna pair reference site attenuation on a REFTS

One approach to measuring  $A_{APR}$  is to use a reference test site (REFTS), which has performance established according to procedures described in CISPR 16-1-5. A separate second approach is given in 6.6.4.

For a test distance of 10 m, identical positions on the REFTS shall be used to determine  $A_{APR}$  as were used for the REFTS validation according to CISPR 16-1-5 procedures.

For a test distance of 3 m, measurements shall be made on the axis drawn between the transmit antenna and the receive antenna positions as were used for the REFTS validation according to CISPR 16-1-5 procedures (see Figure 7).



**Key**

TX = transmit antenna

RX = receive antenna

**Figure 7 – Test point locations for 3 m and 10 m test distances**

The following procedure shall be used to determine  $A_{APR}$ :

- determine  $V_{DIRECT}$ ;
- place the transmit antenna in horizontal polarization at a height of 1 m;
- place the receive antenna in the same polarization at a distance  $d$ ;
- determine  $V_{SITE}$  during the 1 m to 4 m height scan of the receive antenna;
- calculate  $A_{APR}$  as follows using Equation (8):

$$A_{APR} = V_{DIRECT} - V_{SITE} \quad (8)$$

- repeat steps b) to e) for transmit antenna height of 2 m with horizontal polarization, and then for transmit heights of 1 m and 1,5 m with vertical polarization.

#### 6.6.4 Determination of the antenna pair reference site attenuation using an averaging technique on a large OATS

Another method to determine  $A_{APR}$  is by measurements on a large OATS (see the following paragraphs in this subclause for the criteria to be large). Deviations of the SA from the ideal behavior are caused by the limited area and flatness of the ground plane, and reflections from objects in the near vicinity such as buildings and trees. Also, reflections from the edges of the ground plane can cause a sinusoidal ripple in the measured SA, predominantly for vertical polarization measurements. By varying the location of the antenna pair on the ground plane, the magnitude and the phase of the ripple will also change.

To minimize these effects, the SA is measured at several antenna pair positions, and an average value is calculated. This average value will converge to the SA of an ideal site.

NOTE 1 A similar technique is given in reference [19].

The large OATS shall meet the following requirements:

- minimum ground plane size of 30 m by 20 m;



- deviation from flatness less than  $\pm 10$  mm;
- without protective layer (dielectric) on the metal ground plane.

The following procedure shall be used to determine  $A_{APR}$ .

- Identify paired test points on the OATS, according to the scheme shown in Figure 8. All nine points for each antenna shall be located on the ground plane. If a weather-protection cover is present on the OATS, the minimum distance between any test point and any part of the cover shall be greater than 3 m. Measurement locations inside the cover are prohibited.

NOTE 2 It is advantageous that the local grid (coordinate system) be placed at some non-zero angle relative to the (straight) edges of the ground plane, likewise at some non-zero angle relative to welded seams. An example of such a layout is given in Figure 9.

Under the following conditions, the use of less than nine measurement positions (18 points) shall be allowed.

- Where compliance was shown in the past:

If compliance with the standard deviation  $s \leq 0,3$  dB criterion [see Equation (10)] was shown for at least one pair of antennas for each frequency sub-range within the past 24 months, the following minimum numbers of antenna-pair measurement positions shall be allowed:

- one position (centre) for biconical antennas, in horizontal polarization;
- three positions (centre, plus two other positions) for biconical antennas, in vertical polarization;
- one position (centre) for LPDA antennas, in both polarizations.

- Where compliance can be shown with fewer points, if the compliance criterion is met with fewer than nine points it is permitted to use that number of points.

NOTE 3 For determining the most accurate  $A_{APR}$ , the use of all nine antenna-pair positions will improve the averaging result.

- Number the selected measurement positions from 1 to  $N$  ( $N \leq 9$ ).
- Place the antennas at position 1.
- Measure  $A_{APR,1}$  for all required heights and polarizations at all frequencies listed in Table 4.
- Repeat step d) for all other positions.
- Calculate the average of the measured  $A_{APR,i}$  expressed in dB, using Equation (9):

$$A_{APR} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N A_{APR,i} \quad (9)$$

- Calculate the standard deviation of the mean (i.e. of  $A_{APR}$ ) in dB, using Equation (10):

$$s(A_{APR}) = \sqrt{\frac{1}{N(N-1)} \sum_{i=1}^N (A_{APR,i} - A_{APR})^2} \quad (10)$$

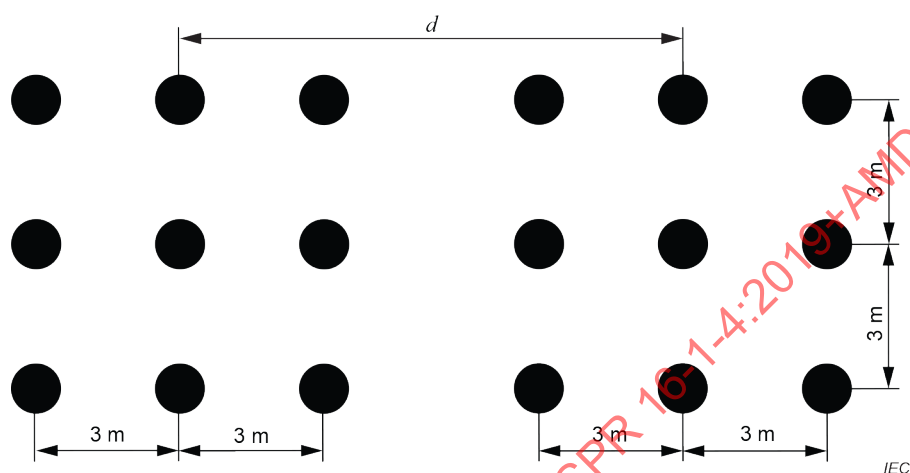
The calibrated  $A_{APR}$  values shall be deemed acceptable to use for subsequent COMTS validation if  $s \leq 0,6$  dB at all measured frequencies.

If  $N \geq 2$ , Equation (10) shall be used to calculate the accuracy of  $s(A_{APR})$  needed for an uncertainty calculation. If  $N = 1$ ,  $s = 0,6$  dB shall be assumed.

Special care shall be taken that no common offset (systematic effect) in the data for all selected positions is introduced. Such an effect could be due to influence of the antenna mast. For some antenna masts, a significant coupling between the metallic cover of the motor

box and the antenna can occur. The magnitude of this influence shall be investigated by changing the distance between the antenna and the motor cover  $d_{\text{Ant}}$  (see Figure 10), and repeating  $A_{\text{APR}}$  measurements with these new configurations. This influence shall be included in the uncertainty calculation.

Another cause for a common offset can be reflections from the antenna cable. To minimize this influence, the cable shall be extended horizontally for at least 2 m behind the antenna before routing down to the ground. Clamp-on ferrites shall be used on the cables to reduce surface currents. This influence factor shall be included in the uncertainty calculation as well.



$d$  is the distance between the projections of the two antenna reference points

**Figure 8 – Paired test point locations for all test distances**

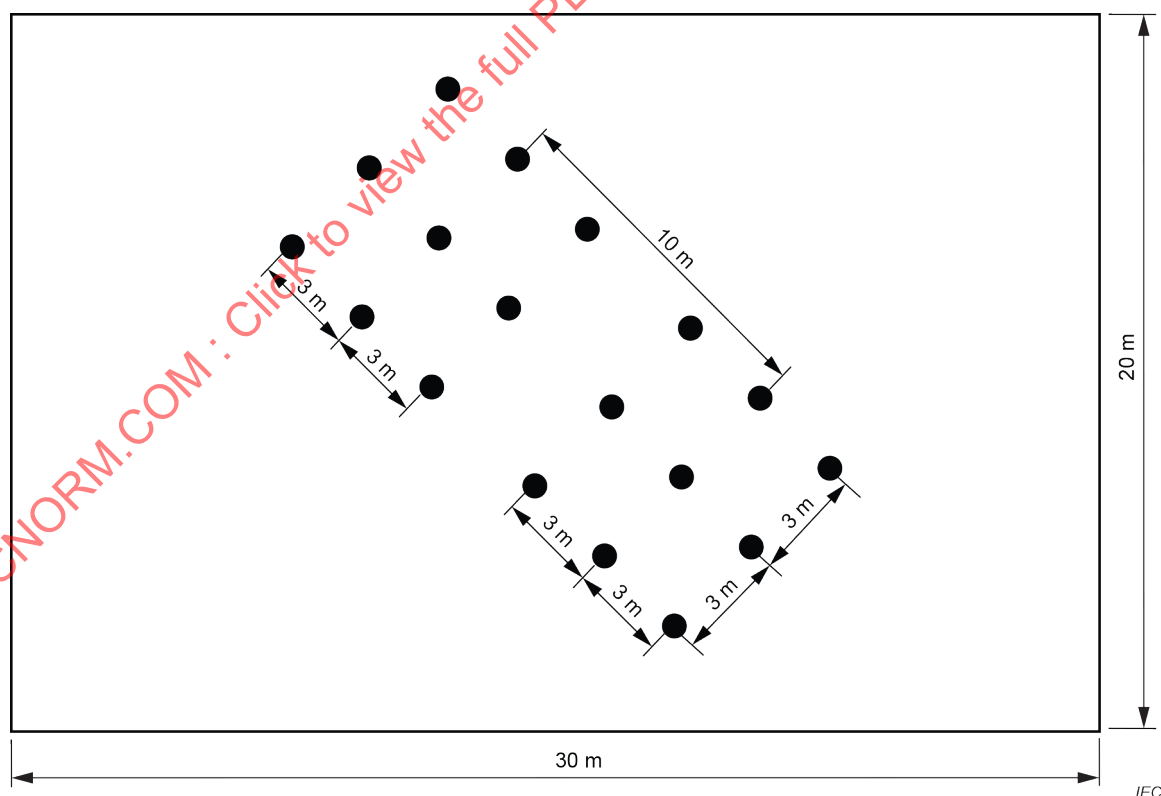


**Figure 9 – Example of paired test point selection for a test distance of 10 m**

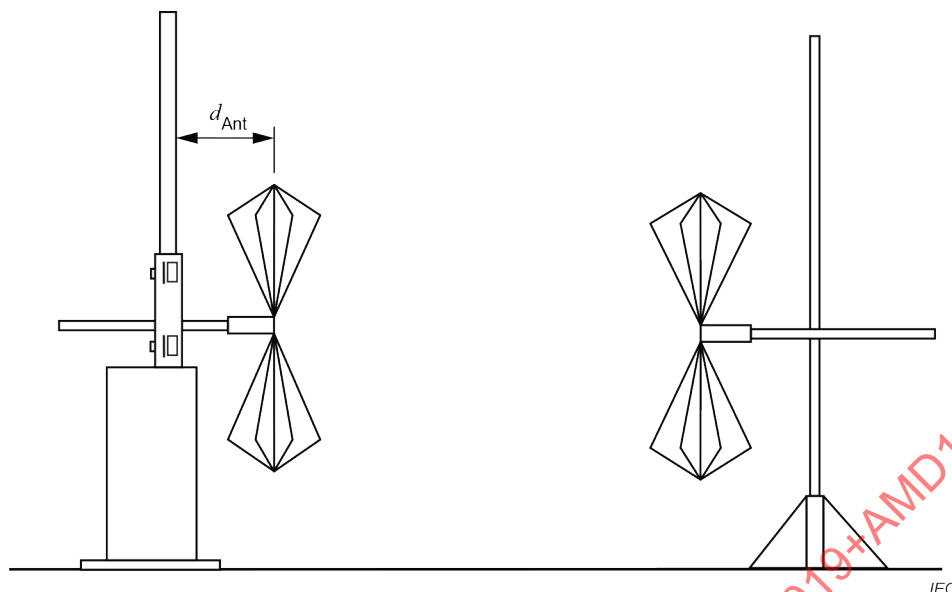


Figure 10 – Illustration of an investigation of influence of antenna mast on  $A_{APR}$

## 6.7 Validation of an OATS by the NSA method

### 6.7.1 Discrete frequency method

#### 6.7.1.1 Measurement set-up

Refer to Figure 11 and Figure 12 in 6.8 for specific test set-up details. The signal generator is connected to the transmit antenna with an appropriate length of cable. The transmit antenna is placed at the desired location. The transmit antenna height is set to  $h_1$  (see Table 2 for the values of  $h_1$ ) and the desired polarization is selected. For broadband antennas, the antenna heights shall be  $h_1 = h_{2,min} = 1$  m.

The receive antenna is mounted on a mast that allows scanning over the height range  $h_{2,min}$  to  $h_{2,max}$ , placed at a distance  $d$  from the transmit antenna, and connected to the measuring receiver or spectrum analyzer via a suitable length of cable. The same polarization as that for the transmit antenna is selected.

NOTE In contrast to the test set-up shown in Figure 11 and Figure 12, site validation of an OATS requires only a single site attenuation measurement.

#### 6.7.1.2 Measurement procedure

The following steps shall be used for each frequency indicated in Table 2. The measurements are first made for antennas horizontally aligned and then for antennas vertically aligned with the transmit antenna height set at  $h_1$ .

- Adjust the output level of the signal generator to give a received voltage display well above ambient and measuring receiver or spectrum analyzer noise.
- Raise the receive antenna on the mast through the  $h_2$  scan range as specified in Table 2. Record the maximum signal level; this value is  $V_{SITE}$  for Equation (6) (see 6.5).
- Disconnect the cables from the transmit antenna and the receive antenna, then connect these cables directly together with a straight-through adaptor.
- Record the signal level with the transmit antenna and receive antenna cables connected. This value is  $V_{DIRECT}$  for Equation (6).
- At each frequency and for each polarization, enter the values from steps b) and d) in Equation (6).

- f) Insert the antenna factors of the transmit antenna and the receive antenna at the measurement frequency in Equation (6).
- g) Solve  $A_s = V_{\text{DIRECT}} - V_{\text{SITE}} - F_{\text{aT}} - F_{\text{aR}}$  for  $A_s$ , which is the NSA for the measurement frequency and polarization used.
- h) Subtract the value in step g) from the appropriate theoretical NSA contained in Table 2, to obtain  $\Delta A_s$ .
- i) If the  $\Delta A_s$  results from step h) are less than  $\pm 4$  dB, the site is deemed to be acceptable at that frequency and polarization.
- j) Repeat steps a) through i) for the next frequency and polarization combination.

NOTE For NSA measurements, an impedance mismatch at the output of the signal source or at the input of the measuring receiver or spectrum analyzer can result in reflections which could cause errors. This can be avoided by use of attenuators of 10 dB, i.e. one at the transmit antenna and one at the receive antenna. If system sensitivity allows, these attenuators remain attached to the cables during the entire NSA measurement process.

## 6.7.2 Swept frequency method

### 6.7.2.1 Measurement set-up

The set-up is similar to that of 6.7.1, except that only broadband antennas are used. No restrictions on vertical polarization antenna height scan are necessary, due to the physically small size of such broadband antennas (compared to e.g. tuned dipoles). The antenna heights shall be  $h_1 = h_{2,\text{min}} = 1$  m.

### 6.7.2.2 Measurement procedure

The following steps should be made using automatic measuring equipment having a peak hold ('max. hold'), storage capability, and tracking generator. In this method, both receive antenna height  $h_2$  and frequency are scanned or swept over the required height and frequency ranges. The frequency ranges are usually determined by the type of broadband antenna used. The frequency sweep speed shall be much greater than the antenna height scan rate. Set the transmit antenna height to  $h_1$ .

- a) Adjust the output level of the tracking generator to give a received voltage display well above ambient and scanning receiver or spectrum analyzer noise.
- b) Raise the receive antenna on the mast to the maximum height of the scan range, as specified in Table 2.
- c) Set the spectrum analyzer to sweep the desired frequency range. Ensure that the spectrum analyzer is adjusted so that a similar signal up to 60 dB higher can be displayed on the same amplitude scale. This will accommodate the levels to be recorded in step d).
- d) Slowly lower the receive antenna to the minimum height of the scan range, as specified in Table 2 for the appropriate site geometry. Store or record the maximum received voltage display  $V_{\text{SITE}}$  in dB( $\mu$ V). (The time it takes to lower the antenna should be much longer than the frequency sweep time.)
- e) Disconnect the cables from the transmit antenna and the receive antenna and connect them directly together with a straight-through adaptor. Store or record the resulting voltage display  $V_{\text{DIRECT}}$  in dB( $\mu$ V).
- f) At each frequency, subtract the voltage measured in step d) from the voltage measured in step e). Also subtract the antenna factors of the transmit antenna and the receive antenna,  $F_{\text{aT}}$  in dB( $\text{m}^{-1}$ ) and  $F_{\text{aR}}$  in dB( $\text{m}^{-1}$ ), respectively (antenna factors as a continuous function of frequency can be obtained by using simple linear curve fitting on a set of discrete antenna factor values). The result is the measured  $A_s$  over the range of frequencies used, which should be plotted. Also plot the theoretical NSA for an ideal site shown in Table 2.
- g) The differences  $\Delta A_s$  found shall fall within the  $\pm 4$  dB criterion.

NOTE For NSA measurement methods, an impedance mismatch at the output of the signal source or at the input of the measuring receiver or spectrum analyzer may result in reflections which could cause errors. This can be avoided by use of padding attenuators of 10 dB, i.e. a 10 dB attenuator between each the transmit antenna connector and the receive antenna connector and the corresponding antenna cables. If system sensitivity allows, these attenuators typically remain attached to the cables during the entire NSA measurement process.

## 6.8 Validation of a weather-protection-enclosed OATS or a SAC

For an OATS with a weather-protection enclosure, or a SAC, a single site attenuation measurement is insufficient to pick up possible reflections from the construction materials and/or the RF-absorbing materials comprising the walls and ceiling of the facility. For these sites a "test volume" is defined as that volume traced out by the largest EUT or system to be tested as it is rotated about its centre location through 360°, such as by a turntable. Evaluating horizontal and vertical polarizations, such as illustrated in Figure 11 and Figure 12, may require a maximum of 20 separate SA measurements, i.e. five positions in the horizontal plane (centre, left, right, front, and rear, measured with respect to the centre and a line drawn from the centre to the position of the measuring antenna), for two polarizations (horizontal and vertical), and for two heights (1 m and 2 m for horizontal, 1 m and 1,5 m for vertical).

These measurements are performed with broadband antennas, and distances are measured with respect to the centres of the antennas. The transmit antenna and the receive antenna shall be aligned with the antenna elements parallel to each other, and orthogonal to the measurement axis.

For both horizontal and vertical polarizations, all antenna positions are at the periphery of the test volume, except for the centre position. As a guideline, the test volume should allow at least 25 cm between the antenna tip and the closest absorber tip, or at least 1 m between the antenna midpoint and the closest absorber tip. For vertical polarization, the lower tip of the antenna shall be greater than 25 cm from the floor, which may require the centre of the antenna to be slightly higher than 1 m for the lowest height measurement.

The number of required measurements can be reduced under the following conditions.

- a) The vertical and horizontal polarization measurements in the rear position may be omitted if the closest point of the construction and/or absorbing materials is at a distance greater than 1 m from the rear boundary of the test volume.

NOTE Radiated disturbance sources located near dielectric interfaces have been shown to have variations in current distribution that can affect the radiated properties of the source at that location. When an EUT can be located near these interfaces, additional SA measurements are necessary.

- b) The total number of horizontal polarization measurements along the test volume diameter joining the left and right positions may be reduced to the minimum number necessary for the antenna footprints to cover 90 % of the diameter.
- c) The vertical polarization measurements at the 1,5 m height may be omitted if the top of the EUT, including any mounting set-up table, is less than 1,5 m high.
- d) If the test volume is no larger than 1 m deep by 1,5 m wide by 1,5 m high, including a set-up table if used, horizontal polarization measurements need only be made at the centre, front and rear positions, but at both 1 m and 2 m heights. If the condition of item a) applies, the rear position may be omitted. This will require a minimum of eight measurements: four positions with vertical polarization (left, centre, right, and front) for one height, and four positions with horizontal polarization (centre and front) for two heights; see Figure 13 and Figure 14.

The receive antenna shall be re-positioned to maintain the appropriate separation along a line towards the turntable centre (see Figures 11, 12, 13 and 14). The test site is considered suitable for performing radiated disturbance measurement if all measurements prescribed above meet the requirements of 6.4.2.

If the test volume height  $h$  exceeds 2 m, two transmit antenna heights  $h_1$  shall be used; i.e.,  $h_1 = 1$  m and  $h_1 = h$  m for horizontal polarization, and  $h_1 = 1$  m and  $h_1 = (h - 0,5)$  m for vertical polarization. For example, if the test volume height  $h = 3$  m, then the transmit antenna heights  $h_1$  shall be 1 m and 3 m for horizontal polarization, and 1 m and 2,5 m for vertical polarization;

if the test volume height  $h = 4$  m, then  $h_1$  shall be 1 m and 4 m for horizontal polarization, and 1 m and 3,5 m for vertical polarization.

NSA data for additional transmit antenna heights of 3,0 m and 4,0 m (HP) and 2,5 m and 3,5 m (VP) for a measurement distance of 10 m, and for an additional transmit antenna height of 2,5 m (HP) and 2,0 m (VP) for a measurement distance of 5 m, are provided in Table 2.

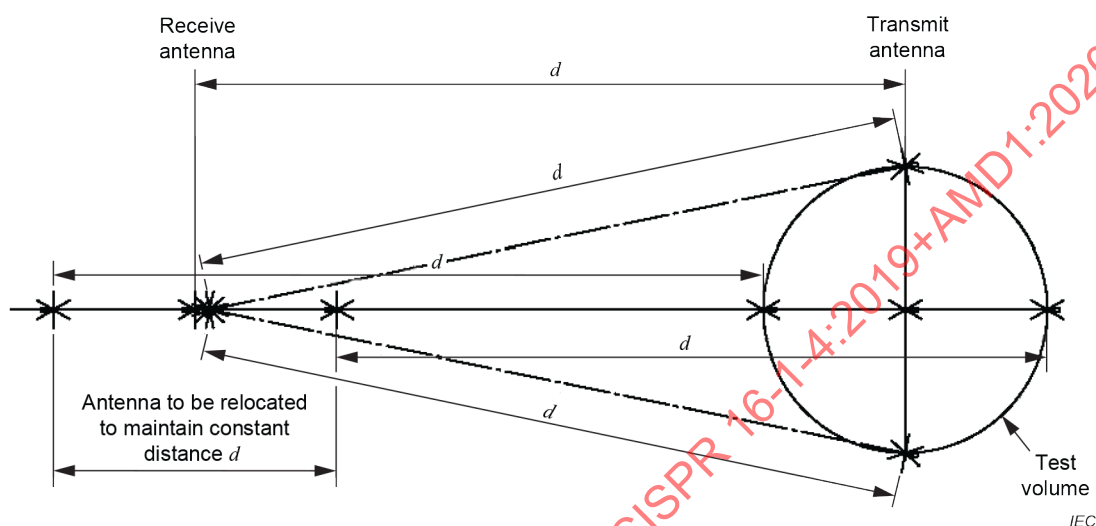


**Figure 11 – Typical antenna positions for a weather-protected OATS or a SAC – vertical polarization validation measurements**

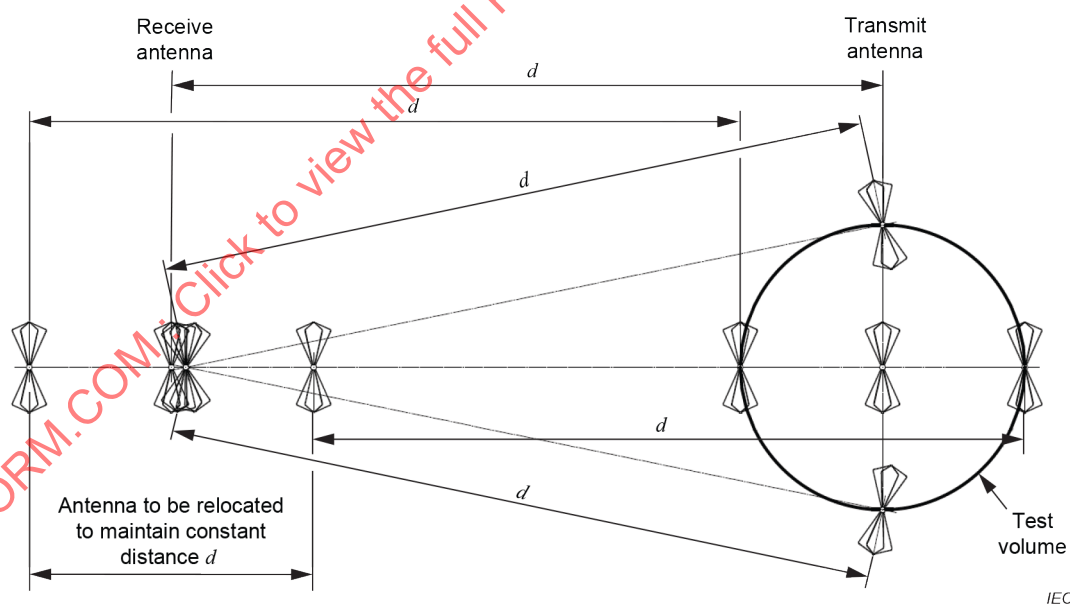


**Figure 12 – Typical antenna positions for a weather-protected OATS or a SAC – horizontal polarization validation measurements**



**Figure 13 – Typical antenna positions for a weather-protected OATS or a SAC – vertical polarization validation measurements for a smaller EUT**



**Figure 14 – Typical antenna positions for a weather-protected OATS or a SAC – horizontal polarization validation measurements for a smaller EUT**

- measurement procedure;
- accuracy of antenna factors;



- drift in signal source or accuracy of receiver or spectrum analyzer input attenuator; and
- readings from the measurement devices.

If no errors are found for the parameters in the preceding list, then the site shall be considered to be at fault, and detailed investigation of possible causes of site variability shall be made. Annex F describes the errors that can occur in NSA measurements.

Note that because vertical polarization is generally a more stringent measurement condition, site anomalies would typically be investigated using this more sensitive metric rather than horizontal polarization NSA results. Key items to investigate include:

- size and construction inadequacy of the ground plane;
- objects at the perimeter of the site that could cause undesired reflections;
- reflections from all-weather cover;
- discontinuity in the ground plane at the turntable circumference, for configurations where the turntable surface is conductive and at the same height as the site ground plane;
- thickness of any dielectric ground plane covers; and
- openings in the ground plane, e.g. for stairways to underground control rooms.

## 6.10 Site validation for FARs

### 6.10.1 General

For a FAR, the NSA shall satisfy the requirement of 6.10.4 over a cylindrical test volume generated by the rotation of the EUT on the turntable. In this context, “the EUT” includes all components of a multi-unit EUT and the interconnecting cables. Table 5 defines the maximum height and diameter ( $h_{\max} = d_{\max}$ ) of the test volume as a function of test distance. This ratio between diameter and test distance ensures an acceptable uncertainty in EUT disturbance measurement.

**Table 5 – Maximum dimensions of test volume versus test distance**

| Maximum diameter $d_{\max}$<br>and height $h_{\max}$<br>of the test volume<br>m | Test distance<br>$d_{\text{nominal}}$<br>m |
|---------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 1,5                                                                             | 3,0                                        |
| 2,5                                                                             | 5,0                                        |
| 5,0                                                                             | 10,0                                       |

A single-position SA measurement may not be sufficient to pick up possible reflections from the shielded room construction materials and/or absorbing materials lining the walls, floor, ceiling, and turntable of a FAR.

Therefore, FAR site validation measurements shall be performed at fifteen measurement positions, for both horizontal and vertical antenna polarizations of the transmit antenna in the test volume (see Figure 15) as follows:

- at three heights of the test volume: bottom, middle and top;
- at five positions in all three horizontal planes: centre, left, right, front, and rear positions in each horizontal plane. The rear position may be omitted if the distance between the rear position and absorbers is more than 0,5 m. During EUT testing, the rear position on the turntable is also turned to the front, and the contribution of the back reflection then will not affect the maximum signal.

For SA measurements, two broadband antennas shall be used: one transmit antenna with its reference point at the measurement positions of the test volume, and one receive antenna outside this test volume at a prescribed orientation and position. The transmit antenna shall have an approximately omnidirectional H-plane pattern, typically a small biconical antenna.

The maximum dimension of the transmit antenna should not exceed 40 cm for a 3 m test distance; at larger distances, the tip-to-tip length of the biconical antenna may be a maximum of 44 cm for a cage design, or 50 cm if it is the collapsible type or a spun-metal cone.

Typical receive antennas are hybrid antennas for 30 MHz to 1 000 MHz, or separate antennas (biconical for 30 MHz to 200 MHz, and LPDA for 200 MHz to 1 000 MHz).

NOTE 1 Use of a hybrid antenna is not recommended for either EUT disturbance measurement or FAR site validation at 3 m distance, due to the relatively large physical size of typical hybrid antennas.

The same antennas used to measure the SA of a FAR shall also be used to measure the reference SA at a quasi free-space test site (see 6.10.2). The receive antenna used during the FAR validation shall be of the same type as used during subsequent radiated disturbance measurements of EUTs.

For test volume validation, both in horizontal and vertical polarizations, and for all transmit antenna positions in the test volume, the height position of the receive antenna in a FAR shall remain fixed at the middle level of the test volume, as shown in Figure 15 and Figure 16. Tilting the antennas is necessary to align the boresight axes of both antennas in one measurement axis along the line between the test points. The distance between the antenna reference point (defined by the antenna calibration) and the front position of the test volume is  $d_{\text{nominal}}$ . When the transmit antenna is moved to other positions in the test volume, the receive antenna shall be translated along the measurement axis to maintain  $d_{\text{nominal}}$  constant. The measurement axis is the line between the transmit antenna and the receive antenna, along which  $d_{\text{nominal}}$  is established. For all positions and polarizations, the receive antenna and the transmit antenna shall face one another with the elements of both antennas parallel (using tilting – see Figure 16). Any antenna masts and supporting floors shall be in place during the site validation measurements.

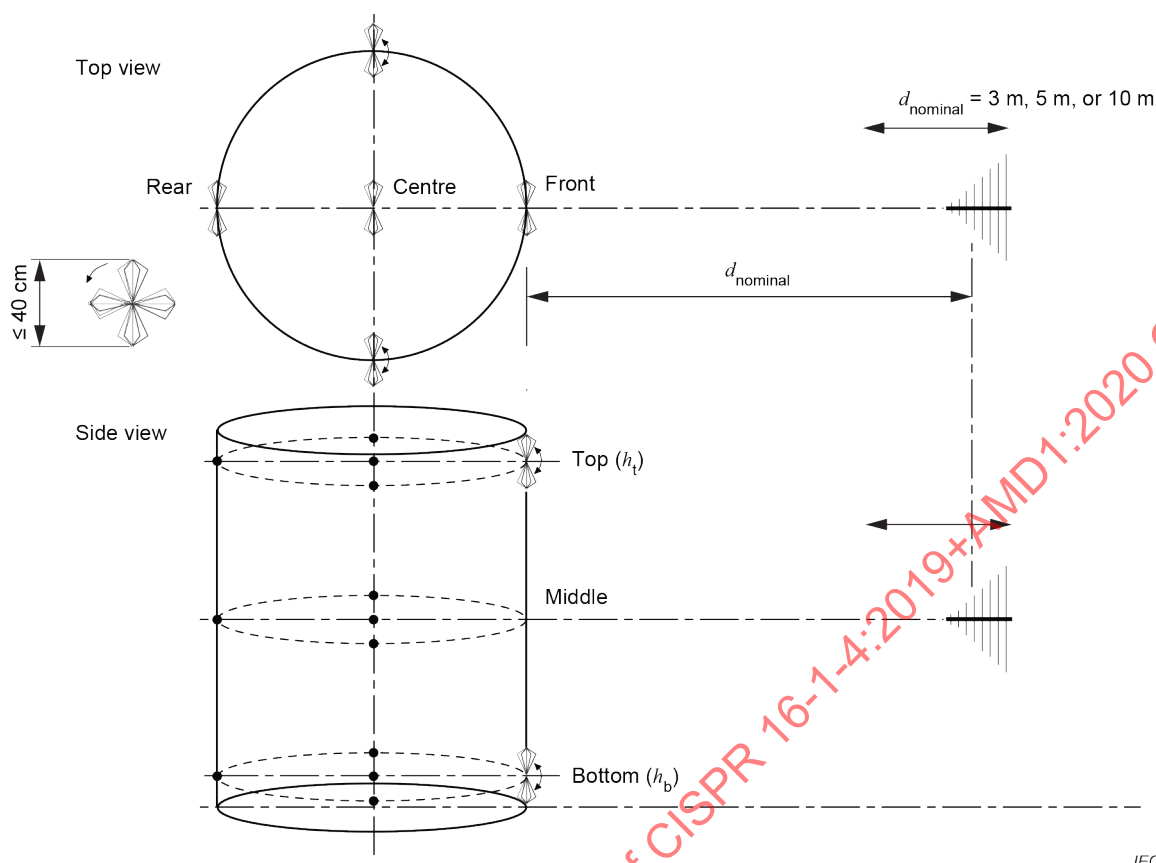


**Figure 15 – Measurement positions for FAR site validation**

For all positions of the transmit antenna in the test volume, in both horizontal and vertical polarizations, the transmit antenna and the receive antenna shall be aligned along the measurement axis.

$d_{\text{nominal}}$  is the EUT test distance associated with the limit;  
 $d_{\text{nominal}}$  is the fixed antenna distance in the site validation measurements;  
 $d_{\text{nominal}}$  is the antenna separation used during measurement of the reference SA if the RSM is used.

The transmit antenna height position in the test volume shall be determined as follows:

- “Middle” ( $h_m$ ) position: where possible, along a virtual axis positioned at mid-height and mid-width of a FAR;
- “Top ( $h_t$ )” and “Bottom ( $h_b$ )” positions: half of  $h_{\text{max}}$  (see Table 5) minus half of the transmit antenna dimension (e.g. 20 cm for a small biconical antenna).

These adjusted positions shall be used for both vertical and horizontal polarizations. The distance between the top and bottom planes and the ceiling and floor absorbers, respectively, is given by the absorber performance as determined by the volumetric NSA test; the distance shall be at least 0,5 m, to avoid EUT to absorber coupling.

The maximum step size for discrete-frequency measurements shall be as listed in Table 6.

Two methods are acceptable for FAR site validation:

- a) the RSM (6.10.2), which is required for test distances less than 5 m; or

b) the NSA method (6.10.3), which is preferred for test distances greater than or equal to 5 m.

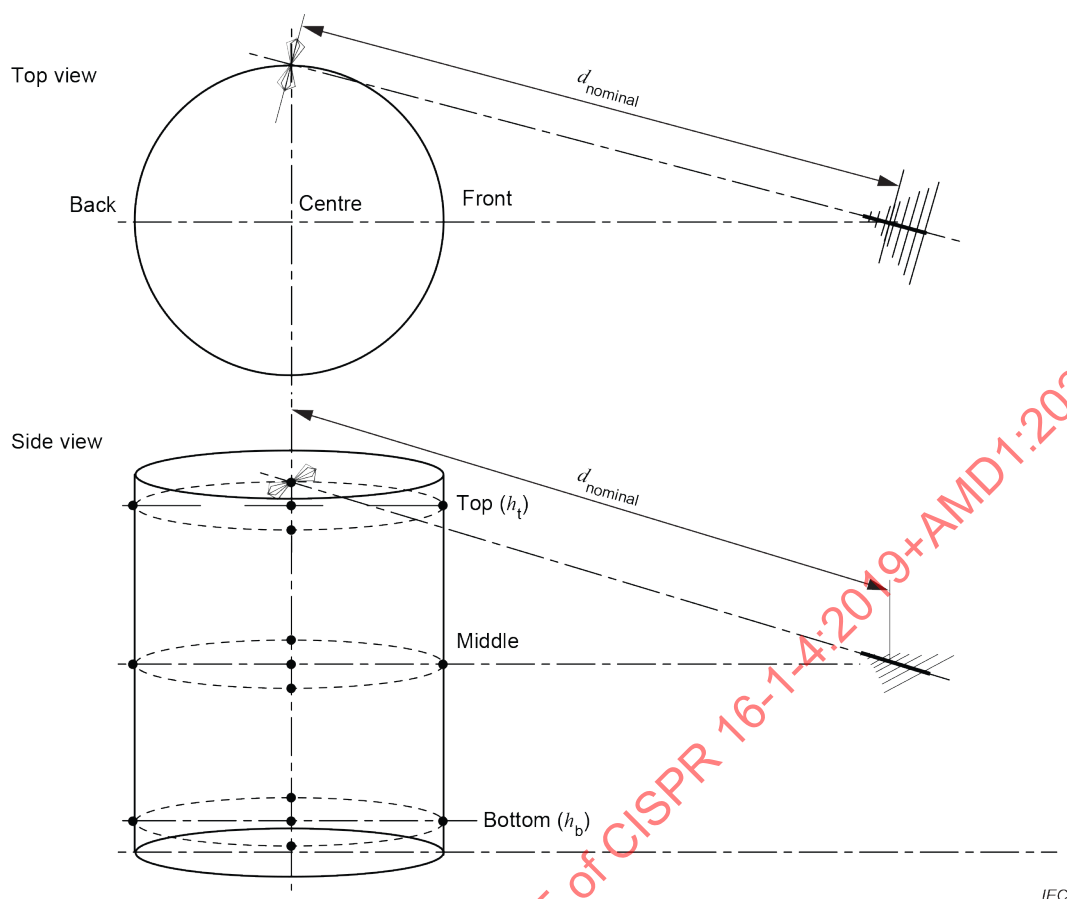
NOTE 2 At separations less than 5 m, antenna mutual coupling cannot be neglected. Additionally it is impractical to determine the RSM  $A_{APR}$  at distances larger than 5 m.

The site validation measurement methods are intended to provide 0 dB deviation from the SA that would result on an ideal site. The site validation criterion is defined in 6.10.4. Any means to reduce measurement uncertainty may be used, as long as these do not contradict the defined set-up and procedures or mask any site deficiencies (e.g. shall not inappropriately smooth resonant responses in results).

Site validation measurement uncertainty can be reduced by the following measures.

- a) For a vertically-polarized antenna, shielded cables shall be extended by at least 2 m behind each antenna before dropping the cable to the ground. If possible, cables shall extend straight back to the bulkhead connectors in the wall of the FAR. Another possibility is the use of clip-on ferrites on the cables. Another alternative for reducing the influence of RF cables is by instead using optical links.
- b) Attenuators at the antenna connectors (e.g. 6 dB or 10 dB) will reduce the influence of any large impedance mismatch at the antennas.
- c) Antennas with good balance of the balun shall be used (i.e. such that the receiver reading changes less than  $\pm 0,5$  dB when the antenna is rotated through  $180^\circ$  with respect to its boresight axis). Antenna balance verification methods are described in 4.5.4.
- d) Separate biconical and LPDA antennas for FAR validation may be used (different antenna types below and above 200 MHz), if these will be used for EUT testing. A hybrid antenna may be used instead if the mechanical dimensions are sufficiently small relative to the test distance.

FAR site validation measurements shall be performed at regular intervals, to detect long-term changes in FAR characteristics, and when changes occur that might influence the electromagnetic-wave transmission characteristics in a FAR.



NOTE Horizontal antenna polarizations, top right position.

**Figure 16 – Example of one measurement position and antenna tilt for FAR site validation**

**Table 6 – Frequency ranges and step sizes for FAR site validation**

| Frequency range<br>MHz | Maximum frequency step<br>MHz |
|------------------------|-------------------------------|
| 30 to 100              | 1                             |
| 100 to 500             | 5                             |
| 500 to 1 000           | 10                            |

### 6.10.2 RSM for FAR sites

The RSM accounts for antenna near field effects and field taper, which can have a significant influence on results at 3 m test distance involving a biconical receive antenna. Whilst these effects are present in the NSA method, they can largely be corrected for. The reference SA  $A_{APR}$  is measured at the nominal distance,  $d_{nominal}$ , between the transmit antenna and the receive antenna.

The FAR site validation procedure for each test volume position is performed in three steps as follows.

- $V_{DIRECT}$  is the reference level measured by the receiver in dB( $\mu$ V) with the cables connected directly together, which is normally done once before a series of volumetric tests;
- $V_{SITE}$  is the level measured by the receiver in dB( $\mu$ V) with antennas in place;

- c) the SA deviation ( $\Delta A_s$ ) relative to the antenna pair reference SA ( $A_{APR}$ ), in dB, is calculated using Equation (11).

$$\Delta A_s = V_{DIRECT} - V_{SITE} - A_{APR} \quad (11)$$

For accurate site validations at distances less than 5 m, it is recommended that a dedicated pair of antennas (transmit antenna and receive antenna) be used to determine the reference SA. A quasi free-space test site (defined in 3.1.18) is required as the reference site. A quasi free-space test site includes two non-metallic antenna masts (constructed from wood or plastic with  $\epsilon_r \leq 2,5$ , low loss, and diameter at minimum while retaining mechanical strength), which allow the placement of antennas at a sufficient height above ground level (Figure 17). One method to realize the  $\pm 1$  dB SA performance of the reference site is to choose the height ( $h$ ) of the antennas using Equation (12):

$$h \geq d \times \frac{8}{3} \quad (12)$$

where  $d$  is the antenna separation in m.

A height of  $h = d \times 8/3$  is recommended to suppress the influence of the ground; alternatively a suitable coverage area of RF absorbers effective for frequencies down to 30 MHz shall be placed on the ground.

NOTE At 3 m separation and 30 MHz, there is a significant effect from the near-field component ( $1/d^2$ ) that alone contributes an error of 0,8 dB for a height of  $d \times 5/3$ , as verified by the UK National Physical Laboratory (NPL). For a reference SA with an uncertainty of less than  $\pm 0,5$  dB, a height of  $d \times 8/3$  is a good solution when the absorber is not placed on the ground.

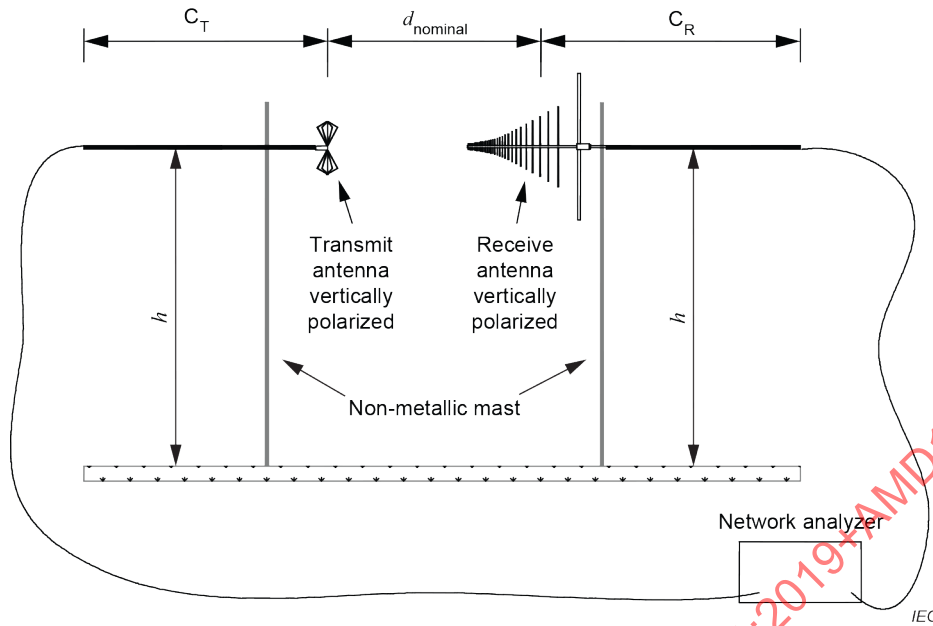
The test distance at the reference site shall be equal to the actual distance  $d_{nominal}$  between the antennas to be used subsequently in a FAR. The antennas are polarized vertically (horizontal polarization shall not be used because of stronger interference with the ground-reflected signal), providing a good approximation to free-space conditions. Clearance from buildings, trees, etc., shall be greater than  $d \times 8/3$ , due to their influence on vertically polarized antenna measurements.

Care shall be taken that the antenna feed cables do not affect the test result. This is best avoided by a cable arrangement as shown in Figure 17, or instead using RF-optical links. The quality of the reference test site set-up directly influences the subsequent FAR evaluation results. The antenna-pair reference SA ( $A_{APR}$ ) is determined in three steps as follows.

- $V_{DIRECT RS}$  is the reference level measured by the receiver in dB( $\mu$ V) with the cables connected together;
- $V_{SITE RS}$  is the level measured by the receiver in dB( $\mu$ V) with the antennas installed at the required distance  $d_{nominal}$ .
- the  $A_{APR}$  in dB is calculated according to Equation (13):

$$A_{APR} = V_{DIRECT RS} - V_{SITE RS} \quad (13)$$

For 3 m site validation, a height of at least 4 m above ground shall be used for the antenna pair, which is a typical capability of remotely controllable antenna masts used for EUT disturbance measurements. In this case, electromagnetic absorbers shall be placed on the ground between the antennas, with the absorber patch extending for a minimum area beyond the antennas in all directions, and it shall be demonstrated that a quasi free-space condition is fulfilled (i.e. SA measurement results within  $\pm 1$  dB of the ideal response at any frequency). For site validation with  $d > 3$  m, the equation  $h > d \times 8/3$  is used to determine the set-up configuration, or an alternative set-up that has been demonstrated to fulfil the  $\pm 1$  dB reference SA can be used.



#### Key

$d_{\text{nominal}}$  validation distance

$h$  height of the antennas above a ground plane or above ground level

$C_T, C_R$  coaxial feed cables for transmit and receive antennas oriented horizontally behind the antennas for a distance as close to 2 m as physically possible. In a FAR, route the cables horizontally as far as possible, preferably straight through a hole in the chamber wall, or use optical fibre connected to an RF-optical link on the output of the antenna.

NOTE Reference SA is obtained separately for all geometries of Figure 17.

**Figure 17 – Typical quasi free-space test site reference SA measurement set-up**

#### 6.10.3 NSA method for FAR sites

This subclause describes the NSA method applied to FARs. The antenna geometry is given in 6.10.1. Site attenuation (SA,  $A_s$  as a quantity in dB) is the transmission loss measured between the connectors of two antennas on a particular site. For free-space sites, no antenna height scanning is applied, which is denoted by the term “site insertion loss” (see 3.1.26).

For a free-space environment,  $A_s$  (in dB) can be approximated by Equation (14) [13]:

$$A_s = 20 \lg \left( \frac{5Z_0}{2\pi} \times \frac{d}{\sqrt{1 - \frac{1}{(\beta d)^2} + \frac{1}{(\beta d)^4}}} \right) - 20 \lg(f_M) + F_{aR} + F_{aT} \quad (14)$$

where

$F_{aR}, F_{aT}$  are the antenna factors of the receive antenna and the transmit antenna in dB(m<sup>-1</sup>);

$d$  is the distance between the phase centres of both antennas in m;

$Z_0$  is the system impedance (i.e. 50 Ω);

$\beta$  is defined as  $2\pi/\lambda$ ; and

$f_M$  is the frequency in MHz.



The theoretical NSA ( $A_{N\text{theo}}$ ) in dB(m<sup>2</sup>) is defined as SA with respective antenna factors subtracted, thus Equation (14) is rewritten as Equation (15):

$$A_{N\text{theo}} = 20 \lg \left( \frac{5Z_0}{2\pi} \times \frac{d}{\sqrt{1 - \frac{1}{(\beta d)^2} + \frac{1}{(\beta d)^4}}} \right) - 20 \lg(f_M) \quad (15)$$

Below 60 MHz at a 5 m distance, or below 110 MHz at a 3 m distance, it is necessary to apply near field correction factors for each of the required measurement positions of Table 5, for comparison with the theoretical NSA values of Figure 18 and Equation (15). Near field correction factors are specific to the antennas, test distance, and test volume used; while these factors can be obtained by using a numerical modelling code such as NEC [3], sufficiently low uncertainties are obtained by the use of Equation (15). Alternatively, the RSM of 6.10.2 provides cancellation of near field terms if the same antennas and frequencies are used for both the reference SA measurement and subsequent FAR validation.

For measurement distances of 10 m and 30 m, the near-field terms in Equation (15) may be omitted, and the equation simplifies to Equation (16):

$$A_{N\text{theo}} = 20 \lg \left( \frac{5Z_0 d}{2\pi} \right) - 20 \lg(f_M) \quad (16)$$

If simplified Equation (16) is used instead of Equation (15), the error introduced is less than 0,1 dB at frequencies above 60 MHz for 5 m distance, and above 110 MHz for 3 m distance. The error will be greater than 0,1 dB below these frequencies, due to near-field effects. For a 3 m distance, the maximum error is 1 dB at 30 MHz. To reduce this error to less than  $\pm 0,3$  dB, Equation (15) should be used.

NOTE 1 Frequencies below 110 MHz for 3 m measurement distances, and below 60 MHz for 5 m measurement distances, include near field effects. These are calculated for each individual test site.

The free space antenna factors of the transmit antenna and the receive antenna are required for this procedure. Site validation for each measurement position shall be performed in three steps as follows.

- $V_{\text{DIRECT}}$  is the reference level measured by the receiver with the cables connected directly together;
- $V_{\text{SITE}}$  is the level measured by the receiver with the antennas in place;
- the SA deviation ( $\Delta A_s$ ) is calculated in dB using Equation (17):

$$\Delta A_s = V_{\text{DIRECT}} - V_{\text{SITE}} - A_{N\text{theo}} - F_{aT} - F_{aR} \quad (17)$$

where  $A_{N\text{theo}}$  is calculated using Equation (16), and the result is compared with the applicable criterion, as specified in 6.10.4.

NOTE 2 The distance  $d$  between the reference points of the transmit and receive antennas (defined during antenna calibration) is used as  $d_{\text{nominal}}$ . The effective distance between the antennas varies with frequency due to their phase centre positions. The transmission loss can be compensated by the ratio of the effective distance to  $d_{\text{nominal}}$ . Because an antenna calibration is not defined for the nominal test distance, the variation in effective measurement distance due the variation of phase centre locations when LPDA antennas are used can be applied as a correction. The additional uncertainty due to this correction and due to any mutual coupling of the antennas can be avoided by using the RSM.

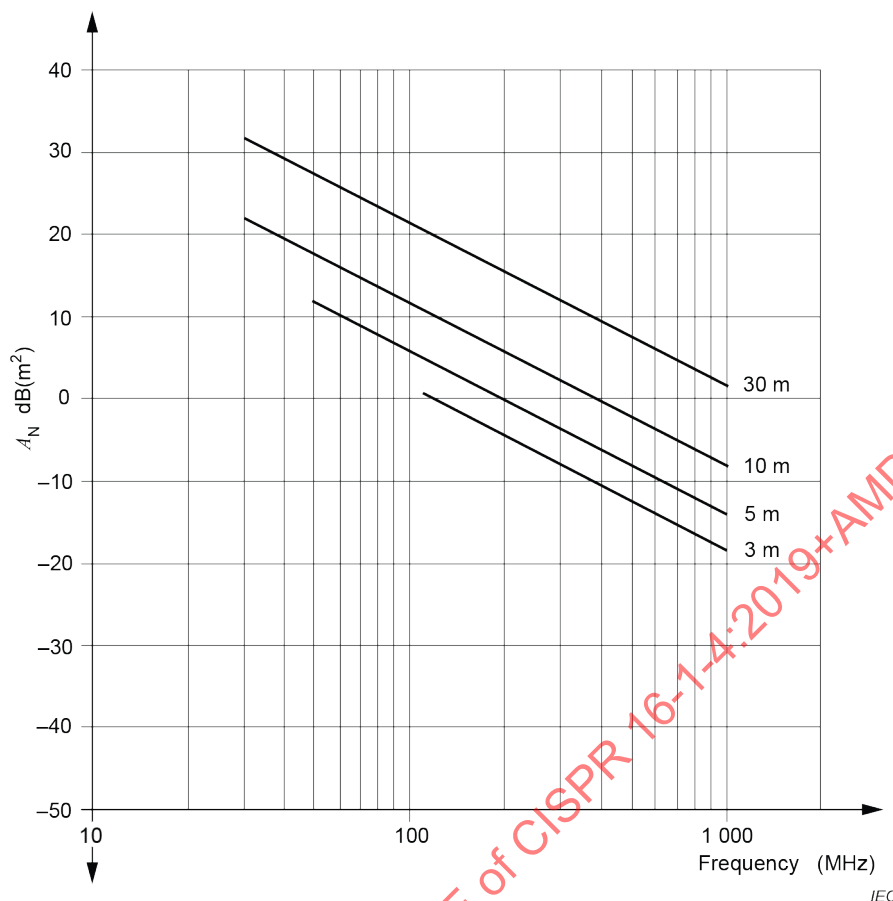


**Figure 18 – Theoretical free-space NSA as a function of frequency for different measurement distances [see Equation (16)]**

#### 6.10.4 Site validation criteria for FAR sites

The SA deviation  $\Delta A_s$  shall be less than  $\pm 4$  dB for both horizontal and vertical polarizations and for each measurement position and measurement frequency range.

#### 6.11 Evaluation of set-up table and antenna tower

##### 6.11.1 General

A set-up table as specified in D.5 typically positions the EUT for field strength measurements. The shape, construction, and material permittivity of the set-up table can influence the field strength measurement results (see [2], [5], [6], [8]). Subclause 6.11.2 describes a procedure to determine the influence of the set-up table for the 30 MHz to 18 GHz frequency range, and to estimate its related uncertainty contribution to field strength measurements. An evaluation shall be performed on any set-up table with a height of more than 0,15 m.

NOTE Only horizontal polarization of a transmit antenna above the set-up table is used in the evaluation. Horizontal polarization, rather than vertical polarization, accounts for the worst-case effects from the table.

The antenna tower does not require additional evaluation, because any perturbation effects will be included in the site validation measurement (see 6.4) and in the  $S_{VSWR}$  measurement (see 7.3).

### 6.11.2 Evaluation procedure for set-up table influences

To evaluate the influence of the set-up table, two transmission measurements are performed: one with the set-up table present, the second with the set-up table absent. During the two measurements, a transmit antenna is maintained in a specific arrangement. The difference between the measurement results with and without the set-up table gives an estimate of the influence caused by the set-up table. The measurement procedure is as follows.

The set-up table shall be placed in the typical position on the test site with the largest dimension (i.e. the diagonal for a set-up table with a rectangular top, or the radius for a table with a circular top) oriented in the direction of the receive antenna (see Figure 19).

For frequencies up to 1 GHz, a small biconical antenna with an overall length of less than 0,40 m shall be used. For frequencies above 1 GHz, an antenna in accordance with 7.4.2 (for example a broadband dipole) shall be used.

Refer to Figure 19 and Figure 20 for placement of the transmit antenna. The antenna shall be placed above the set-up table in horizontal polarization with a distance of 0,1 m between the table surface and the antenna reference point (balun). The antenna shall be positioned with the reference point midway between the centre and the edge of the set-up table top in the direction of the receive antenna. A signal generator shall feed the antenna. The transmit antenna and the receive antenna shall be aligned with the antenna elements parallel to each other and orthogonal to the measurement axis. During the measurement, frequency steps shall be less than or equal to 0,5 % of the highest frequency used. The receive antenna voltage shall be at least 20 dB above the noise level of the measurement equipment. The influence of cabling can be minimized by using long cables or by using ferrite tubes. Routing the cables horizontally to the rear a minimum of 2 m is typically sufficient. Either way, the influence shall be defined as negligible if the receive voltage does not change by more than 0,3 dB when the cable routing is changed by more than 0,5 m from its original position.

**EXAMPLE** A cable with ferrite tubes is routed horizontally for a distance of 1,6 m. To check the cable influence, the cable is re-routed to drop vertically from a point 2,1 m from the connection to the antenna. Then the field strength is re-measured to determine whether the influence is no more than 0,3 dB.

The aim is that there are no changes in the measurement set-up apart from the table being present or absent. The transmit antenna, and its cable connecting to the signal generator, shall be supported in such a way that they retain identical positions in space with and without the table present. A mast, tripod, or tower as used during NSA/RSM measurements (see 6.4) or  $S_{VSWR}$  (see 7.3) shall be used to support the transmit antenna and cable.

Antenna heights and distances shall be as follows:

- For all frequencies, the distance between the receive antenna and the transmit antenna shall be as required for the radiated disturbance measurement.
- At or below 1 GHz, measurements shall be made from at least 200 MHz to 1 GHz. In an OATS or SAC, the receive antenna height shall be scanned as required in the radiated disturbance measurement (typically between 1 m and 4 m). In a FAR, the receive antenna shall be fixed at the height required for the radiated disturbance measurement.

**NOTE** Below 200 MHz the influence of the set-up table is negligible when applying this verification procedure.

- Above 1 GHz, measurements shall be performed over the same frequency range (e.g. 1 GHz to 18 GHz), and the antenna height shall be set (e.g. 1 m to 4 m), as required for the radiated disturbance measurement.

The magnitude of the difference between the two measurement results at each frequency, written as  $\Delta(f)$  and expressed in dB, shall be calculated using Equation (18).

$$\Delta(f) = |V_{R,with}(f) - V_{R,without}(f)| \quad (18)$$

where

$V_{R,with}(f)$  is the maximum voltage at the receive antenna at a specific frequency, expressed in dB( $\mu$ V), measured with the set-up table present;

$V_{R,without}(f)$  is the maximum voltage at the receive antenna at a specific frequency, expressed in dB( $\mu$ V), measured with the set-up table absent.

The maximum magnitude of the difference between the two measurement results recorded across the frequency range, written as  $\Delta_{max}$  and expressed in dB, shall be used as the estimated maximum deviation. This shall be calculated in accordance with Equation (19).

$$\Delta_{max} = \max |V_{R,with}(f) - V_{R,without}(f)| \quad (19)$$

The standard uncertainty  $u_{table}$  caused by the set-up table is estimated by assuming a rectangular distribution for the measured maximum difference  $\Delta_{max}$ . Then  $u_{table}$  (in dB) can be calculated using Equation (20).

$$u_{table} = \frac{1}{\sqrt{3}} \Delta_{max} \quad (20)$$

The value  $u_{table}$  shall be measured and considered in the uncertainty budget (see CISPR 16-4-2) in the following frequency ranges:

- 200 MHz to 1 GHz;
- 1 GHz to 6 GHz;
- 6 GHz to 18 GHz.

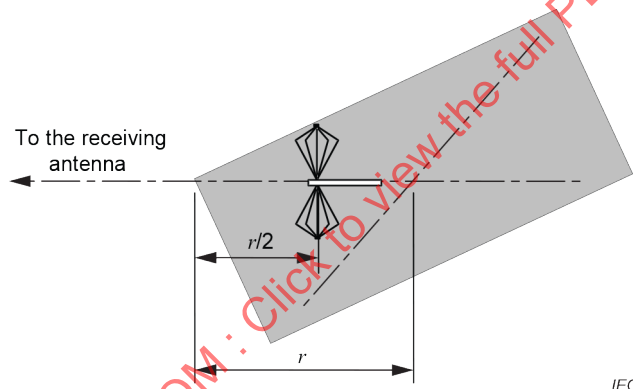


**Figure 19 – Position of the antenna relative to the edge above a rectangle set-up table (top view)**

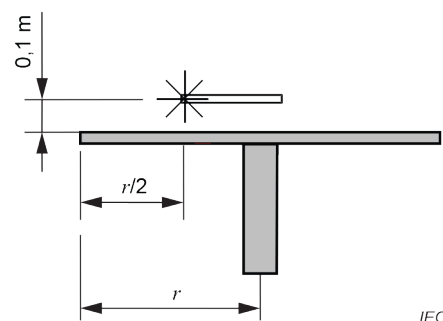


**Figure 20 – Antenna position above the set-up table (side view)**

NOTE Set-up table construction and types of materials will vary among test laboratories. It is sufficient to determine the worst-case value of  $\Delta$  (or  $V_{R,with}$ ) in the determination of  $u_{table}$ .

## 7 Test sites for measurement of radio disturbance field strength for the frequency range 1 GHz to 18 GHz

### 7.1 General

The test site shall rely on reflection-free conditions; it may be necessary to use absorbing material and/or to raise the height of the EUT to achieve these free-space conditions.

NOTE In the case of floor-standing equipment tests, reflection-free conditions might not be achieved close to the ground.

## 7.2 Reference test site

The reference test site shall be a free-space, open-area test site (FSOATS), with precautions to ensure that reflections do not influence the measurement results.

NOTE The FSOATS is the ideal concept of the test site.; Aa practical approximation of an FSOATS is a FAR that meets the validation requirements given in 7.3.

## 7.3 Test site validation

### 7.3.1 General

A test site shall be considered acceptable for radiated disturbance measurements in the 1 GHz to 18 GHz range if it satisfies the criterion provided in 7.3.2. Two site validation procedure options are provided: the  $S_{VSWR}$  standard test procedure (see 7.6) and the  $S_{VSWR}$  reciprocal test procedure (see 7.7). For the purposes of testing per CISPR standards, site validation measurements shall be performed from 1 GHz to the maximum frequency in use at the test facility; the maximum frequency shall be at least 2 GHz.

Test sites used for measurements in the 1 GHz to 18 GHz range shall have a design that minimizes the influence of reflections upon the received signal,; for example, an anechoic chamber. If the site is not designed to provide fully-anechoic conditions, for example a semi-anechoic chamber, use of absorbing material to cover part of the metal ground plane is required, as described in the following paragraphs.

In cases where the test volume extends from the conducting floor of the facility to above the EUT, as may be typical for facilities used primarily for testing floor-standing EUTs, for the validation measurement absorber shall be placed in the test volume as necessary. To accommodate testing of floor-standing equipment that cannot be positioned above the ground plane, illumination of the test volume for a height of up to 30 cm may be obstructed by absorber placed on the ground plane.

When measuring the disturbance of an EUT size smaller than the validated diameter, the diameter of the validated test volume is assumed to apply. In this case the antenna position is adjusted such that the distance between the EUT and the antenna reference point is identical to the distance used for the  $S_{VSWR}$  validation measurements.

NOTE 1 For EUTs smaller than the validated test volume, the rationale is that the RX antenna position in relation to the front of the EUT be adjusted to remain at the distance used in  $S_{VSWR}$  validation. It is assumed that a smaller EUT will remain within the half-power beamwidth of the RX antenna and since the chamber is validated for the largest EUT and therefore the widest beamwidth of the RX antenna, the requirements of 7.6.6.1 in CISPR 16-2-3:2010 are met.

During the disturbance measurement of a floor-standing EUT, floor absorber used during the site validation may be removed in the immediate area (footprint) of the EUT, and for up to 10 cm surrounding the EUT footprint.

In facilities where the test volume is above the height of the absorber, as may be typical of facilities used for testing table-top equipment, absorber may be placed under the test volume for both site validation and equipment tests. Photographs showing the site absorber configuration and transmit antenna and receive antenna locations shall be included in the site validation report.

Site validation is performed by measurements of the  $S_{VSWR}$ . The site validation method evaluates a given test volume for the specific combination of site, receive antenna, test distance (described in CISPR 16-2-3), and absorbing material placed on the ground plane, if needed to meet the criterion of 7.3.2.

Influences of the receive antenna mast located as used for the site validation tests, and permanently-fixed objects in the test volume (such as a permanently-installed turntable), are evaluated by and included in this site validation procedure. Removable objects, such as a removable set-up table, are not required to be in place during the site validation tests if their influence is to be evaluated separately using the additional procedures of 6.11 of this document.

CISPR 16-2-3 provides a description of the EUT measurement method used for testing in 1 GHz to 18 GHz. The purpose of the  $S_{VSWR}$  procedure is to check for the influence of reflections that may be incident upon an EUT of arbitrary size and shape placed within the test volume as evaluated using this procedure.

The  $S_{VSWR}$  is the ratio of maximum received signal to minimum received signal, caused by interference between direct (intended, wanted) and reflected (unwanted) signals, or given by Equation (21):

$$S_{VSWR} = \frac{E_{\max}}{E_{\min}} = \frac{V_{\max}}{V_{\min}} \quad (21)$$

where

$E_{\max}$  and  $E_{\min}$  are the maximum and minimum received signals, and

$V_{\max}$  and  $V_{\min}$  are the corresponding measured voltages when a receiver or spectrum analyzer is used for reception.

For the procedures that follow, decibels (dB) are typically used for the measurements and calculations. In this case,  $S_{VSWR}$  is given by Equation (22):

$$S_{VSWR,dB} = 20 \lg \left( \frac{V_{\max}}{V_{\min}} \right) = 20 \lg \left( \frac{E_{\max}}{E_{\min}} \right) = V_{\max,dB} - V_{\min,dB} = E_{\max,dB} - E_{\min,dB} \quad (22)$$

NOTE 2 When decibels are used,  $S_{VSWR,dB}$  may be taken as the difference of maximum to minimum signal received in units of dBm, dB(μV), or dB(μV/m), as appropriate for the instrumentation or signal detector used.

NOTE 3 The value of  $S_{VSWR}$  or  $S_{VSWR,dB}$  is computed separately from the maximum and minimum signal obtained at each frequency and polarization for a set of six measurements as described in 7.6 or 7.7.

### 7.3.2 Acceptance criterion for site validation

The  $S_{VSWR}$  is directly related to influences of undesired reflections. The acceptance criterion for 1 GHz to 18 GHz site validations is:

$$S_{VSWR} \leq 2:1, \text{ or } S_{VSWR,dB} \leq 6,0 \text{ dB},$$

for  $S_{VSWR}$  measured in accordance with the procedures of 7.6 or 7.7.

## 7.4 Antenna requirements for $S_{VSWR}$ standard test procedure

### 7.4.1 General

To provide illumination of all reflecting surfaces during this test, and to simulate the possible low-directivity radiation patterns exhibited by many EUTs, this subclause specifies characteristics for equipment used for  $S_{VSWR}$  testing. For this purpose, RX and TX antennas are used.

The following subclauses define the performance criteria for the TX antennas for the  $S_{VSWR}$  test; see 4.6.2 for the performance criteria of RX antennas. Type test results supplied by the manufacturer may be used to provide evidence that the antenna performance criteria are met.

The TX and RX patterns shall be measured according to the procedures of Annex I of CISPR 16-1-6:2014/AMD1:2016.

For both the TX and RX antennas, one or more antennas can be used to cover the whole entire frequency range for the  $S_{VSWR}$  test.

NOTE It is assumed that both antennas also meet the performance criteria requirements at all frequencies used for the  $S_{VSWR}$  test.

## 7.4.2 Transmit antenna

### 7.4.2.1 General

The antenna used as a transmit source shall be linearly polarized, and shall have a radiation pattern with the following detailed characteristics. Radiation pattern data shall be available with a frequency step size less than or equal to 1 GHz.

Different frequency step sizes are required due to the change of the radiation pattern with frequency. Typical TX antenna radiation patterns do not change rapidly with frequency, while some LPDA RX antenna radiation patterns do.

### 7.4.2.2 Transmit antenna E-plane radiation pattern

An E-plane radiation pattern for an antenna with simple linear polarization can be measured at one of many possible cut planes (constant azimuth angle) around the radiation sphere. The cut plane for pattern measurements shall be selected by the antenna manufacturer and described in the antenna characterization report. One convenient choice typically is the plane containing the connector and the cable routing.

- Choose a main lobe direction, designated as  $\Theta_M$ , for the right side and the left side of each pattern plot.  $\Theta_M$  shall be between  $0^\circ \pm 15^\circ$  and  $180^\circ \pm 15^\circ$ , respectively.
- Draw the so-called forbidden area symmetrical to the main lobe directions on both sides of the pattern<sup>2</sup> where the amplitude is  $\leq -3$  dB for  $\pm 15^\circ$ .

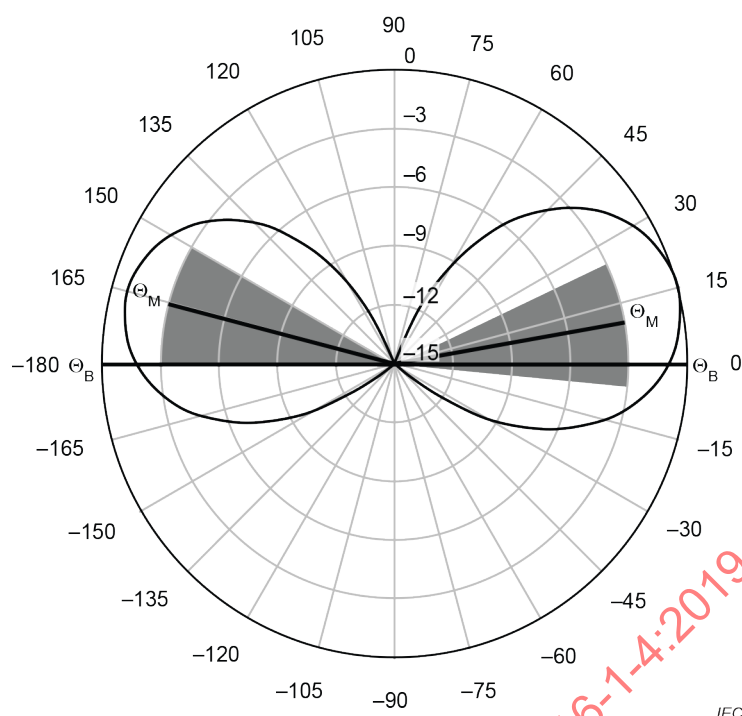
NOTE This limit ensures a smooth pattern in the boresight region, and an acceptable omnidirectional behaviour.

- The E-plane pattern shall not enter the forbidden area.

Figure 21 shows an example radiation pattern that meets the preceding E-plane requirements.

<sup>2</sup> This limit ensures a smooth pattern in the boresight region, and an acceptable omnidirectional behaviour.





NOTE The example plot is for an antenna that meets the E-plane requirements of this subclause. The main lobe directions,  $\Theta_M$ , for the right side and the left side of each pattern plot are between  $0^\circ \pm 15^\circ$  and  $180^\circ \pm 15^\circ$  respectively. The shaded areas represent the “forbidden area” where amplitude would be  $\leq -3$  dB for  $\pm 15^\circ$  of each main lobe. The antenna pattern does not enter the forbidden area.

**Figure 21 – Transmit antenna E-plane radiation pattern example  
(this example is for informative purposes only)**

#### 7.4.2.3 Transmit antenna H-plane radiation pattern

Only one plane is possible for H-plane pattern measurement of a dipole antenna, i.e. the plane orthogonal to the dipole axis intersecting the centre of the dipole. This plane can include a balun, an input connector, and the input cable, depending on whether a metallic cable or optical fiber is used. The manufacturer of the antenna shall describe the set-up used to measure the radiation patterns, including the feed cabling and connector locations, in the test report of the antenna.

- Average the radiation pattern data (in dB) over the range of  $\pm 135^\circ$  ( $0^\circ$  is the boresight angle,  $\Theta_B$ ). The maximum step size for this pattern data is  $5^\circ$  in the frequency range of 1 GHz to 6 GHz, and  $1^\circ$  from 6 GHz to 18 GHz.
- The pattern shall not exceed the following deviations from the  $\pm 135^\circ$ -averaged value:

| Angle range                                                 | 1 GHz to 6 GHz | 6 GHz to 18 GHz |
|-------------------------------------------------------------|----------------|-----------------|
| $-60^\circ$ to $+60^\circ$                                  | $\pm 2$ dB     | $\pm 3$ dB      |
| $-60^\circ$ to $-135^\circ$ , $+60^\circ$ to $+135^\circ$   | $\pm 3$ dB     | $\pm 4$ dB      |
| $-135^\circ$ to $-180^\circ$ , $+135^\circ$ to $+180^\circ$ | $< +3$ dB      | $< +4$ dB       |

NOTE Although a lower bound on the H-plane pattern is not specified outside of  $\pm 135^\circ$ , it is desirable for the H-plane pattern not to show a null at  $\pm 180^\circ$ , but to be omnidirectional as best as possible. Guidance provided by the antenna manufacturer on the routing of the feed cabling and antenna mast, if available, will help to minimize the possible influence on the H-plane pattern outside of  $\pm 135^\circ$ .

Figure 22 shows an example pattern plot that meets the preceding H-plane pattern requirements.



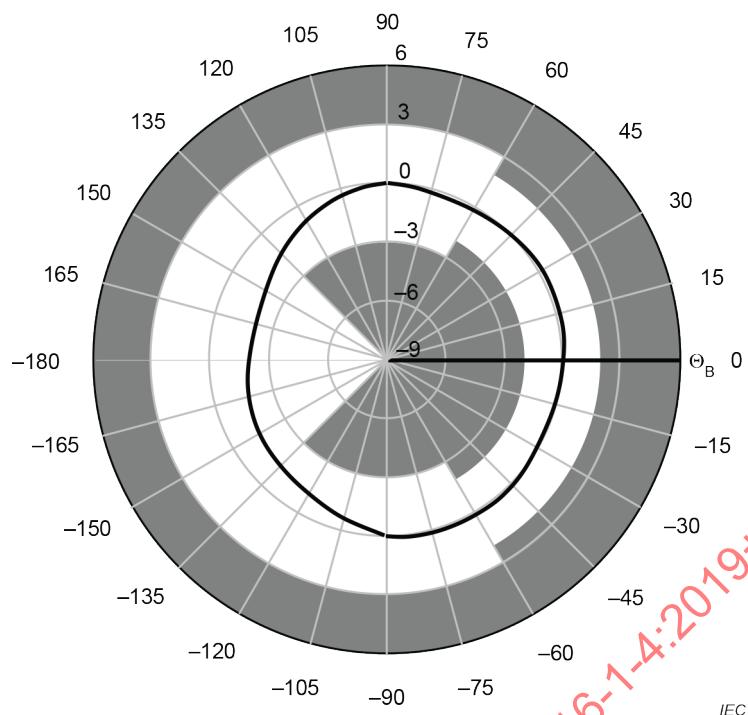


Figure 22a – Transmit antenna H-plane radiation pattern – 1 GHz to 6 GHz

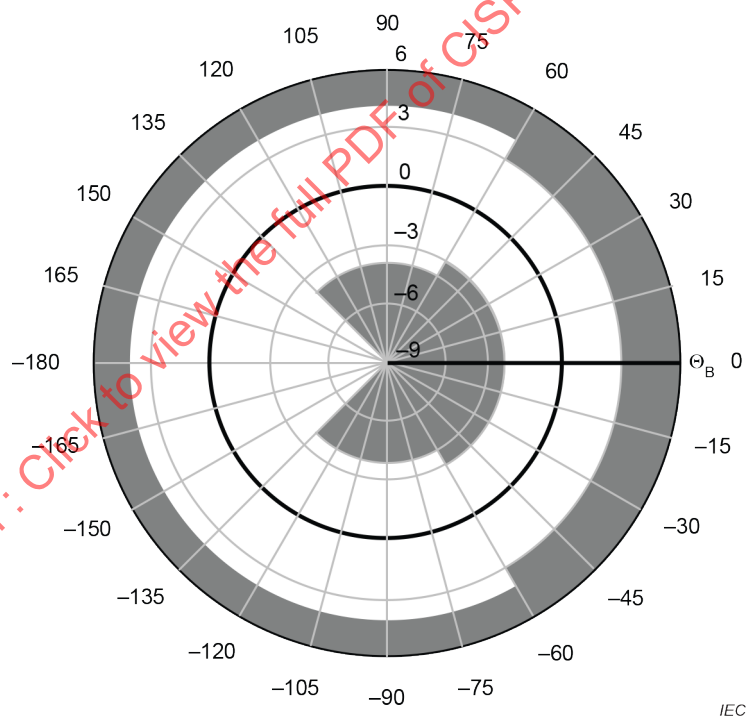


Figure 22b – Transmit antenna H-plane radiation pattern – 6 GHz to 18 GHz

NOTE The example plot is for an antenna that meets the H-plane requirements. The shaded areas represent the maximum permitted deviations stated in this subclause. This example antenna meets the requirements because the pattern does not enter the shaded regions.

Figure 22 – Transmit antenna H-plane radiation pattern  
(this example is for informative purposes only)

#### 7.4.3 Antennas and test equipment for the $S_{VSWR}$ reciprocal test procedure

For the  $S_{VSWR}$  reciprocal test procedure (see 7.7), the antenna used to transmit into the test volume shall be the same type as used for later EUT radiated disturbance measurements, and

shall meet the requirements of 4.6.2. The isotropic field probe used shall be omnidirectional, with anisotropy of no more than 3 dB.

## 7.5 Required positions for site validation testing

### 7.5.1 General

Site validation tests shall be performed for a volume in the shape of a cylinder. The bottom of the cylinder is established by the surface that is used to support the EUT. The top of the cylinder is chosen as the maximum height that an EUT and its vertical overhead cabling would occupy. The diameter of the cylinder is the largest diameter required to accommodate an EUT including cables. For cables that leave the test volume, a 30 cm section of these cables shall be assumed to establish the dimensions of the volume. To accommodate floor-standing equipment that cannot be raised above the supporting surface, test-volume illumination for a height of up to 30 cm from the bottom of the test volume is allowed to be obstructed by absorber placed on the ground plane. For the standard test procedure of 7.6, the  $S_{VSWR}$  is evaluated by placing the receive antenna at the position for which the volume shall be validated, and varying the transmit source location across the defined positions. Alternatively, for the  $S_{VSWR}$  reciprocal test procedure of 7.7, the positions described in this subclause are used for the placement of the field probe in the test volume.

The required locations to perform the  $S_{VSWR}$  measurements are dependent upon the dimensions of the test volume. Details of the conditional measurement position requirements are given in 7.8. The  $S_{VSWR}$  is evaluated for each required location and polarization by a sequence of six measurements, along a line to the reference point of the receive antenna. All of the possible required locations are illustrated in Figure 23 and Figure 24, including the conditional locations described in 7.8. The sequences of six measurements along the lines to the receive antenna are indicated by dots in these figures.

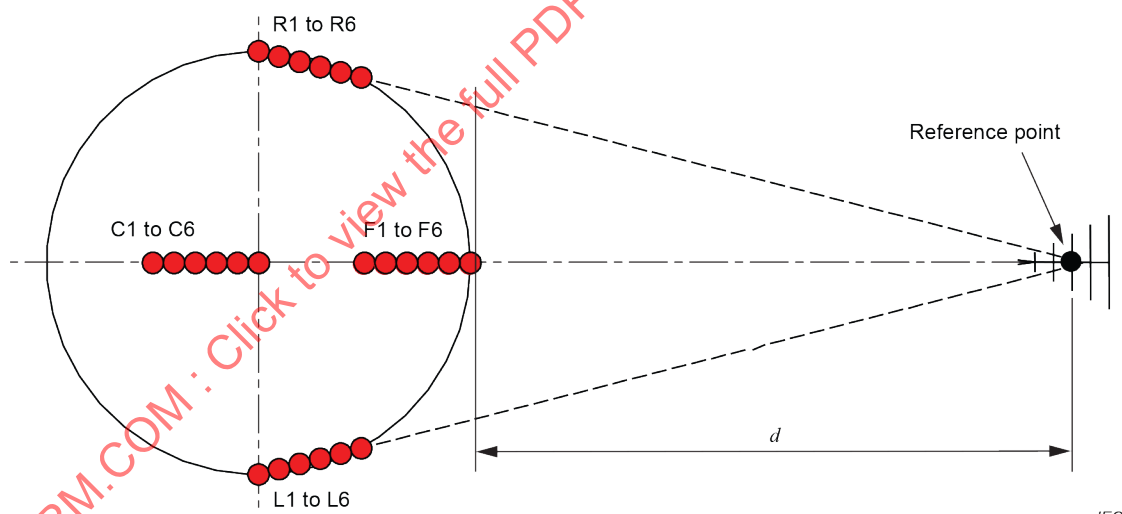


**Figure 23 –  $S_{VSWR}$  measurement positions in a horizontal plane (see 7.5.2 for description)**

### 7.5.2 Descriptions of $S_{VSWR}$ measurement positions in a horizontal plane (Figure 23)

This subclause describes how the  $S_{VSWR}$  measurement positions are found in a horizontal plane illustrated in Figure 23.

- Front positions 1 to 6 (F1 to F6): The front positions are on a line from the centre of the test volume to the receive antenna reference point. To locate these positions, first locate

F6 at the front extent of the test volume, on the measurement axis spaced away at the test distance,  $d$  from the reference point of the receive antenna.

F5 to F1 are measured relative to F6 as follows, moving away from the receive antenna:

- 1) F5 = F6 + 2 cm away from the receive antenna
- 2) F4 = F6 + 10 cm away from the receive antenna
- 3) F3 = F6 + 18 cm away from the receive antenna
- 4) F2 = F6 + 30 cm away from the receive antenna
- 5) F1 = F6 + 40 cm away from the receive antenna

- b) Right positions 1 to 6 (R1 to R6): These positions are located relative to position R6. R6 is found by determining the right extent of the test volume (position R1), then moving on a line toward the receive antenna reference point through 40 cm (see Figure 23).

Positions R5 to R1 are measured relative to R6 as follows, moving away from the receive antenna:

- 1) R5 = R6 + 2 cm away from the receive antenna
- 2) R4 = R6 + 10 cm away from the receive antenna
- 3) R3 = R6 + 18 cm away from the receive antenna
- 4) R2 = R6 + 30 cm away from the receive antenna
- 5) R1 = R6 + 40 cm away from the receive antenna

- c) Left positions 1 to 6 (L1 to L6): These positions are located relative to position L6. L6 is found by determining the left extent of the test volume (position L1), then moving on a line toward the receive antenna reference point through 40 cm (see Figure 23).

Positions L5 to L1 are measured relative to L6 as follows, moving away from the receive antenna:

- 1) L5 = L6 + 2 cm away from the receive antenna
- 2) L4 = L6 + 10 cm away from the receive antenna
- 3) L3 = L6 + 18 cm away from the receive antenna
- 4) L2 = L6 + 30 cm away from the receive antenna
- 5) L1 = L6 + 40 cm away from the receive antenna

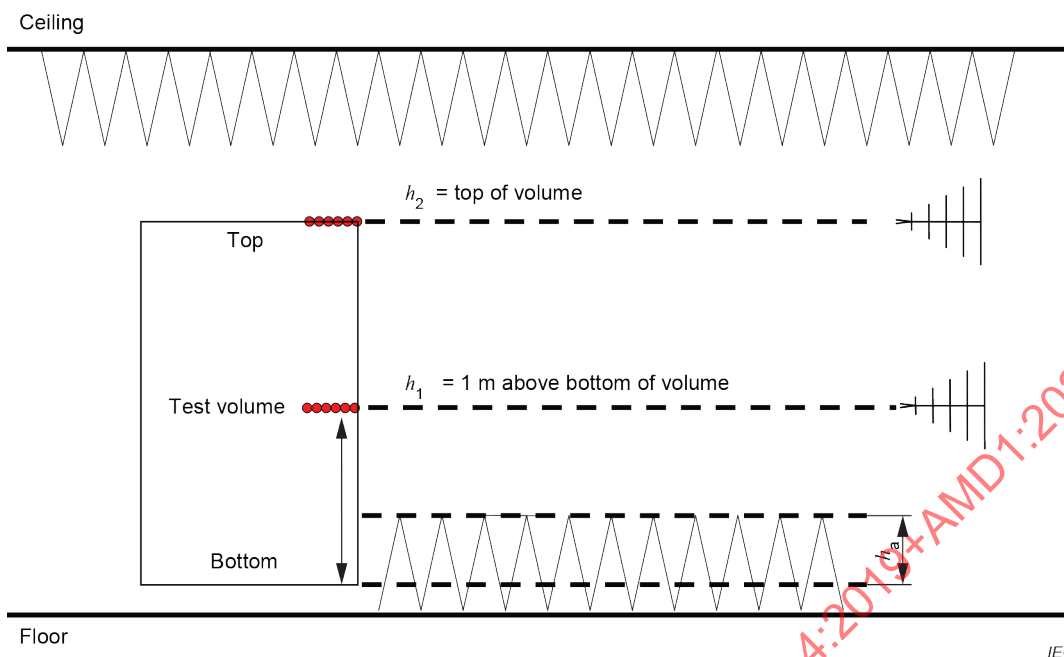
- d) Centre positions 1 to 6 (C1 to C6): These positions are located relative to position C6. Position C6 is at the centre of the test volume. Positions C1 to C6 are required to be tested when the test volume diameter is greater than 1,5 m (see 7.8).

C5 to C1 are measured relative to C6, moving away from the receive antenna as follows:

- 1) C5 = C6 + 2 cm away from the receive antenna
- 2) C4 = C6 + 10 cm away from the receive antenna
- 3) C3 = C6 + 18 cm away from the receive antenna
- 4) C2 = C6 + 30 cm away from the receive antenna
- 5) C1 = C6 + 40 cm away from the receive antenna

### 7.5.3 Descriptions of $S_{VSWR}$ additional measurement positions (Figure 24)

In addition to the locations indicated in Figure 23, an additional  $S_{VSWR}$  test plane at the top of the test volume may be required, depending upon the height of the test volume. Figure 24 illustrates the additional height requirement for  $S_{VSWR}$  measurements. The test at the second height is to be performed at the front position only.



#### Key

- $h_a$  the portion of the test volume that is obstructed by absorber placed on the floor (30 cm maximum)
- $h_1$  height located at the middle of the test volume, or 1,0 m above the bottom of the test volume, whichever is lower
- $h_2$  height located at the top of the test volume and required to be tested when  $h_2$  is separated by at least 0,5 m from  $h_1$  (see 7.8 for details)

**Figure 24 –  $S_{VSWR}$  positions (height requirements)**

#### 7.5.4 Summary of $S_{VSWR}$ measurement positions

Table 7 provides a summary of the  $S_{VSWR}$  measurement positions. In Table 7, the positions are grouped according to height ( $h_1$ ,  $h_2$ ) and location (front, left, right, centre). For each location, a reference position is designated for use in the calculations required by Equation (23) (see 7.6). The positions are designated as  $P_{mnopq}$ , where the subscripts correspond to the position names as listed in the first column of Table 7.

**Table 7 –  $S_{VSWR}$  measurement position designations (1 of 3)**

| Position name                                                                                  | Location | Height | Polarization | Reference position for $d_{ref}$ [see Equation (23)] | Location relative to reference position |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|--------|--------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| <b>Front positions (Front, <math>h_1</math>) at first height</b>                               |          |        |              |                                                      |                                         |
| F1h1H                                                                                          | Front    | $h_1$  | Horizontal   | F6h1                                                 | +40 cm away from the receive antenna    |
| F1h1V                                                                                          | Front    | $h_1$  | Vertical     | F6h1                                                 | +40 cm away from the receive antenna    |
| F2h1H                                                                                          | Front    | $h_1$  | Horizontal   | F6h1                                                 | +30 cm away from the receive antenna    |
| F2h1V                                                                                          | Front    | $h_1$  | Vertical     | F6h1                                                 | +30 cm away from the receive antenna    |
| F3h1H                                                                                          | Front    | $h_1$  | Horizontal   | F6h1                                                 | +18 cm away from the receive antenna    |
| F3h1V                                                                                          | Front    | $h_1$  | Vertical     | F6h1                                                 | +18 cm away from the receive antenna    |
| F4h1H                                                                                          | Front    | $h_1$  | Horizontal   | F6h1                                                 | +10 cm away from the receive antenna    |
| F4h1V                                                                                          | Front    | $h_1$  | Vertical     | F6h1                                                 | +10 cm away from the receive antenna    |
| F5h1H                                                                                          | Front    | $h_1$  | Horizontal   | F6h1                                                 | +2 cm away from the receive antenna     |
| F5h1V                                                                                          | Front    | $h_1$  | Vertical     | F6h1                                                 | +2 cm away from the receive antenna     |
| F6h1H                                                                                          | Front    | $h_1$  | Horizontal   | F6h1                                                 | = Reference position (Front, $h_1$ )    |
| F6h1V                                                                                          | Front    | $h_1$  | Vertical     | F6h1                                                 | = Reference position (Front, $h_1$ )    |
| <b>Centre positions (Centre, <math>h_1</math>) at first height<br/>(if required – see 7.8)</b> |          |        |              |                                                      |                                         |
| C1h1H                                                                                          | Centre   | $h_1$  | Horizontal   | C6h1                                                 | +40 cm away from the receive antenna    |
| C1h1V                                                                                          | Centre   | $h_1$  | Vertical     | C6h1                                                 | +40 cm away from the receive antenna    |
| C2h1H                                                                                          | Centre   | $h_1$  | Horizontal   | C6h1                                                 | +30 cm away from the receive antenna    |
| C2h1V                                                                                          | Centre   | $h_1$  | Vertical     | C6h1                                                 | +30 cm away from the receive antenna    |
| C3h1H                                                                                          | Centre   | $h_1$  | Horizontal   | C6h1                                                 | +18 cm away from the receive antenna    |
| C3h1V                                                                                          | Centre   | $h_1$  | Vertical     | C6h1                                                 | +18 cm away from the receive antenna    |
| C4h1H                                                                                          | Centre   | $h_1$  | Horizontal   | C6h1                                                 | +10 cm away from the receive antenna    |
| C4h1V                                                                                          | Centre   | $h_1$  | Vertical     | C6h1                                                 | +10 cm away from the receive antenna    |
| C5h1H                                                                                          | Centre   | $h_1$  | Horizontal   | C6h1                                                 | +2 cm away from the receive antenna     |
| C5h1V                                                                                          | Centre   | $h_1$  | Vertical     | C6h1                                                 | +2 cm away from the receive antenna     |
| C6h1H                                                                                          | Centre   | $h_1$  | Horizontal   | C6h1                                                 | = Reference position (centre, $h_1$ )   |
| C6h1V                                                                                          | Centre   | $h_1$  | Vertical     | C6h1                                                 | = Reference position (centre, $h_1$ )   |

Table 7 (2 of 3)

| Position name                          | Location | Height | Polarization | Reference position for $d_{\text{ref}}$ [see Equation (23)] | Location relative to reference position                                |
|----------------------------------------|----------|--------|--------------|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| <b>Right positions at first height</b> |          |        |              |                                                             |                                                                        |
| R1h1H                                  | Right    | $h_1$  | Horizontal   | R6h1                                                        | +40 cm away from the receive antenna at the right extent of the volume |
| R1h1V                                  | Right    | $h_1$  | Vertical     | R6h1                                                        | +40 cm away from the receive antenna at the right extent of the volume |
| R2h1H                                  | Right    | $h_1$  | Horizontal   | R6h1                                                        | +30 cm away from the receive antenna                                   |
| R2h1V                                  | Right    | $h_1$  | Vertical     | R6h1                                                        | +30 cm away from the receive antenna                                   |
| R3h1H                                  | Right    | $h_1$  | Horizontal   | R6h1                                                        | +18 cm away from the receive antenna                                   |
| R3h1V                                  | Right    | $h_1$  | Vertical     | R6h1                                                        | +18 cm away from the receive antenna                                   |
| R4h1H                                  | Right    | $h_1$  | Horizontal   | R6h1                                                        | +10 cm away from the receive antenna                                   |
| R4h1V                                  | Right    | $h_1$  | Vertical     | R6h1                                                        | +10 cm away from the receive antenna                                   |
| R5h1H                                  | Right    | $h_1$  | Horizontal   | R6h1                                                        | +2 cm away from the receive antenna                                    |
| R5h1V                                  | Right    | $h_1$  | Vertical     | R6h1                                                        | +2 cm away from the receive antenna                                    |
| R6h1H                                  | Right    | $h_1$  | Horizontal   | R6h1                                                        | = Reference position (Right, $h_1$ )                                   |
| R6h1V                                  | Right    | $h_1$  | Vertical     | R6h1                                                        | = Reference position (Right, $h_1$ )                                   |
| <b>Left positions at first height</b>  |          |        |              |                                                             |                                                                        |
| L1h1H                                  | Left     | $h_1$  | Horizontal   | L6h1                                                        | +40 cm away from the receive antenna at the left extent of the volume  |
| L1h1V                                  | Left     | $h_1$  | Vertical     | L6h1                                                        | +40 cm away from the receive antenna at the left extent of the volume  |
| L2h1H                                  | Left     | $h_1$  | Horizontal   | L6h1                                                        | +30 cm away from the receive antenna                                   |
| L2h1V                                  | Left     | $h_1$  | Vertical     | L6h1                                                        | +30 cm away from the receive antenna                                   |
| L3h1H                                  | Left     | $h_1$  | Horizontal   | L6h1                                                        | +18 cm away from the receive antenna                                   |
| L3h1V                                  | Left     | $h_1$  | Vertical     | L6h1                                                        | +18 cm away from the receive antenna                                   |
| L4h1H                                  | Left     | $h_1$  | Horizontal   | L6h1                                                        | +10 cm away from the receive antenna                                   |
| L4h1V                                  | Left     | $h_1$  | Vertical     | L6h1                                                        | +10 cm away from the receive antenna                                   |
| L5h1H                                  | Left     | $h_1$  | Horizontal   | L6h1                                                        | +2 cm away from the receive antenna                                    |
| L5h1V                                  | Left     | $h_1$  | Vertical     | L6h1                                                        | +2 cm away from the receive antenna                                    |
| L6h1H                                  | Left     | $h_1$  | Horizontal   | L6h1                                                        | = Reference position (Left, $h_1$ )                                    |
| L6h1V                                  | Left     | $h_1$  | Vertical     | L6h1                                                        | = Reference position (Left, $h_1$ )                                    |

**Table 7 (3 of 3)**

| Position name                                                               | Location | Height | Polarization | Reference position for $d_{\text{ref}}$ [see Equation (23)] | Location relative to reference position |
|-----------------------------------------------------------------------------|----------|--------|--------------|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| <b>Front positions at second height<br/>(if required – see 7.8)</b>         |          |        |              |                                                             |                                         |
| F1h2H                                                                       | Front    | $h_2$  | Horizontal   | F6h2                                                        | +40 cm away from the receive antenna    |
| F1h2V                                                                       | Front    | $h_2$  | Vertical     | F6h2                                                        | +40 cm away from the receive antenna    |
| F2h2H                                                                       | Front    | $h_2$  | Horizontal   | F6h2                                                        | +30 cm away from the receive antenna    |
| F2h2V                                                                       | Front    | $h_2$  | Vertical     | F6h2                                                        | +30 cm away from the receive antenna    |
| F3h2H                                                                       | Front    | $h_2$  | Horizontal   | F6h2                                                        | +18 cm away from the receive antenna    |
| F3h2V                                                                       | Front    | $h_2$  | Vertical     | F6h2                                                        | +18 cm away from the receive antenna    |
| F4h2H                                                                       | Front    | $h_2$  | Horizontal   | F6h2                                                        | +10 cm away from the receive antenna    |
| F4h2V                                                                       | Front    | $h_2$  | Vertical     | F6h2                                                        | +10 cm away from the receive antenna    |
| F5h2H                                                                       | Front    | $h_2$  | Horizontal   | F6h2                                                        | +2 cm away from the receive antenna     |
| F5h2V                                                                       | Front    | $h_2$  | Vertical     | F6h2                                                        | +2 cm away from the receive antenna     |
| F6h2H                                                                       | Front    | $h_2$  | Horizontal   | F6h2                                                        | = Reference position (Front, $h_2$ )    |
| F6h2V                                                                       | Front    | $h_2$  | Vertical     | F6h2                                                        | = Reference position (Front, $h_2$ )    |
| NOTE These $S_{\text{VSWR}}$ measurements may be performed in any sequence. |          |        |              |                                                             |                                         |

## 7.6 $S_{\text{VSWR}}$ site validation – standard test procedure

In the following procedure, the positions are designated as  $P_{\text{mnopq}}$ , where the subscripts correspond to the position names as listed in the first column of Table 7. The measured signal,  $M$ , is the received electric field strength or voltage measurement at each position, and is similarly denoted by subscripts as  $M_{\text{mnopq}}$ . For example,  $P_{\text{F1h1H}}$  is the position F1, at height 1, horizontal polarization, and its measured signal (in dB) is referred to as  $M_{\text{F1h1H}}$ .

- Locate the transmit source with its reference point at front position 6, height 1, in horizontal polarization ( $P_{\text{F6h1H}}$ ). Locate the receive antenna, also in horizontal polarization, at the test distance  $d$ , measured from the source to the reference point of the receive antenna. Note that the receive antenna height shall be located at the same height as the transmit source for all measurements.
- Verify that the received signal displayed will be at least 20 dB above the ambient and above the measuring receiver or spectrum analyzer displayed noise across the entire frequency range to be measured. If not, it may be necessary to use different equipment (antennas, cables, signal generator, preamplifier) and/or use partial frequency ranges as appropriate to maintain a level of 20 dB above the displayed noise floor.
- Record the measured signal level,  $M_{\text{F6h1H}}$  at each frequency. Swept measurements or stepped frequency increments may be used. If stepped increments are used, the frequency increment shall be 50 MHz or less.
- Repeat steps b) and c) with the transmit source at the other five positions shown in Table 8 (see 7.9) for the front, height 1, horizontal polarization. In total, there will be six measurements for front, height 1, horizontal polarization ( $M_{\text{F1h1H}}$  through  $M_{\text{F6h1H}}$ ) varying in separation distance from the receive antenna by the increments shown in Table 7.
- Change the polarization of the transmit source and receive antenna to vertical, then repeat the above procedure for positions  $P_{\text{F1h1V}}$  through  $P_{\text{F6h1V}}$ , to obtain  $M_{\text{F1h1V}}$  through  $M_{\text{F6h1V}}$ .
- For all measurements, normalize the measured field strength or voltage data to the distance of the reference position shown in Table 7, using Equation (23):

$$M'_{\text{mnopq}} = M_{\text{mnopq}} + 20 \lg \left( \frac{d_{\text{mnopq}}}{d_{\text{ref}}} \right) \text{ dB} \quad (23)$$

where

|                     |                                                                                                                                                                                                                         |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $d_{\text{mnopq}}$  | is the actual separation distance for the measurement location;                                                                                                                                                         |
| $d_{\text{ref}}$    | is the separation distance measured to the reference position;                                                                                                                                                          |
| $M_{\text{mnopq}}$  | is the measured signal (field strength or receiver voltage) in dB. Note that each measurement location has a different reference position corresponding to position 6, as indicated in Table 7 for $P_{\text{mnopq}}$ ; |
| $M'_{\text{mnopq}}$ | is normalized measured field strength or voltage data relative to the distance of the reference position shown in Table 7.                                                                                              |

- g) Using Equation (21) or Equation (22) (see 7.3.1), calculate the  $S_{\text{VSWR}}$  for horizontal polarization. Using Equation (22),  $S_{\text{VSWR,dB}}$  can be obtained by subtracting the minimum received signal,  $M_{\text{min,dB}}$ , from the maximum received signal,  $M_{\text{max,dB}}$ , after distance corrections have been applied [i.e. step per 7.6 f)] for the six positions. Repeat the calculation for readings obtained using vertical polarization.
- h) The  $S_{\text{VSWR}}$  for each polarization shall fulfil the acceptance criteria of 7.3.2.
- i) Repeat steps a) to through h) for the left and right positions of the test volume. Note that when the transmit source antenna is moved to the left or right, its boresight direction shall be aimed towards the receive antenna. However, the receive antenna shall remain facing towards the centre (not aimed at the side positions), which is the same direction it will be facing later during EUT measurements.
- j) If required by 7.8, repeat the above procedure for the measurements at the centre position, and for the measurements required at the second height. When measurements are performed at the second height, the receive antenna shall be at the same height as the transmit antenna.

## 7.7 $S_{\text{VSWR}}$ site validation – reciprocal test procedure using an isotropic field probe

For shielded facilities (i.e. fully-anechoic chamber or semi-anechoic chambers), it is permitted to evaluate  $S_{\text{VSWR}}$  using an isotropic field probe placed at the required locations of Table 7, and illuminating the test volume with the same antenna that is used later as the receive antenna for EUT radiated disturbance measurements. For the purposes of this document, this method is termed the “reciprocal” method of  $S_{\text{VSWR}}$  site validation. In this  $S_{\text{VSWR}}$  reciprocal test procedure, the antenna to later be used as the receive antenna in EUT disturbance measurement is termed the “transmit” antenna, because it will be used to transmit to a probe located in the test volume. The isotropic field probe is required to fulfil the radiation pattern specifications of 7.4.2. The probe shall be capable of being aligned with the polarization of the transmit antenna, i.e. the location and orientation of the sensing elements within the probe shall be known.

The  $S_{\text{VSWR}}$  site validation reciprocal test procedure using an isotropic field probe is as follows.

- a) Place the field probe at the front position 6, height 1, in horizontal polarization ( $P_{\text{F6h1H}}$ ). Place the transmit antenna at the test distance  $d$  as measured from the perimeter of the test volume to the reference point of the antenna. The transmit antenna height shall be at the same height as the probe for all positions.
- b) Verify that field strength magnitude is sufficient to allow proper functioning of the probe. For guidance on the equipment and procedures necessary to establish appropriate field strengths, refer to the manufacturer’s operating specifications for the probe (adequate sensitivity and measurement uncertainty). In addition, the transmit system and probe system should be checked for linearity, and harmonics shall be suppressed to a level of at least 15 dB below the primary signal. Use of a directional coupler is recommended to monitor forward power during the test, because variations in the output power level will produce variations in the test results. It is important to provide stable output signals, because any signal variation due to instability of the signal source (e.g. bad cable



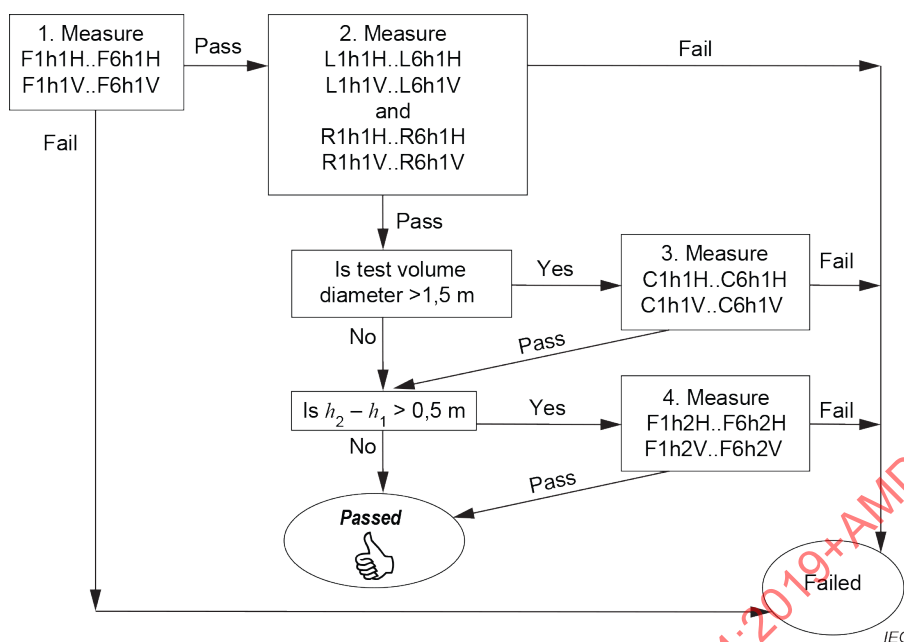
connections, variations with warm-up time of the power amplifier, etc.) can produce additional variations of the results (i.e. artificially high  $S_{VSWR}$  results).

- c) Record the measured signal level,  $M_{F6h1H}$ , at each frequency. Swept measurements or stepped frequency increments may be used. If stepped increments are used, the frequency increment shall be 50 MHz or less.
- d) Repeat steps b) and c) with the field probe at the other five positions shown in Table 8 (see 7.9) for the front, height 1, horizontal polarization. In total, there will be six measurements for front, height 1, horizontal polarization ( $M_{F1h1H}$  through  $M_{F6h1H}$ ) varying in separation distance from the receive antenna by the increments shown in Table 7.
- e) Change the polarization of the field probe and antenna to vertical, and repeat the above procedure for positions  $P_{F1h1V}$  through  $P_{F1h6V}$ , to obtain  $M_{F1h1V}$  through  $M_{F6h1V}$ .
- f) For all measurements, normalize the obtained data using Equation (23).
- g) Using Equation (21) or Equation (22) (see 7.3.1), calculate the  $S_{VSWR}$  for horizontal polarization. Using Equation (22),  $S_{VSWR,dB}$  can be obtained by subtracting the minimum received signal,  $M_{min,dB}$ , from the maximum received signal,  $M_{max,dB}$ , after distance corrections have been applied [i.e. per 7.7 f)] for the six positions. Repeat the calculation for the readings obtained using vertical polarization.
- h) The  $S_{VSWR}$  for both polarizations shall fulfil the acceptance criteria of 7.3.2.
- i) Repeat the above procedure for the left and right positions of the test volume. Note that for this reciprocal  $S_{VSWR}$  procedure the probe may be adjusted to maintain a constant direction facing at the reference point of the transmit antenna. However, the transmit antenna shall remain facing toward the centre of the volume (not aimed at the side positions) in the same direction it will be facing during later EUT measurements.
- j) If required by 7.8, repeat the above procedure for the measurements at the centre position, and for any measurements required at the second height. When measurements are performed at the second height, the probe shall be at the same height as the transmit antenna.

## 7.8 $S_{VSWR}$ conditional measurement position requirements

As indicated in Figure 23, Figure 24, and Table 7, additional measurement positions are required to be tested depending upon the size of the test volume. Figure 25 presents a flow chart specifying when these additional measurements are required.

When additional measurement positions are required,  $S_{VSWR}$  is to be determined at each test frequency from each group of six measurements independently for horizontal and vertical polarization, using the procedures of 7.6 or 7.7.



NOTE Measurements are not required to be performed in the sequence shown, and may proceed in any order such that all the required data is obtained.

Figure 25 –  $S_{VSWR}$  conditional measurement position requirements

## 7.9 $S_{VSWR}$ site validation test report

Table 8 lists a summary of all of the possible required  $S_{VSWR}$  measurements and calculations (normalized), including the results from the required positions and the conditional positions of 7.8. The  $S_{VSWR}$  calculations and reporting requirements apply for each test frequency.

Table 8 –  $S_{VSWR}$  reporting requirements

| Location | Height | Polarization | Type        | $S_{VSWR}$<br>dB                                                                        |
|----------|--------|--------------|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| Front    | $h_1$  | Horizontal   | Required    | $= \text{Max} (M'_{F1h1H} \dots M'_{F6h1H}) - \text{Min} (M'_{F1h1H} \dots M'_{F6h1H})$ |
| Front    | $h_1$  | Vertical     | Required    | $= \text{Max} (M'_{F1h1V} \dots M'_{F6h1V}) - \text{Min} (M'_{F1h1V} \dots M'_{F6h1V})$ |
| Right    | $h_1$  | Horizontal   | Required    | $= \text{Max} (M'_{R1h1H} \dots M'_{R6h1H}) - \text{Min} (M'_{R1h1H} \dots M'_{R6h1H})$ |
| Right    | $h_1$  | Vertical     | Required    | $= \text{Max} (M'_{R1h1V} \dots M'_{R6h1V}) - \text{Min} (M'_{R1h1V} \dots M'_{R6h1V})$ |
| Left     | $h_1$  | Horizontal   | Required    | $= \text{Max} (M'_{L1h1H} \dots M'_{L6h1H}) - \text{Min} (M'_{L1h1H} \dots M'_{L6h1H})$ |
| Left     | $h_1$  | Vertical     | Required    | $= \text{Max} (M'_{L1h1V} \dots M'_{L6h1V}) - \text{Min} (M'_{L1h1V} \dots M'_{L6h1V})$ |
| Centre   | $h_1$  | Horizontal   | Conditional | $= \text{Max} (M'_{C1h1H} \dots M'_{C6h1H}) - \text{Min} (M'_{C1h1H} \dots M'_{C6h1H})$ |
| Centre   | $h_1$  | Vertical     | Conditional | $= \text{Max} (M'_{C1h1V} \dots M'_{C6h1V}) - \text{Min} (M'_{C1h1V} \dots M'_{C6h1V})$ |
| Front    | $h_2$  | Horizontal   | Conditional | $= \text{Max} (M'_{F1h2H} \dots M'_{F6h2H}) - \text{Min} (M'_{F1h2H} \dots M'_{F6h2H})$ |
| Front    | $h_2$  | Vertical     | Conditional | $= \text{Max} (M'_{F1h2V} \dots M'_{F6h2V}) - \text{Min} (M'_{F1h2V} \dots M'_{F6h2V})$ |

## 7.10 Limitations of the $S_{VSWR}$ site validation method

The measurement points chosen for 7.5 and contained in the preceding procedures are intended to provide an overall measure of the  $S_{VSWR}$  of the test site across the frequency range of 1 GHz to 18 GHz. Note however that the peak  $S_{VSWR}$  may not always be captured using the procedures of 7.6 or 7.7 at any specific frequency  $f$ . Therefore, statements about  $S_{VSWR}$  compliance based on measurements at any single frequency should be avoided.

However, the peak found by the above procedures within adjacent frequency octaves ( $0,5f$  to  $2f$ ) is typically representative of the worst case  $S_{VSWR}$  for all frequencies inclusive in the band.

In cases where more accuracy of the  $S_{VSWR}$  results is desired at a single frequency, the above method can be improved by measuring more than six locations along the lines shown in Figure 23 and Figure 24. The additional data collection points should be spaced unequally, and selected based on a distance translation of the source antenna (or field probe with the reciprocal  $S_{VSWR}$  method) using quarter-wavelength steps at the frequency of interest.

### 7.11 Alternative test sites

Any test site that achieves free-space conditions is a possible alternative test site.

## 8 Common mode absorption devices

### 8.1 General

Common mode absorption devices (CMADs) are applied on cables leaving the test volume during a radiated disturbance measurement. CMADs are used in radiated disturbance measurements to reduce variations in the measurement results between different test sites, due to possible differing values of common mode impedance and symmetry at the point where cables leave the test site (e.g. turntable centre). The basic characteristics of CMADs can be expressed in terms of  $S$ -parameters. Derived performance quantities, such as insertion loss or reflection coefficient, can be determined from these  $S$ -parameters. This clause specifies measurement methods for the verification of the  $S$ -parameters of a CMAD.

### 8.2 CMAD $S$ -parameter measurements

$S$ -parameters measured in a test jig, as described in 8.3, are used to characterize the properties of a CMAD. The values of the complex  $S$ -parameters are evaluated at the reference planes indicated in Figure 26. The reference method for the measurement of  $S$ -parameters with the highest possible accuracy uses a vector network analyzer (VNA) and the TRL calibration method, as described in 8.4.

### 8.3 CMAD test jig

A test jig used for measuring the  $S$ -parameters of a CMAD under test shall have a cylindrical metal rod above a metal ground plane, as shown in Figure 26. The metal rod between the vertical flanges of the test jig consists of three sections: one section forming a transmission line in the jig between the two reference planes, and two adaptor sections between the reference planes and the adaptor ports.

The effects on CMAD measurement results from the adaptor sections and the adaptor ports can be eliminated by using the TRL calibration method described in 8.4, providing a low uncertainty for the final measurements. Any type of adaptor may be used for the measurements of 8.4. Examples of adaptors are shown in Figures 29 to 31 (see 8.6).

The diameter  $d$  of the cylindrical rod shall be 4 mm. The height above the ground plane,  $h$ , is defined by the dimensions of the CMAD; typical values are 30 mm, 65 mm, and 90 mm. The measurement shall be performed at the height defined by the construction of the CMAD. The distance between the reference plane and the vertical flange of the jig (adaptor section),  $L_A$ , shall be at least  $2h$  (see Figure 26). The distances between the reference planes and the CMAD ends,  $D_A$  and  $D_B$ , should be as small as possible, but not larger than  $h$ . The metal ground plane of the test jig shall be greater than  $(L_{\text{jig}} + 4h)$  in length, and greater than  $4h$  in width.

The characteristic impedance,  $Z_{\text{ref}}$ , is given by the internal diameter of the line,  $d$  (defined to be 4 mm), and by the height of the centre of the rod above the ground plane,  $h$ :

$$Z_{\text{ref}} = \frac{Z_0}{2\pi} \cosh^{-1}\left(\frac{2h}{d}\right) \text{ in } \Omega \quad (24)$$

where

$Z_0$  is the free-space impedance (i.e.  $120\pi$ ) in  $\Omega$ ;

$d$  is the test conductor diameter, defined to be 4 mm;

$h$  is the height of the centre of the test conductor above the ground plane.

EXAMPLE Typical values of  $Z_{\text{ref}}$  for various heights  $h$  are:

$h = 30 \text{ mm} \rightarrow Z_{\text{ref}} = 204 \Omega$

$h = 65 \text{ mm} \rightarrow Z_{\text{ref}} = 248 \Omega$

$h = 90 \text{ mm} \rightarrow Z_{\text{ref}} = 270 \Omega$

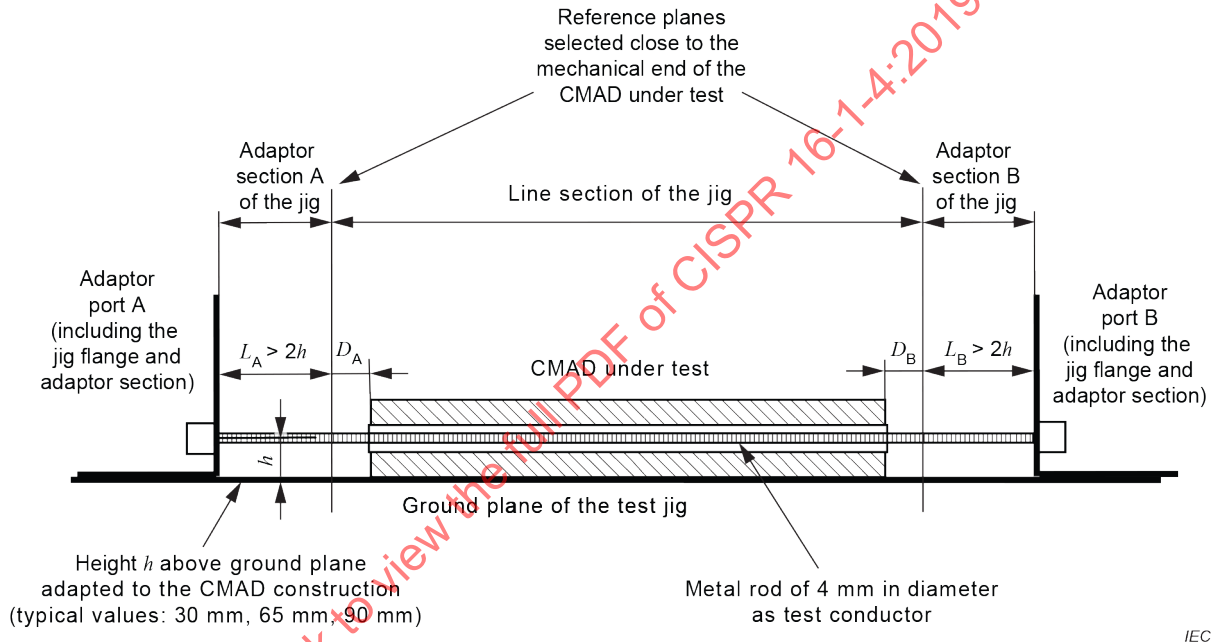


Figure 26 – Definition of the reference planes inside the test jig

#### 8.4 Measurement method using the TRL calibration

The through-reflect-line (TRL) calibration method is recommended for measuring the  $S$ -parameters of CMADs. Use of this calibration procedure allows selection of the reference plane inside the test jig such that it is in close proximity to the location where the CMAD under test will be placed, thus distances  $D_A$  and  $D_B$  can be minimized (see Figure 26). The calibration requires a metal rod (termed “line”) with the same diameter and height as the transmission line section of the jig. The characteristic impedance and length of the line section shall be known exactly, and are introduced into the calibration data used by the firmware of the VNA, or by external correction calculations.

The length of the line section used for a TRL calibration process determines the frequency range in which the TRL calibration can be performed. This frequency limitation results from the mathematical procedure used in the TRL calibration method, where at some frequencies a divide-by-zero (or very small values) condition is possible and shall be avoided.

If the length of the “line” reference is  $L$ , the frequency range shall be limited to between low and high frequencies  $f_L$  and  $f_H$  as follows:

$$f_L = 0,05 \frac{c}{L} \quad (25)$$

$$f_H = 0,45 \frac{c}{L} \quad (26)$$

where  $c$  is  $3 \times 10^8$  m/s. A “line” length of 0,6 m is appropriate for calibration in the frequency range 30 MHz to 200 MHz. If the measurement has to be extended to higher frequencies, a second “line” calibration is necessary. A second calibration with a “line” length of 0,12 m would be appropriate for the frequency range 150 MHz to 1 000 MHz.

Four calibration configurations are necessary for the TRL calibration method, as follows.

- “reflect” (port A): Measuring the complex value  $S_{11}$  of the adaptor section and adaptor without any other connection (simulating an open-circuit condition) [Figure 27a];
- “reflect” (port B): Measuring the complex value  $S_{22}$  of the adaptor section and adaptor without any other connection (simulating an open-circuit condition) [Figure 27b];
- “through”: Measuring the complex values  $S_{11}$ ,  $S_{12}$ ,  $S_{21}$ ,  $S_{22}$  with the two adaptor sections directly connected together (without the line section in between) [Figure 27c];
- “line”: Measuring the complex values  $S_{11}$ ,  $S_{12}$ ,  $S_{21}$ ,  $S_{22}$  with the line section introduced [Figure 27d]

These calibration measurements yield 10 complex numbers for each frequency point. If the VNA includes a firmware for TRL calibration, it will use these reference measurements to calculate the proper corrections for the TRL measurement. If the VNA does not support the TRL calibration, the necessary corrections may be made independent of the VNA according to the procedure described in CISPR TR 16-3.

The properties of the adaptor sections and adaptor ports outside of the calibration planes do not need to be known for the TRL calibration; rather, these are measured in the calibration procedure and are compensated correctly by the TRL calibration. Different types of adaptors may be used. It is recommended to use the same type of adaptors and the same length of the adaptor section on both ends of the test jig. It is also recommended that the two adaptor sections are the same length, i.e.  $L_A = L_B$ .

After calibration, the CMAD under test is introduced into the line section of the test jig. The adaptor sections and adaptors shall be exactly the same as used for the calibration. The length of the metal rod can be different from the length of the “line” used for the calibration, but the diameter (4 mm) and the height above the ground plane shall be the same as used for the calibration. The metal rod inside the CMAD should be positioned as accurately as possible in the centre of the CMAD opening. The length of the metal rod can be selected such that the reference plane corresponds with the physical ends of the CMAD (i.e.  $D_A$  as small as possible). Typical CMADs have a length of 0,6 m. In this case, the 4 mm line section can be used for calibration covering the frequency range of 30 MHz to 200 MHz, as well as for the measurement of the CMAD (also including the frequency range above 200 MHz, calibrated by a shorter line section). The measurement results for a CMAD under test using the VNA measurement corrected by the TRL calibration is a set of the four  $S$ -parameters referenced to the characteristic impedance of the transmission line section (empty jig),  $Z_{0,jig}$ .



Figure 27a – Configuration for the calibration measurement “reflect port A”



Figure 27b – Configuration for the calibration measurement “reflect port B”

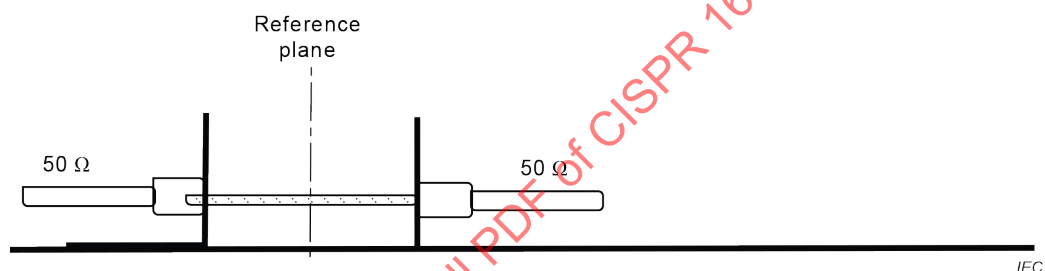


Figure 27c – Configuration for the calibration measurement “through”

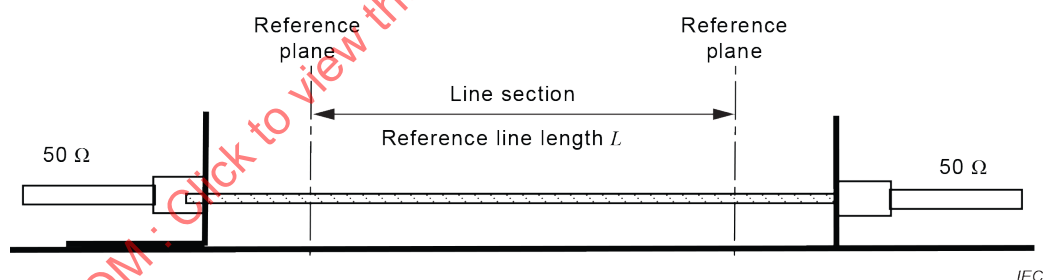


Figure 27d – Configuration for the calibration measurement “line”

NOTE The length  $L$  of the reference line for the calibration need not to be the same as the length used for the measurement of the CMAD. The length of the reference line for the calibration procedure is selected according to the frequency range needed.

Figure 27 – The four configurations for the TRL calibration

### 8.5 Specification of ferrite clamp-type CMAD

Ferrite clamp-type CMADs are used during radiated disturbance measurements below 1 GHz for the purpose of reducing compliance uncertainty. The characteristics of a CMAD are measured according to provisions of 8.1 to 8.3, and referenced to the characteristic impedance of the empty jig,  $Z_{0,jig}$ .

A comparison of available ferrite clamp-type CMADs has shown that a magnitude of  $S_{21}$  less than 0,25 is required to provide sufficient decoupling. These values can be achieved with CMADs having a magnitude of  $S_{11}$  as shown in Figure 28.

Ferrite clamp CMADs shall meet the following specifications.

- a) the magnitude of  $S_{21}$  shall be less than 0,25 in the frequency range 30 MHz to 200 MHz;
- b) the magnitude of  $S_{11}$  shall be within the following limit range in the frequency range 30 MHz to 200 MHz:
  - upper limit 0,75 at 30 MHz, and 0,55 at 200 MHz (decreasing linearly with the logarithm of the frequency);
  - lower limit 0,6 at 30 MHz, and 0,4 at 200 MHz (decreasing linearly with the logarithm of the frequency).

A specification in the frequency range from 200 MHz to 1 000 MHz is not required, because radiated disturbance measurements are not seriously affected by cable termination conditions at these frequencies.

A rationale for using  $S$ -parameters for the specification of ferrite-type CMADs is provided in CISPR TR 16-3.

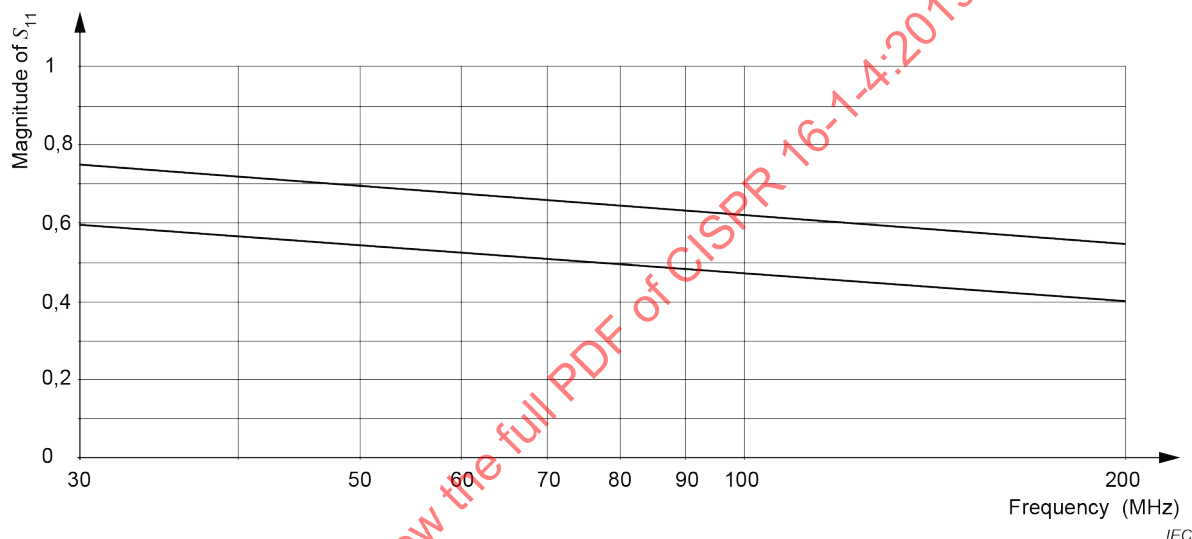


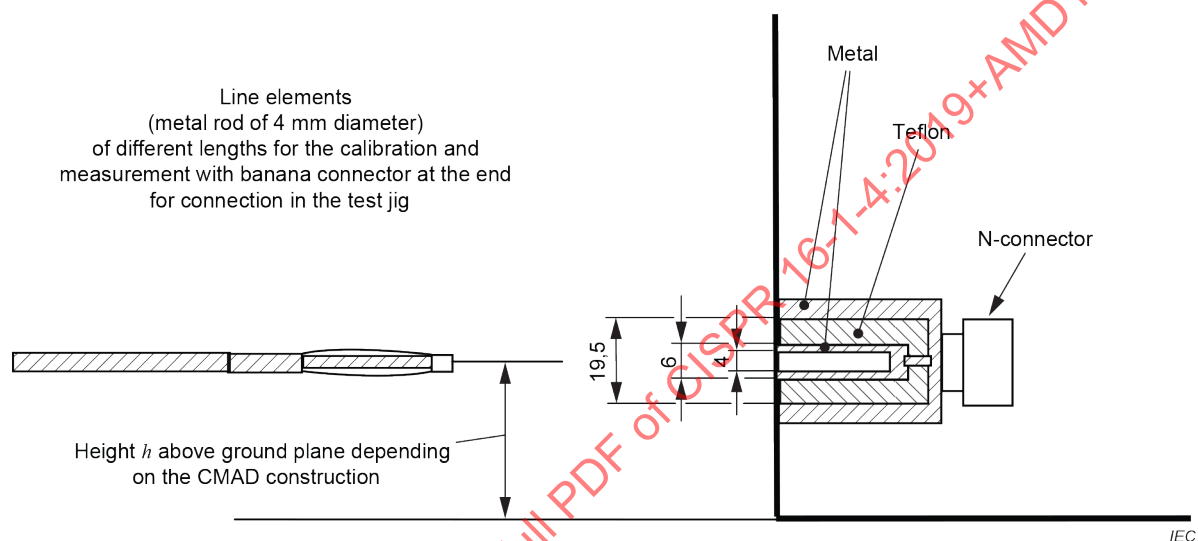
**Figure 28 – Limits for the magnitude of  $S_{11}$ ,  
measured according to the provisions of 8.1 to 8.3**

## 8.6 CMAD performance (degradation) check using spectrum analyzer and tracking generator

The complex  $S$ -parameters of a CMAD cannot be measured without using a VNA. However, VNA instruments may not be available in all EMC test laboratories. For laboratories that do not have access to VNA instruments, a simpler method to check the functioning of a CMAD is defined in this subclause, using a spectrum analyzer with tracking generator. This instrumentation set-up measures only the magnitude of the insertion loss, but this measured value will not be directly related to the  $S$ -parameters measured at the reference planes shown in Figure 26. Nonetheless, an EMC laboratory can periodically repeat the same insertion loss measurement with their in-house test set-up, using the exact same conditions (impedance and geometry of the test set-up), then record and compare the history of the results to decide whether the CMAD is still in acceptable condition. This approach permits degradation of CMAD performance to be detected. If some degradation becomes apparent, a reference measurement shall be performed using a VNA with the TRL calibration method of 8.4.

Any adaptor construction (Figures 26 and 27, Figures 29 to 31) can be used for this performance/degradation check. To avoid resonance effects in cables between test jig and measurement instrument, it is necessary to include two 10 dB attenuators close to the test jig connection during this performance check.

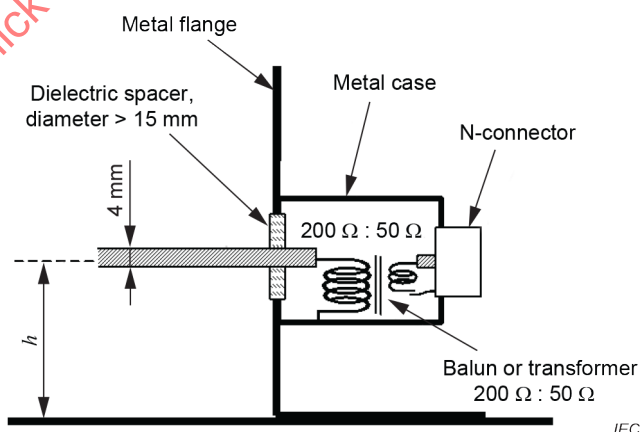
- a) When  $50\ \Omega$  adaptors are used (Figure 29), the insertion loss measurement for the performance/degradation check is the difference in dB between attenuation measurements for the following two configurations:
- 1) configuration 1: direct connection of the two attenuators without the test jig;
  - 2) configuration 2: the two attenuators connected to the test jig with the CMAD included.
- b) If matching adaptors (Figure 30 or Figure 31) are used, the insertion loss measurement for the degradation check is the difference between the attenuation measured for the following two configurations:
- 1) configuration 1: the two attenuators connected to the test jig without the CMAD (empty jig);
  - 2) configuration 2: the two attenuators connected to the test jig with the CMAD included.



Dimensions in mm

NOTE The bottom sides of the vertical flange are electrically bonded to the metallic ground plane.

**Figure 29 – Example of a  $50\ \Omega$  adaptor construction in the vertical flange of the jig**



NOTE If the centre tap of the balanced port is connected to the balun case, it should be disconnected.

**Figure 30 – Example of a matching adaptor with balun or transformer**



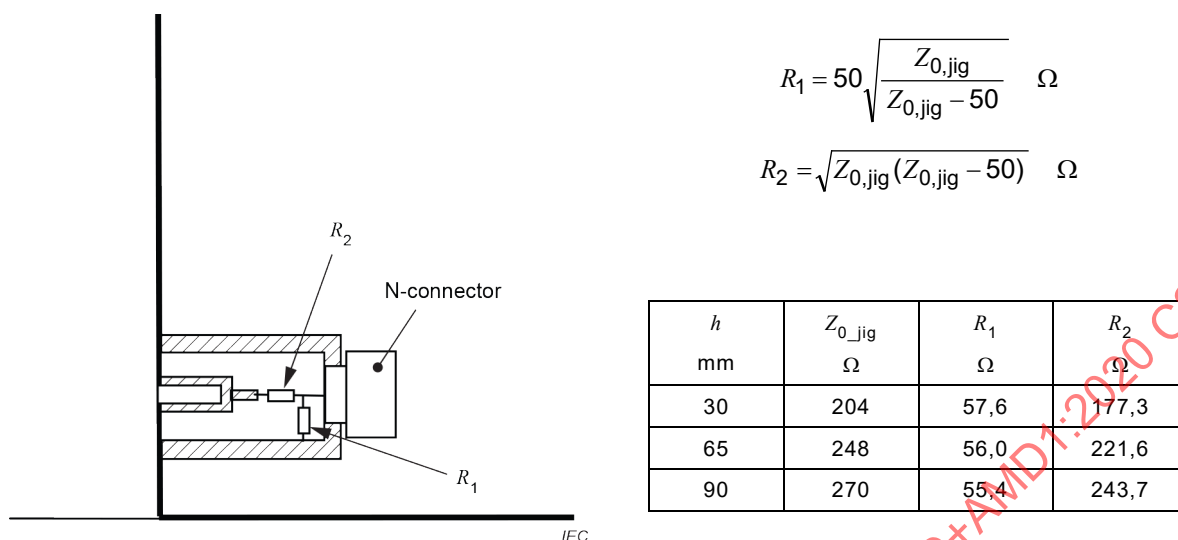


Figure 31 – Example of a matching adaptor with resistive matching network

## 9 Reverberating chamber for total radiated power measurement

### 9.1 General

For some types of equipment operating in the microwave frequency range, because of the existence of complex three-dimensional radiation patterns that are sensitive to equipment operating conditions and its surroundings, the measurement of total radiated power is considered to be a significant parameter related to disturbance control. It can be measured by placing the equipment in a suitable chamber with metal walls. To avoid effects of standing waves that would otherwise produce non-uniform distribution of energy density with position in the chamber, rotating stirrers (paddles, tuners) are installed. With proper size, shape, and position, the energy density at any position in the chamber varies randomly with a constant statistical distribution law in phase, amplitude, and polarization.

### 9.2 Chamber

#### 9.2.1 Chamber size and shape

The linear dimensions of the chamber shall be large relative to the wavelength of the lowest frequency of interest. It shall also be large enough to accommodate the equipment under test, the stirrer(s), and the measuring antennas. Microwave equipment varies in size from small table-top ovens having a volume of about 0,2 m<sup>3</sup>, to large units 1,7 m high with a 760 mm base. The chamber may be of any shape, provided its three dimensions are of the same order of magnitude. The three dimensions should preferably be different. For a lowest frequency of 1 GHz, the chamber shall have a volume at least 8 m<sup>3</sup>. The actual dimensions will depend on the physical characteristics of the chamber. See 9.2.4 for method of test of the suitability of the chamber.

The walls and the stirrers shall be metallic. Joints between the metallic members shall be mechanically sound and of low electrical resistance along the whole length, and there shall be no surface corrosion. No absorbing material, such as wood, shall be placed inside the chamber.

#### 9.2.2 Door, openings in walls, and mounting brackets

The enclosure door shall be large enough to allow the passage of operators and equipment. It shall open outward, and fit tightly to minimize energy losses. For convenience in mounting the transmit antenna and the receive antenna inside the chamber, mounting brackets may be fixed to the walls.

### 9.2.3 Stirrers

#### 9.2.3.1 General

The following describes two examples of stirrers. Other shapes are permitted, provided stirring efficiency meets the criteria in 9.2.4.

#### 9.2.3.2 Rotating vanes

If rotating vanes are used, two vanes are placed on adjacent walls of the chamber spaced at least  $1/4$  of the maximum wavelength used distant from the walls, and of sufficient thickness to be rigid. They shall be of the maximum length allowed by the wall sizes, and their width shall be about  $1/5$  of their length.

#### 9.2.3.3 Rotating paddles

If rotating paddles are used, two or three paddles are mounted on the walls of the chamber. The paddles shall be mutually at right angles. The paddles may be of the shape shown in Figure 32, and rotate about an axis parallel to their length. The diameter of the swept cylindrical space shall be at least equal to the maximum wavelength used, and the lengths shall be the maximum allowed by the wall sizes. The structure shall be rigid.

*Dimensions in millimetres*

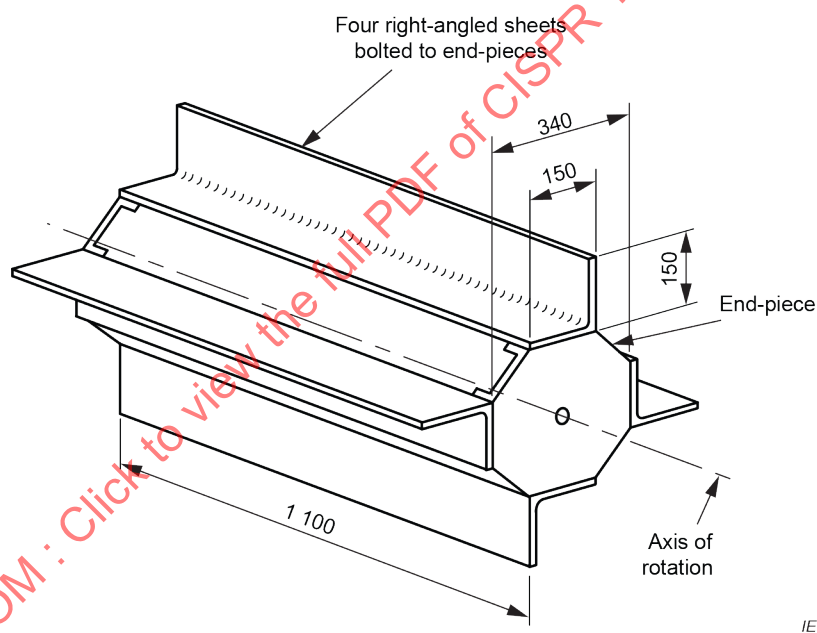


**Figure 32 – Example of a typical paddle stirrer**

#### 9.2.3.4 Rotating speed

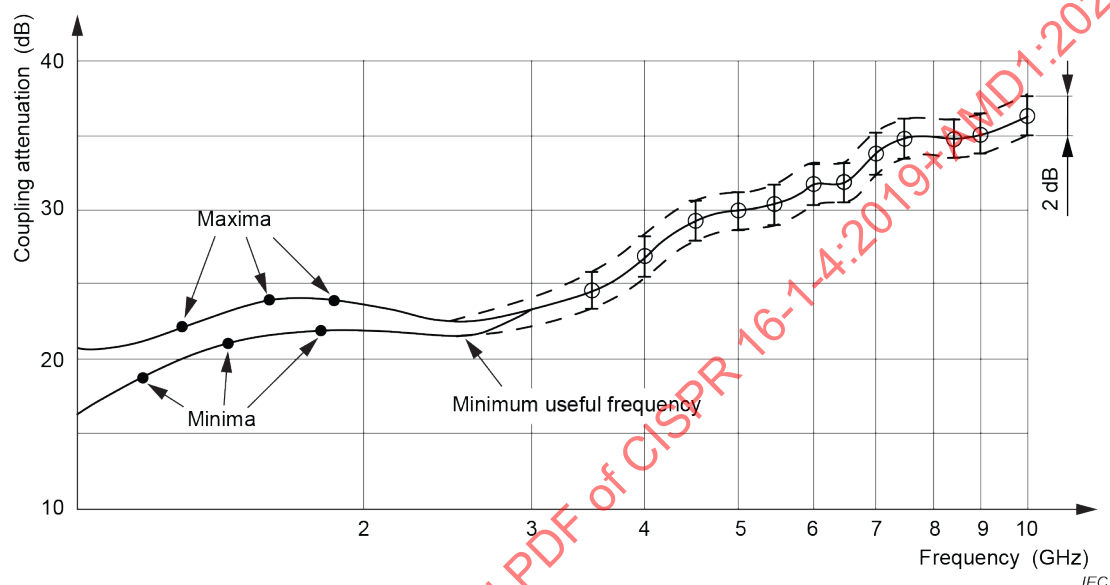
The rotation speeds of the stirrers shall be different. The longest time for one rotation of the stirrers shall be less than  $1/5$  of the integrating time of the measuring instrument. For the measuring equipment described in 9.2.5, a suitable rate is between 50 r/min and 200 r/min. The motors used to rotate the stirrers, together with their reduction gear, should preferably be outside the walls of the chamber.

### 9.2.4 Test for the efficiency of the stirrers

The desired uniform distribution of energy in the chamber is shown by the smoothness of the variation with frequency of coupling attenuation (described in 9.2.5). At low frequencies, due to the longer wavelengths, it is more difficult to achieve this uniformity, and there exist

pronounced maxima and minima. The greater the efficiency of the stirrers, the smaller are these maxima and minima, and hence the usable frequency is lower.

The coupling attenuation is measured over the usable frequency range of the chamber. At the lower frequencies, where the maxima and minima are observable, values shall be measured at about 100 MHz intervals. The receive antenna then remains fixed, the transmit antenna is rotated at 45° intervals, and the test is repeated for each position and at each frequency. The entire test shall be repeated again with the receive antenna rotated at 90°. The stirrers are considered satisfactory when: (1) the envelope of the curve of the maxima and the minima does not exceed 2 dB for any position of the transmit antenna, and (2) the means of the four curves are within an envelope of 2 dB or less. Figure 33 shows a typical result.



NOTE All measured points should lie inside the 2 dB envelope marked by the dotted line.

**Figure 33 – Range of coupling attenuation as a function of frequency for a chamber using the stirrer shown in Figure 32**

### 9.2.5 Coupling attenuation

The coupling attenuation of a chamber is the insertion loss measured between the terminals of the transmit antenna and the receive antenna in the chamber. A calibrated signal generator, whose power output can be accurately measured, is used to feed power to a low-loss transmit antenna (e.g. a horn antenna) located inside the chamber or on a chamber wall. A receive antenna may be placed at any point in the chamber, provided it is at least 1/4 wavelength distant from the walls and is not pointing toward the transmit antenna, towards the nearest chamber wall, or aligned with any of the chamber axes.

A low-noise RF amplifier is connected to the receive antenna via a high-pass filter; its output is connected through a band-pass filter to a diode detector. The band-pass filter shall be tuned to the frequency of interest, and be of the specified bandwidth. The output of the detector is connected to a peak reading voltmeter with a specified peak-hold time (the hold time will depend on the equipment being measured). A spectrum analyzer may also be used for this measurement. The power absorbed by the transmit antenna,  $P$ , is noted. The signal generator is then connected to the input of the low-noise amplifier, and its power output,  $p$ , is adjusted to give the same voltmeter reading. The power absorbed by the low-noise amplifier is noted. The coupling attenuation is given by  $10 \lg (P/p)$  dB.

## **10 TEM cells for immunity to radiated disturbance measurement**

Radiated immunity measurements may be performed in TEM waveguides using the methods specified in IEC 61000-4-20 [22].

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of CISPR 16-1-4:2019+AMD1:2020 CSV

## **Annex A** (normative)

### **Parameters of antennas**

#### **A.1 General**

Various CISPR publications specify particular antennas to be used in making measurements; other types of antennas can be used provided the results are equivalent to those obtained with the specified antenna. The comparison of these antennas to the specified antennas is supported by specifying appropriate parameters. These parameters shall be specified as part of any CISPR acceptance of a new antenna type. Antenna manufacturers shall also use this information as guidance in specifying the most useful aspects of antennas used for radiated disturbance measurements.

Manufacturers are requested to supply generic information on each antenna model, including the following parameters:

- free-space antenna factor in a 50  $\Omega$  system;
- return loss or VSWR;
- radiation patterns, at sufficient frequency increments to indicate significant changes (including beamwidth information);
- frequency-dependent measurement uncertainty values for both horizontal and vertical polarizations, to account for deviation from the free-space antenna factor caused by mutual coupling to a ground plane when the antenna is scanned in height between 1 m and 4 m;
- balun DM/CM conversion, especially for biconical and hybrid antennas; and
- XPR, especially for LPDA and hybrid antennas.

#### **A.2 Preferred antennas**

##### **A.2.1 General**

If there is an alleged non-compliance to an electric field strength limit, the value measured by a low-uncertainty antenna is preferred. A low-uncertainty antenna is one for which the field strength with a CISPR test set-up can be measured with a lower uncertainty than is required for other antennas, and that meets the field strength accuracy criterion of 4.1. Low-uncertainty antennas are described in A.2.3.

##### **A.2.2 Calculable antenna**

A calculable standard dipole antenna achieves the lowest uncertainty for electric field strength measurements. The antenna factor of a calculable dipole can be calculated for free-space and at any height and polarization above a well-defined ground plane. The principles of the calculable standard dipole are described in CISPR 16-1-5, where only the resonant dipole conditions are described. However, using widely available numerical electromagnetic modelling, the antenna factor for a single dipole length can be calculated over a broad frequency band with uncertainties less than  $\pm 0,3$  dB. For example, for a measurement at 30 MHz, a dipole that is resonant at 80 MHz can be used. The model-derived antenna factor principle can also be extended to multi-wire antennas, which cover an even broader bandwidth.

##### **A.2.3 Low-uncertainty antennas**

Low-uncertainty antennas are biconical and LPDA antennas whose basic parameters and characteristics are described in this subclause. These are broadband and have reasonable

sensitivity, i.e. their antenna factors are not too high. Calculable dipoles can be used, and potentially have the lowest uncertainty. The XPR shall meet requirements in 4.5.5, and any balun shall meet the requirements indicated in 4.5.4. The antenna factor shall be determined by a calibration laboratory that provides traceability to national standards, and is selected to minimize the uncertainty of antenna factor determination.

Acceptable types of low-uncertainty antennas are biconical antennas used over the frequency range 30 MHz to 250 MHz, and LPDA antennas over the range 250 MHz to 1 GHz. The reasons for this cross-over frequency are: an LPDA antenna has a phase centre error due to its length, which is reduced by starting at 250 MHz; and, most biconical antennas are affected by a resonance above 290 MHz and exhibit radiation pattern distortion above 260 MHz, unless open-structure elements (portable or collapsible) are used. The actual cross-over frequency between biconical and LPDA antennas can be between 200 MHz and 250 MHz, with a slight increase in phase centre uncertainties associated with LPDA antennas below 250 MHz; see A.4.2 of CISPR 16-1-6:2014. Hybrid antennas, which cover the entire frequency band 30 MHz to 1 000 MHz, are not a preferred type because the uncertainties are higher than with separate biconical and LPDA antennas mainly due to the greater length of a hybrid antenna, especially when used at a distance of 3 m from the source (as opposed to instead of the 10 m standard distance).

The low-uncertainty biconical antenna has an element tip-to-tip length of approximately  $1,35 \text{ m} \pm 0,03 \text{ m}$  (depending on balun width), six wire elements emanating in a cone shape, with a broadest diameter of approximately 0,52 m. The balun shall be a 200  $\Omega$  design (200  $\Omega$  to 50  $\Omega$  transformer ratio), which ensures better sensitivity at 30 MHz, and lower mutual coupling with the environment.

NOTE The low-uncertainty biconical antenna is based on the original shown in MIL-STD-461A [7], designed to operate from 20 MHz to 200 MHz. Collapsible-element versions of biconical antennas give better performance than the closed "cage" element versions above 250 MHz.

The low-uncertainty LPDA is designed to have a lowest frequency of 200 MHz (i.e. the longest element is resonant at 200 MHz, approximately 0,75 m) and with length of  $0,75 \text{ m} \pm 0,12 \text{ m}$  between the longest and shortest elements (the latter being resonant above 1 GHz). The reason for not having the longest element at 250 MHz is that it is not bounded by other array elements thus the radiation pattern is distorted. The antenna length of 0,75 m distinguishes it from other LPDA designs of twice the length that achieve a higher gain but will have a greater phase centre error, and LPDAs of less than 0,6 m in length that are not likely to have an antenna factor that increases smoothly and monotonically with frequency (with any sharp rises in antenna factor deviating by no more than 1,5 dB from a regression line across the whole frequency range). Phase centre errors with LPDAs can be minimized by applying a correction to the measured field strength taking the antenna-to-EUT distance into account; see 7.3.1 of CISPR 16-2-3:2016.

### A.3 Simple dipole antennas

#### A.3.1 General

If a laboratory is not able to get an antenna calibrated, an alternative is to use a dipole antenna, either in the form of a calculable dipole or a tuned dipole. A tuned dipole is relatively simple to construct and gives a low uncertainty for field strength measurement comparable to the antennas described in A.2. The antenna factors of a tuned dipole shall be verified either by a laboratory that provides traceability to national standards and tries to minimize the uncertainty of antenna factor determination, or by measuring the site insertion loss between a pair of similar dipoles above a ground plane (that conforms to Annex D) and comparing it with the calculated coupling, allowing for the loss of the baluns (see Annex C of CISPR 16-1-5). A drawback of the tuned dipole is its long length at the lower end of the frequency range, for example it is 4,8 m long at 30 MHz, which at a measurement distance of 3 m will result in errors caused by amplitude and phase gradients. Also, a dipole is most sensitive to its surroundings when it is tuned, so that the mutual impedance with its image in the ground plane can change the antenna factor by up to 6 dB for a horizontally polarized 30 MHz dipole

scanned in height from 1 m to 4 m above a ground plane. For this reason, a shortened dipole tuned to 80 MHz is recommended for use below 80 MHz.

### A.3.2 Tuned dipole

A practical and simple design of a tuned dipole comprises a half-wavelength-resonant dipole with a series-parallel coaxial stub balun. The tip-to-tip dipole lengths are approximately 0,48 wavelength, depending on the radius of the dipole element. Free-space antenna factors can be computed from the following equation, which gives the factor in decibels. This does not include the balun loss, for which an averaged value of 0,5 dB can be added to the antenna factor, and this loss factor shall be verified. The antenna factor is:

$$F_a = 20 \lg(f_M) - 31,4$$

where  $F_a$  is the AF in dB(m<sup>-1</sup>), and  $f_M$  is the frequency in MHz.

Because the tuned dipole is more sensitive to its surroundings than a broadband antenna (except at its resonant frequency, excluding LPDAs) it is unlikely that the overall uncertainty in the use of a tuned dipole will be less than that of the low-uncertainty antennas of 4.5.2.

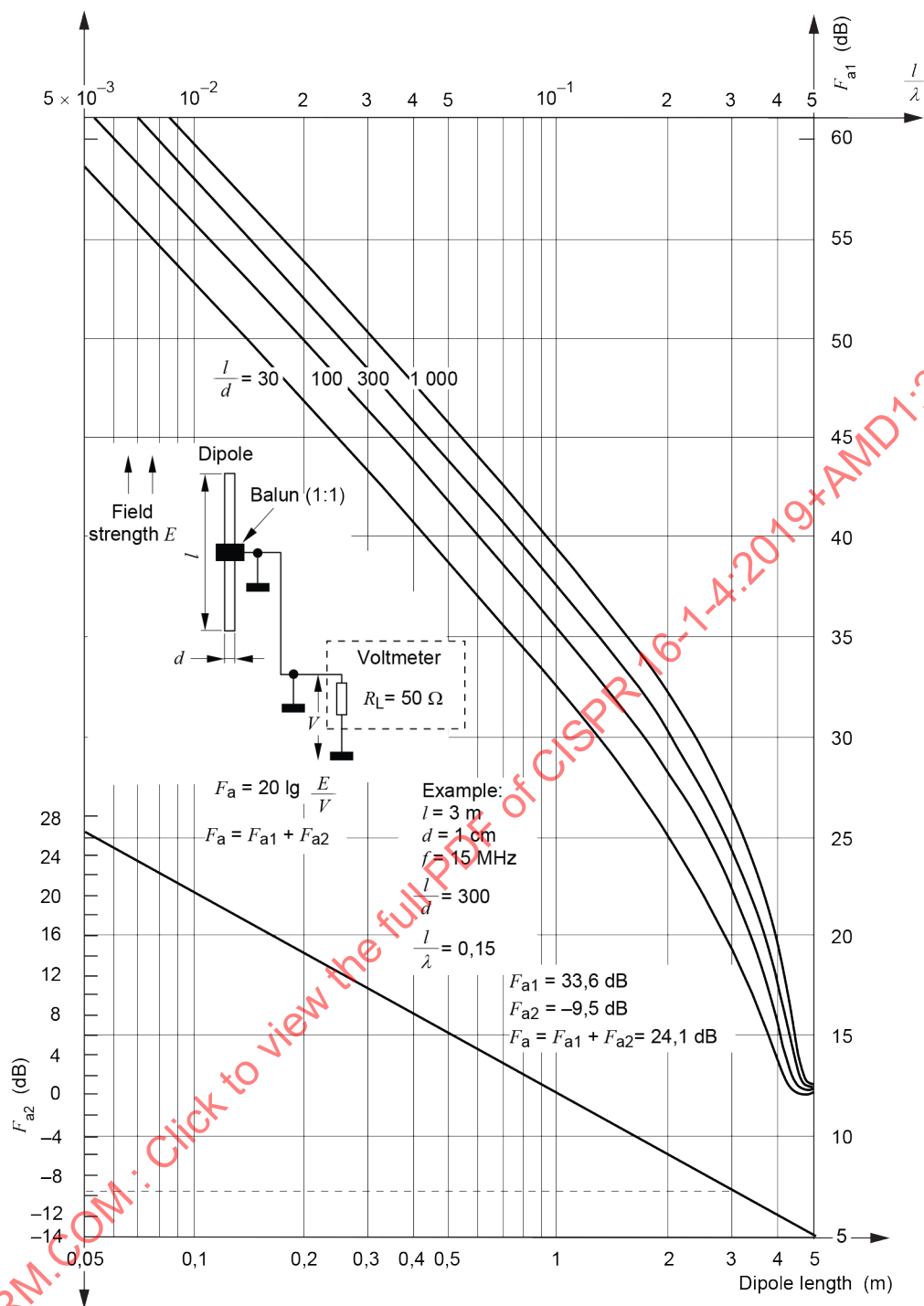
### A.3.3 Shortened dipole

A dipole shorter than one half-wavelength may be used provided:

- a) the total length is greater than 1/10-wavelength at the frequency of measurement;
- b) it is connected to a cable sufficiently well matched at the receiver end, to ensure a return loss at the cable input of greater than 10 dB. The calibration shall take account of the return loss;
- c) it has a polarization discrimination equivalent to that of a tuned dipole (see 4.5.3). To obtain this, a balun is needed that fulfils the balun imbalance test in 4.5.4.
- d) for determination of the measured field strength, a calibration curve (antenna factor) is determined and used for the measuring distance (i.e. at a distance of at least three times the length of the dipole);

NOTE Antenna factors thus obtained should make it possible to fulfil the requirement of measuring uniform sine-wave fields with an accuracy not worse than  $\pm 3$  dB. Examples of calibration curves are given in Figure A.1, which shows the theoretical relation between field strength and receiver input voltage for a receiver with input impedance of 50  $\Omega$ , and for various  $l/d$  ratios. In this figure, the balun is considered as an ideal 1:1 transformer. However, these curves do not account for the losses of the balun, the cable, and any mismatch between the cable and the receiver.

- e) in spite of the sensitivity loss of a field-strength meter due to a high antenna factor attributed to the shortened length of the dipole, the measuring limit of a field-strength meter (determined for example by the receiver noise level and the AF of the dipole) shall remain at least 10 dB below the disturbance limit.



NOTE See NOTE in A.3.3 item d).

Figure A.1 – Short dipole antenna factors for  $R_L = 50 \Omega$

## A.4 Broadband antenna parameters

### A.4.1 General

Broadband antennas used for CISPR measurements are those antennas that are linearly polarized and are intended for use over a wide frequency range. This does not prevent the use of antennas with limited length adjustment or the addition of antenna element sections. The input impedance of such antennas typically is a complex quantity. Other parameters that can be specified are described below.



## **A.4.2 Antenna type**

### **A.4.2.1 General**

Subclauses A.4.2.2 to A.4.2.7 describe the physical parameters of broadband antennas that should be provided. Note that some parameters may not apply to every antenna.

### **A.4.2.2 Antenna style of fixed or variable length or diameter**

If the antenna has a variable length, specify the number of sections that are added or subtracted to change the basic fixed length.

NOTE Fully-tunable antennas are not considered to be broadband and hence are not considered in A.4. Also, the diameter of a loop antenna generally is not variable.

### **A.4.2.3 Depth to width ratio or loop diameter**

Provide dimension in metres. For an LPDA, for example, the length of the boom along the measurement axis and the width of the largest element would be provided.

### **A.4.2.4 Active or passive antenna**

A broadband antenna is considered an active antenna if it contains amplifiers, preamplifiers, and other non-linear active devices that amplify the signal or shape the frequency response or both.

### **A.4.2.5 Mounting arrangement**

Provide any special mounting requirements beyond those that can be accommodated by a typical tripod or antenna positioner.

### **A.4.2.6 Connector type**

Specify BNC, N, SMA, etc. as appropriate. Specify the pin depth tolerance, and state that it should be verified with a pin-depth gauge.

### **A.4.2.7 Balun type**

Specify if the balun is discrete, distributed, tunable, etc. Specify the balun transformer ratio.

## **A.4.3 Specification of the antenna**

### **A.4.3.1 Frequency range**

Specify the frequency range in megahertz or kilohertz where the antenna operates within its characteristics. If there is a defined fall-off characteristic in decibels per octave at either end of the range, so specify.

### **A.4.3.2 Gain and antenna factor**

#### **A.4.3.2.1 Gain**

Specify typical or actual gain in decibels relative to an isotropic radiator (dBi).

#### **A.4.3.2.2 Antenna factor**

Specify the individual AF in  $\text{dB}(\text{m}^{-1})$ . See CISPR 16-1-6 for antenna calibration procedures.

#### **A.4.3.3 Directivity and radiation pattern for linear polarization**

Specify antenna pattern and directivity in degrees with a polar plot for both the E-plane and H-plane at a sufficient number of frequencies that show any significant changes with frequency. For antennas with relatively low directivity (e.g. less than 6 dBi), specify the front-to-back ratio in decibels. If omnidirectional, for example having a Hertzian dipole pattern, this shall be stated.

#### **A.4.3.4 VSWR and impedance**

Indicate the minimum return loss and nominal input impedance in ohms. Additionally, the minimum return loss can be expressed as maximum VSWR.

#### **A.4.3.5 Active antenna performance**

For antennas with active amplified gain, specify the intermodulation product levels, the electric and magnetic field strength immunity level from outside disturbances, and any appropriate check(s) to determine overload or improper operation.

#### **A.4.3.6 Power handling**

For immunity testing transmit use, specify maximum and transient power handling capability, in watts.

#### **A.4.3.7 Other conditions**

Specify the temperature and humidity range in which the antenna is operated, and any precautions if used in an unprotected area exposed to the weather.

#### **A.4.4 Antenna calibration**

Methods of antenna calibration are given in CISPR 16-1-6.

#### **A.4.5 Antenna user information**

##### **A.4.5.1 Antenna use**

Provide a description of the use of the antenna. Ensure that any special precautions or limitations are cited to reduce the chance of misuse.

##### **A.4.5.2 Physical limitations**

Indicate if there are any physical limitations in using the antenna such as the following:

- a) minimum height above the ground plane;
- b) preferred polarization with respect to the ground plane;
- c) special use, i.e. use as a receive antenna or a transmit antenna only. Normally, this is limited to the power-handling capability of the balun for passive antennas, or the non-bidirectional characteristics for active antennas. State if power handling is limited by arcing across non-welded antenna element connections;
- d) simple ohmic check to determine continuity integrity of the antenna;
- e) minimum separation of the closest antenna element to the EUT being measured.

**Annex B**  
(XXX)

**(Void)**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of CISPR 16-1-4:2019+AMD1:2020 CSV

## Annex C (normative)

### Large-loop antenna system for magnetic field induced-current measurements in the frequency range of 9 kHz to 30 MHz

#### C.1 General

This annex sets forth information and data concerning measurement of current induced in a large-loop antenna system (LLAS) by the magnetic field emitted by a single EUT, positioned in the centre of the LLAS, in the frequency range of 9 kHz to 30 MHz. Subclause 4.7 of this document, and CISPR 16-2-3, refer to use of this LLAS; see also [9].

A description of the LLAS is given in this annex, as well as the method for validation of the individual loop antennas comprising the LLAS. Conversion factors are given to relate magnetic field induced-current data to magnetic field data that would have been obtained if the same EUT was measured using a single-loop magnetic field antenna positioned at a specified distance from that EUT.

#### C.2 Construction of an LLAS

The LLAS (see Figure C.1) consists of three mutually perpendicular large-loop antennas, which are described in Clause C.3. The entire LLAS is supported by a non-metallic base.

A 50  $\Omega$  coaxial cable between the current probe of each LLA and the coaxial switch, and between this switch and the measuring equipment, shall have surface transfer impedance less than 10 m $\Omega$ /m at 100 kHz, and less than 1 m $\Omega$ /m at 10 MHz. This requirement is met when using, for example, double-braided shield RG-223/U coaxial cable.

All connectors shall have surface transfer impedance comparable with that of the coaxial cable. This requirement is met, for example, when using good quality BNC collet-lock type connectors (see [1]).

All cables shall be equipped with ferrite absorbers (labelled F in Figure C.1), providing a common-mode series resistance of  $R_s > 100 \Omega$  at 10 MHz. This requirement is met when constructing the ferrite absorber from, for example, twelve rings (toroids) of type 3E1 from Ferroxcube (minimum size: 29 mm outer diameter by 19 mm inner diameter by 7,5 mm height).

#### C.3 Construction of a large-loop antenna (LLA)

Each LLA of the LLAS is constructed from coaxial cable having surface transfer impedance as specified in C.2. In addition, the resistance of the inner conductor of each LLA shall be sufficiently low (see NOTE 1). Both requirements are met, for example, when using double-braided shield RG-223/U coaxial cable.

To keep each LLA in its circular shape, and to protect the slit construction, as in the example of Figure C.2, the cable is inserted in a thin-walled non-metallic tube, with inner diameter of approximately 25 mm. Other non-metallic constructions serving the same purposes may be used.

The standard diameter of each LLA is defined ~~to be~~ as  $D = 2$  m (i.e. the reference diameter). If necessary, e.g. in the case of a large EUT,  $D$  may be increased. However, in the frequency range up to 30 MHz, the maximum ~~allowable~~ diameter ~~allowed~~ is 4 m. Further increase of the diameter can result in non-reproducible resonances of the LLAS response at the high-

frequency end of the measuring range. The validation method specified in C.4 applies for LLAS loops with diameters of 2 m, 3 m, or 4 m.

Note that by increasing the diameter, the LLA sensitivity to ambient noise increases proportionally to the diameter, and its sensitivity to wanted signals is inversely proportional to the diameter-squared.

Each LLA contains two opposite slits, positioned symmetrically with respect to the current probe of each LLA (see Figure C.2). Such a slit, made in the outer conductor of the coaxial antenna cable as shown in Figure C.3, shall have a width of less than 7 mm. The slit is bridged by two parallel sets of 100  $\Omega$  resistors in series. The centre of each series circuit is connected to the inner conductor of the coaxial antenna cable.

At each side of the slit, the outer conductor of the coaxial antenna cable may be bonded to a strap of printed circuit board material with two copper rectangles, separated by at least 5 mm, to obtain a rigid slit construction (see Figure C.4).

The current probe around the inner conductor of the LLA coaxial cable shall have a sensitivity of 1 V/A over the frequency range of 9 kHz to 30 MHz. The insertion ~~loss~~ impedance of the current probe ~~shall~~ should be sufficiently low (see NOTE 1).

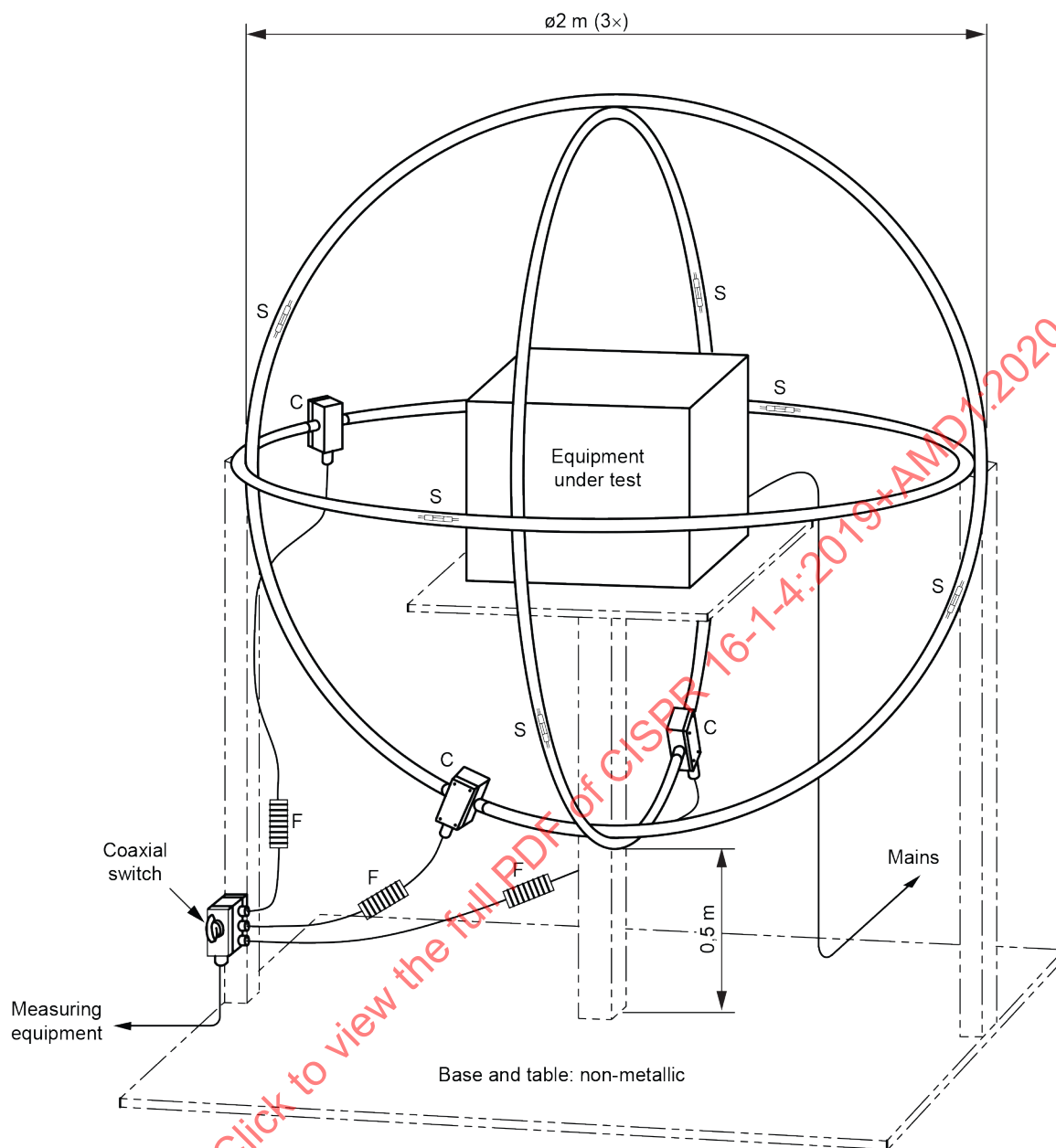
NOTE To obtain a flat frequency response for each LLA at the lower end of the 9 kHz to 30 MHz frequency range, the resistive part of the insertion impedance,  $R_c$ , of the current probe is designed to be much smaller than  $2\pi f L_c$  at  $f = 9$  kHz, where  $L_c$  represents the inductance of the current probe. In addition,  $R_c + R_i$  is to be less than or equal to  $X_i/10 = (2\pi f L)/10$  at 9 kHz, where  $R_i$  is the resistance of the inner conductor of the loop and  $L$  is the loop inductance. This inductance is about 1,5  $\mu\text{H}/\text{m}$  along the circumference; thus, for each standard LLA whose diameter is 2 m,  $X_i \approx 0,5 \Omega$  at  $f = 9$  kHz.

The outer conductor of the LLA cable shall be bonded to the metal box containing the current probe (see Figure C.5). The maximum dimensions of this box are: 80 mm width, 120 mm length, and 80 mm height.

~~NOTE 1 To obtain a flat frequency response for each LLA at the lower end of the 9 kHz to 30 MHz frequency range, the insertion loss,  $R_c$ , of the current probe is designed to be much smaller than  $2\pi f L_c$  at  $f = 9$  kHz, where  $L_c$  represents the inductance of the current probe. In addition,  $(R_c + R_i) \ll X_i = 2\pi f L$  at 9 kHz, where  $R_i$  is the resistance of the inner conductor of the loop, and  $L$  is the loop inductance. This inductance is about 1,5  $\mu\text{H}$  per meter of circumference; thus, for each standard LLA,  $X_i \approx 0,5 \Omega$  at  $f = 9$  kHz.~~

~~NOTE 2 To avoid unwanted capacitive coupling between the EUT and the LLA, the distance between the EUT and the components of each LLA should be at least 0,10 times the loop diameter. Particular attention should be paid to the leads of an EUT. Cables should be routed together and leave the loop volume in the same octant of the LLAS, no closer than 0,4 m to any LLA (see Figure C.6).~~

To avoid unwanted capacitive coupling between the EUT and the LLAS, the distance between the EUT and components of the LLAS shall be at least 0,10 times the loop diameter. Particular attention should be paid to the leads of an EUT. Cables shall be routed together and leave the test volume in the same octant of the LLAS, no closer than 0,4 m to any of the LLAS loops (see Figure C.6).



IEC

#### Components

- S antenna slit
- C current probe
- F ferrite absorber

**Figure C.1 – The LLAS, consisting of three mutually perpendicular large-loop antennas**

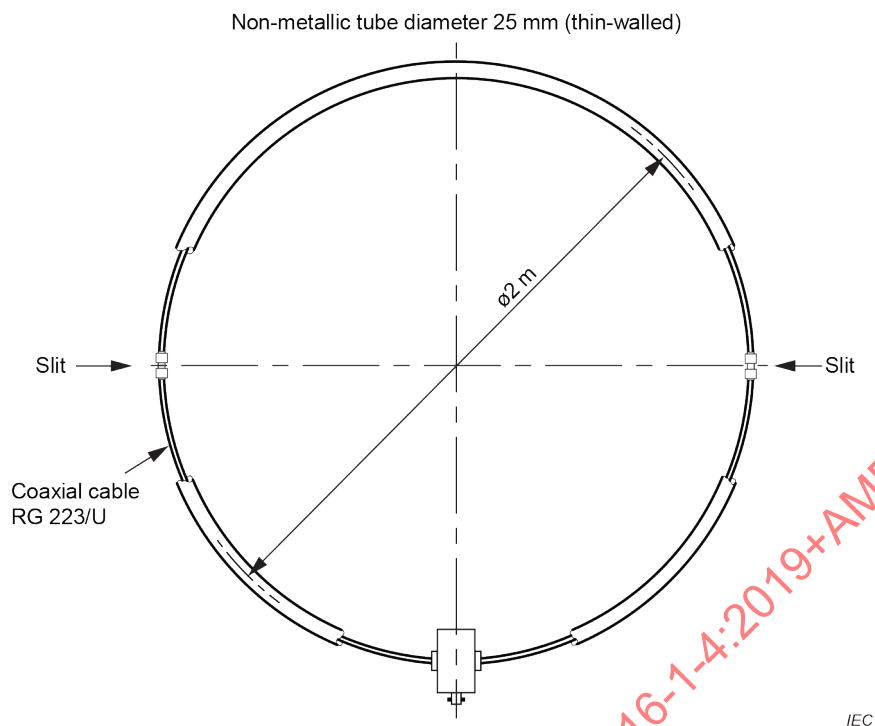


**Figure C.2 – An LLA containing two opposite slits, positioned symmetrically with respect to the current probe C**

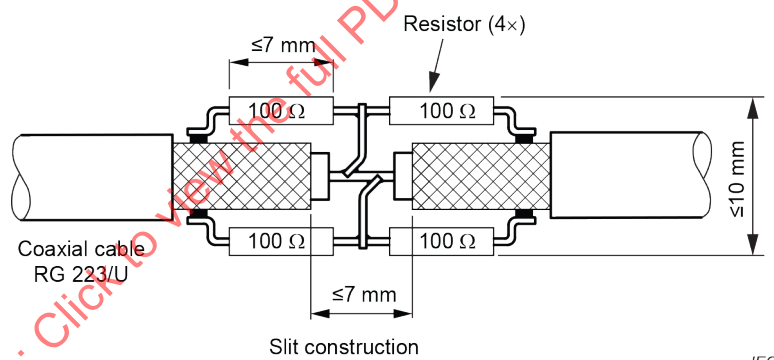


**Figure C.3 – Construction of an LLA slit**

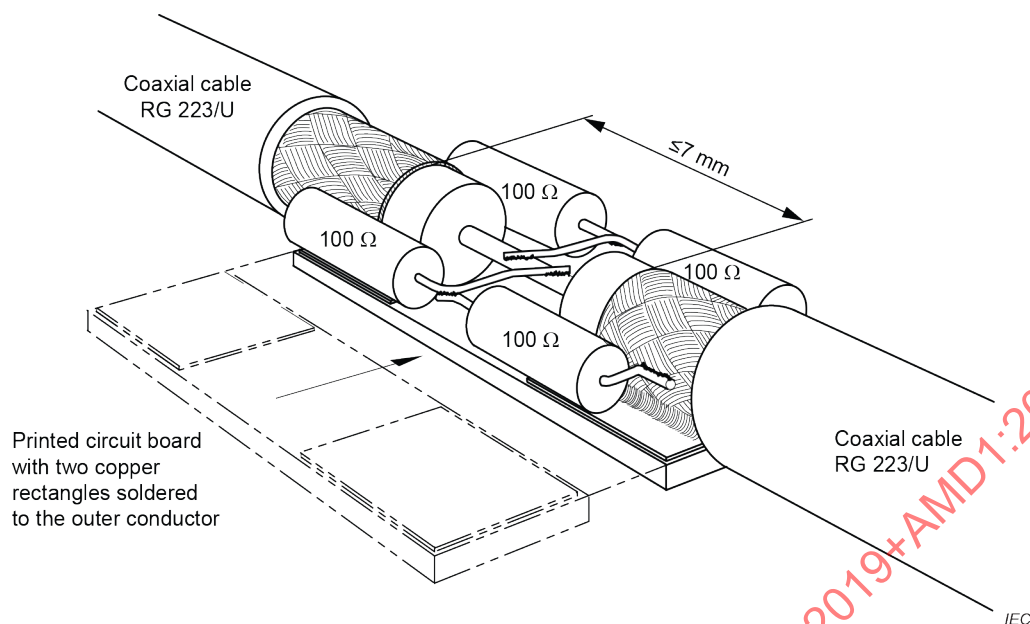


**Figure C.4 – Example of an LLA slit construction using a strap of printed circuit board to obtain a rigid construction**

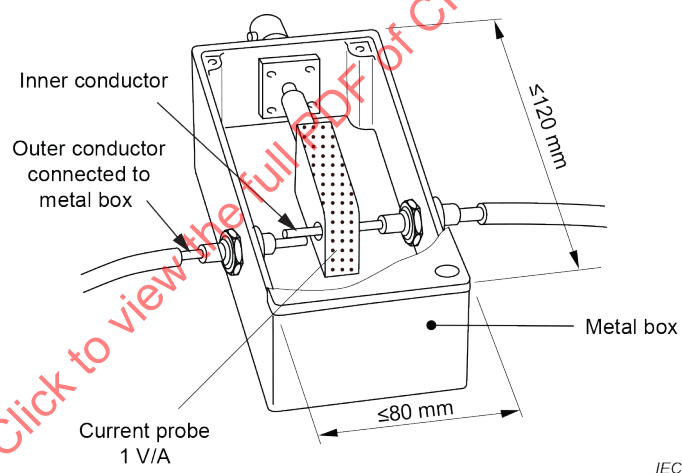


**Figure C.5 – Construction of the metal box containing the current probe**



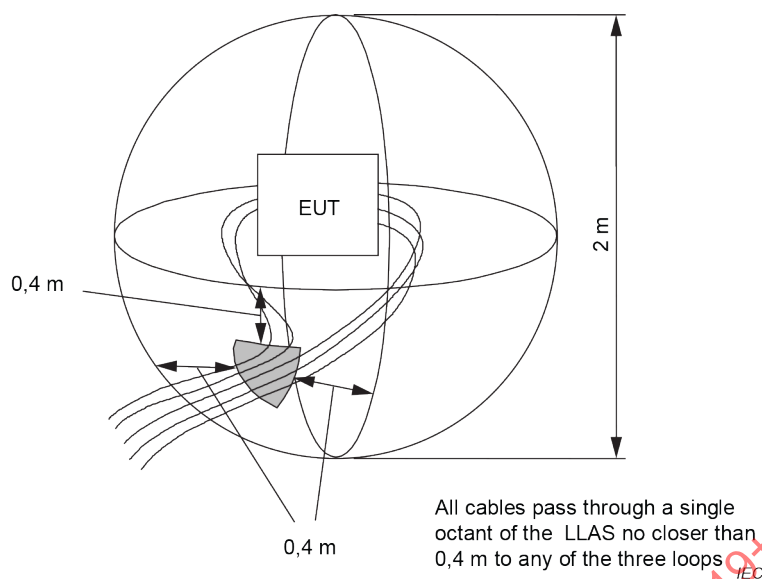


**Figure C.6 – Example showing the routing of several cables from an EUT to minimize capacitive coupling from the leads to the LLAS**

#### C.4 Validation of an LLAS

~~The validation and calibration of each LLA in an LLAS is carried out by measuring the current induced in the LLA by the LLAS verification dipole antenna connected to a 50 Ω RF generator, as described in C.5. The magnetic field emitted by that dipole allows verification of the magnetic field sensitivity of an LLA. The electric field emitted by the LLAS verification dipole antenna shows that the sensitivity of the LLA to the electric field is sufficiently low.~~

The validation of the LLAS shall be carried out by measuring the current induced in each of the three LLAs by means of the LLAS verification dipole connected to a 50 Ω RF generator, as described in C.5. The magnetic field emitted by the dipole allows verification of the magnetic field sensitivity of the LLAS. The electric field emitted by the LLAS verification dipole is intended to verify that the electric field sensitivity of the LLAS is sufficiently low.

The validation of an LLAS shall be performed at the site where the LLAS measurements normally take place. This is to account for the effect of the floor, walls, and similar objects or surfaces in the specific environment of the LLAS.

Validation measurements shall be performed at least at the following frequencies: 9 kHz, 100 kHz, 1 MHz, 2 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz, 20 MHz, 25 MHz, and 30 MHz.

The induced current shall be measured as a function of frequency in the range of 9 kHz to 30 MHz at the eight positions of the LLAS verification dipole ~~antenna~~ shown in Figure C.7. During this measurement, the LLAS verification dipole ~~antenna is~~ shall be in the plane of the LLA under test.

~~In each of the eight positions, the validation factor  $[20 \lg(V_{go}/I_l)]$  expressed in dB(Ω) of the open circuit voltage of the RF generator ( $V_{go}$ ) and the measured current ( $I_l$ ) shall not deviate more than  $\pm 2$  dB from the validation factor given in Figure C.8.~~

In each of the eight positions, the measured validation factor, expressed in dB(Ω) as  $20 \lg(V_{go}/I_l)$ , where  $V_{go}$  is the open circuit voltage of the RF generator and  $I_l$  is the measured current, shall not deviate by more than  $\pm 3$  dB from the applicable reference validation factor given in Figure C.8 and Table C.1.

~~The validation factor given in Figure C.8 is valid for a circular LLA with the standard diameter  $D = 2$  m. If the diameter of a circular LLA differs from  $D = 2$  m, the validation factor for the non-standard LLA can be derived from the data given in Figure C.8 and Figure C.11 (see C.6).~~

The reference validation factors given in Figure C.8 and Table C.1 are valid for an LLAS with circular loops having diameters of  $D = 2$  m, 3 m, or 4 m.

Tabular values of the curves presented in Figure C.8 are given in Table C.1. These tabular values shall be used for the LLAS validation.

Background material and the equations for calculating the reference validation factors are given in CISPR TR 16-3:2020 [23].

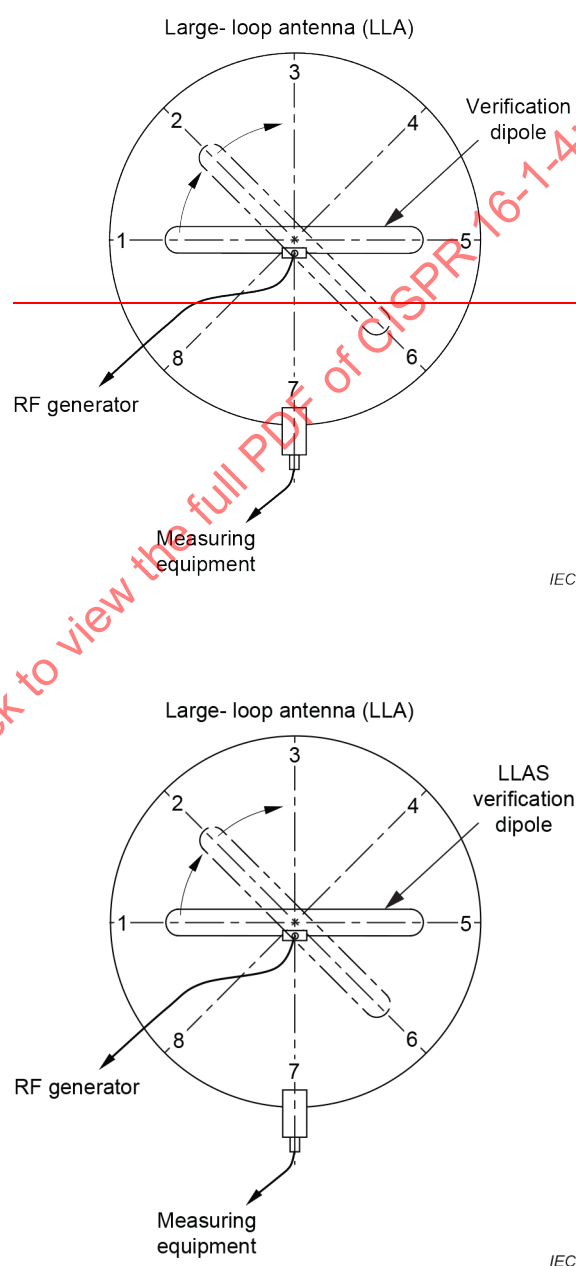


**Figure C.7 – The eight positions of the LLAS verification dipole during validation of an LLA**

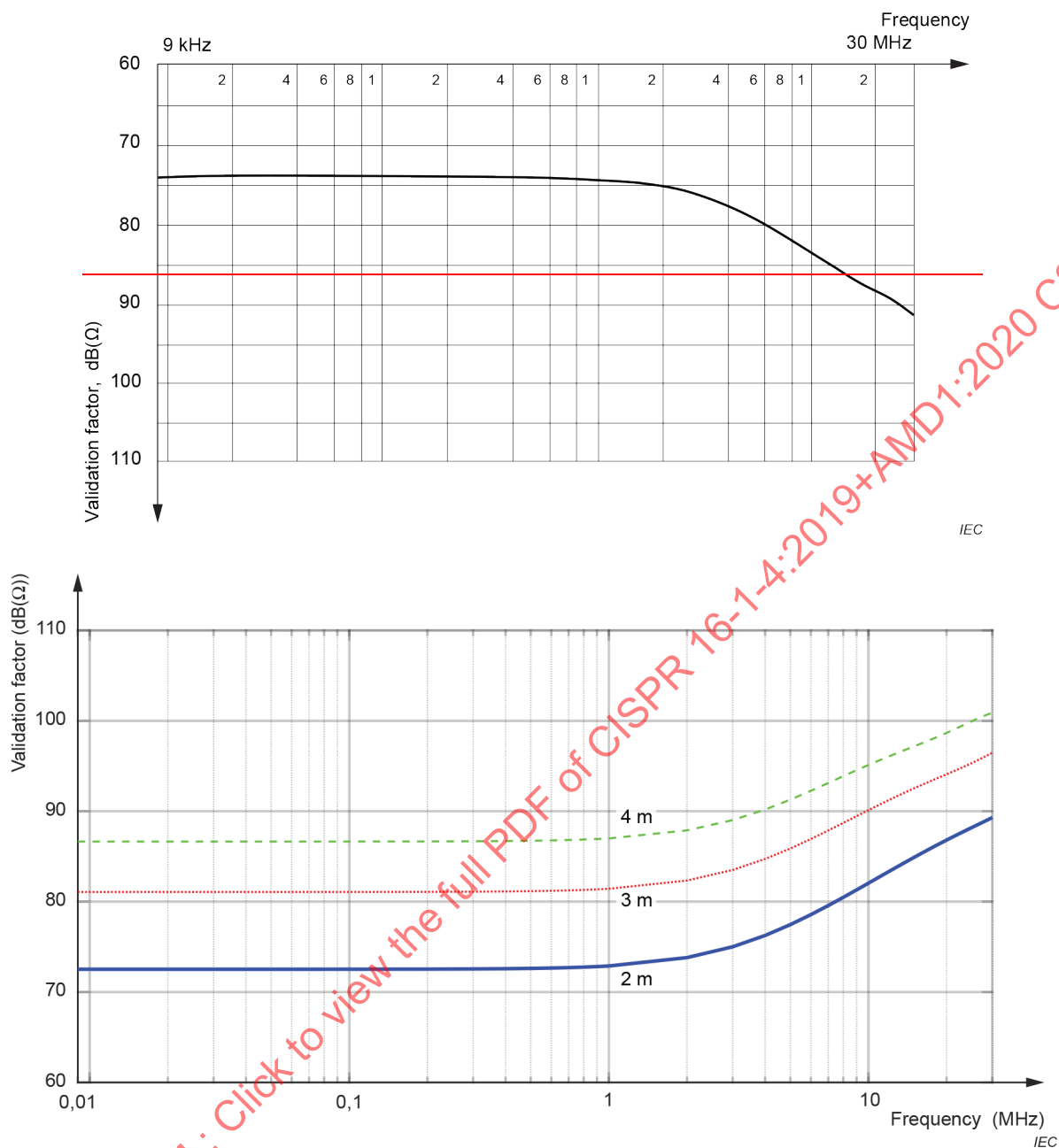


**Figure C.8 – Validation factor for an LLA of 2 m diameter** Reference validation factors for loops of 2 m, 3 m, and 4 m diameters

**Table C.1 – Reference validation factors of Figure C.8 for loops of 2 m, 3 m, and 4 m diameters**

| Frequency<br><br>MHz | Reference validation factor |          |          | Frequency<br><br>MHz | Reference validation factor |          |          |
|----------------------|-----------------------------|----------|----------|----------------------|-----------------------------|----------|----------|
|                      | 2 m LLAS                    | 3 m LLAS | 4 m LLAS |                      | 2 m LLAS                    | 3 m LLAS | 4 m LLAS |
|                      | dB(Ω)                       |          |          |                      | dB(Ω)                       |          |          |
| 0,009                | 72,52                       | 81,07    | 86,64    | 7                    | 79,57                       | 87,87    | 93,13    |
| 0,01                 | 72,52                       | 81,07    | 86,64    | 8                    | 80,47                       | 88,71    | 93,88    |
| 0,02                 | 72,52                       | 81,07    | 86,64    | 9                    | 81,30                       | 89,45    | 94,54    |
| 0,03                 | 72,52                       | 81,07    | 86,64    | 10                   | 82,04                       | 90,12    | 95,11    |
| 0,04                 | 72,52                       | 81,07    | 86,64    | 11                   | 82,72                       | 90,71    | 95,62    |
| 0,05                 | 72,52                       | 81,07    | 86,64    | 12                   | 83,34                       | 91,24    | 96,07    |
| 0,06                 | 72,52                       | 81,07    | 86,65    | 13                   | 83,90                       | 91,72    | 96,47    |
| 0,07                 | 72,52                       | 81,07    | 86,65    | 14                   | 84,42                       | 92,15    | 96,84    |
| 0,08                 | 72,52                       | 81,07    | 86,65    | 15                   | 84,90                       | 92,54    | 97,18    |
| 0,09                 | 72,52                       | 81,07    | 86,65    | 16                   | 85,34                       | 92,89    | 97,50    |
| 0,1                  | 72,52                       | 81,07    | 86,65    | 17                   | 85,75                       | 93,22    | 97,80    |
| 0,2                  | 72,54                       | 81,08    | 86,66    | 18                   | 86,13                       | 93,53    | 98,10    |
| 0,3                  | 72,55                       | 81,10    | 86,68    | 19                   | 86,48                       | 93,82    | 98,39    |
| 0,4                  | 72,58                       | 81,13    | 86,70    | 20                   | 86,81                       | 94,09    | 98,67    |
| 0,5                  | 72,61                       | 81,16    | 86,73    | 21                   | 87,12                       | 94,35    | 98,94    |
| 0,6                  | 72,65                       | 81,20    | 86,77    | 22                   | 87,41                       | 94,60    | 99,21    |
| 0,7                  | 72,70                       | 81,24    | 86,82    | 23                   | 87,68                       | 94,85    | 99,47    |
| 0,8                  | 72,75                       | 81,30    | 86,87    | 24                   | 87,94                       | 95,09    | 99,72    |
| 0,9                  | 72,81                       | 81,36    | 86,93    | 25                   | 88,19                       | 95,32    | 99,96    |
| 1                    | 72,88                       | 81,42    | 86,99    | 26                   | 88,43                       | 95,56    | 100,18   |
| 2                    | 73,81                       | 82,33    | 87,88    | 27                   | 88,66                       | 95,79    | 100,38   |
| 3                    | 75,01                       | 83,51    | 89,02    | 28                   | 88,88                       | 96,02    | 100,57   |
| 4                    | 76,26                       | 84,72    | 90,19    | 29                   | 89,09                       | 96,25    | 100,73   |
| 5                    | 77,46                       | 85,88    | 91,28    | 30                   | 89,30                       | 96,47    | 100,88   |
| 6                    | 78,56                       | 86,93    | 92,26    | -                    | -                           | -        | -        |

## C.5 Construction of the LLAS verification dipole antenna

The LLAS verification dipole ~~antenna~~, shown in Figure C.9, has been designed to emit simultaneously a magnetic field ~~strength,  $H$~~ , which ~~is to~~ should be measured by ~~an~~ the LLAS, and an electric field ~~strength,  $E$~~ , which ~~shall~~ should be rejected by ~~an~~ the LLAS.

~~The LLAS verification dipole antenna is constructed from RG-223/U coaxial cable, with a width  $W = 150$  cm and a height  $H = 10$  cm (cable centre to cable centre distances), as depicted in Figure C.9.~~

~~A slit in the outer conductor of the coaxial cable divides the LLAS verification dipole antenna into two halves. One half of this dipole, the right hand half in Figure C.9, is short-circuited near the slit as well as near the connector. Short-circuited means that the inner and outer conductors of the coaxial cable are electrically bonded together. This half of the dipole is connected to the reference ground of the BNC connector. The inner conductor of the coaxial cable, forming the left hand half of the dipole in Figure C.9, is connected to the centre pin of the BNC connector and its outer conductor to the reference ground of that BNC connector.~~

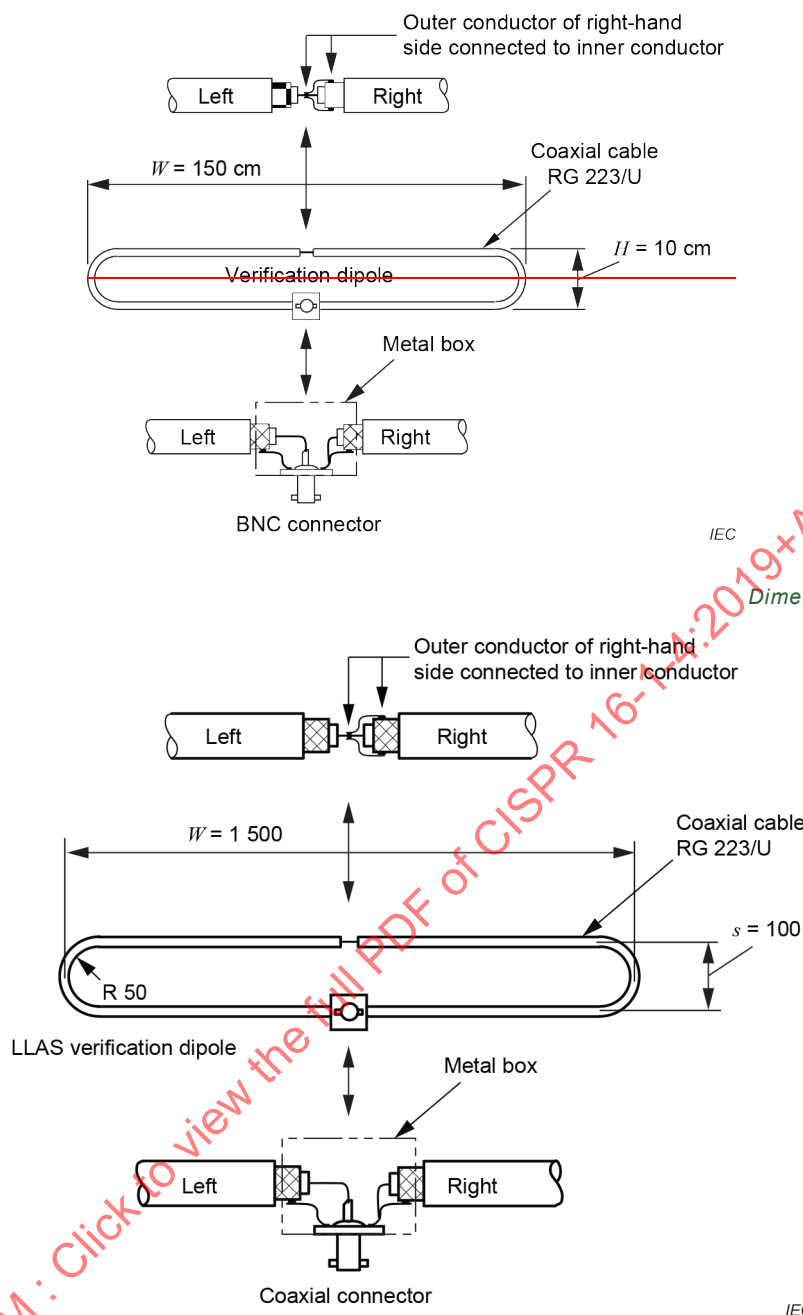
The LLAS verification dipole antenna shall be constructed in accordance with Figure C.9, using RG-223/U or similar type of coaxial cable. It shall have a width  $W = 150$  cm and a spacing  $s = 10$  cm (cable centre to cable centre distances), as depicted in Figure C.9. A slit in the outer conductor of the coaxial cable shall separate the dipole into two halves. One half of the dipole (the right-hand half in Figure C.9) shall be short-circuited near the connector as well as near the slit opposite from the connector. Short-circuited means that the inner and outer conductors of the coaxial cable shall be electrically bonded together. This half shall be connected to the reference-ground of the coaxial connector (BNC or similar type). The inner conductor of the coaxial cable, forming the left-hand half of the dipole in Figure C.9, shall be connected to the centre-pin of the coaxial connector, and its outer conductor connected to the reference ground of that coaxial connector.

A small metal box shall be used to screen the connections near the coaxial connector. The outer conductor of the two halves of the dipole coaxial cable and the reference ground of the coaxial connector shall be bonded to this box.

A small metal box ~~is~~ may be used to screen the connections near the BNC connector. The outer conductor of the two halves of the coaxial cable, and the reference ground of the BNC connector, are bonded to this box.

To obtain a rigid construction, the dipole is supported by a non-conductive base.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of CISPR 16-1-4:2019+AMD1:2020 CSV



NOTE Distances indicated are cable centre to cable centre distances.

Figure C.9 – Construction of the LLAS verification dipole antenna

## C.6 Conversion factors

This subclause deals with the factor that converts the current ( $I$ ) induced in an LLA by the EUT into a magnetic field strength  $H$  at a specified distance from the EUT (shown in Figure C.10). It also deals with the factor that converts the current measured in an LLA with a non-standard diameter to a current which would have been measured using an LLA with the standard diameter of  $D = 2$  m (shown in Figure C.11).

The conversion factor in Figure C.10 applies to a source of magnetic fields positioned in the centre of an LLA with its dipole moment perpendicular to the plane of that LLA. Note that for the loop antennas specified in 4.3 of this document, the loop antenna is always positioned in a vertical plane, and the EUT is rotated only around its vertical axis. In that case only the horizontal dipole moments of the EUT, i.e. the dipole moments parallel to the ground plane,

are measured. Consequently, if the EUT is predominantly a vertical dipole moment, the conversion factor cannot be used to compare results from both measurement methods. However, the factor of Figure C.10 can be used with the magnetic field measuring method when the loop antenna of 4.3 is positioned in a horizontal plane, or when in that method the EUT would be tilted to 90°, so that the relevant vertical dipole moment behaves as a horizontal dipole moment.

If the actual position of a disturbance source within an EUT is at a distance less than 0,5 m from the centre of the standard LLAS, the measurement results differ by less than 3 dB from those with that source in the centre of the LLAS.

The relation between the magnetic field strength  $H$  in dB(μA/m) measured at a distance  $d$  and the LLA current  $I$  in dB(μA) is:

$$H = I + C_{dA} \quad (C.1)$$

where  $C_{dA}$  is the current to field conversion factor in dB(m<sup>-1</sup>) for a certain distance  $d$  when expressing  $H$  in dB(μA/m); see also the NOTE.

In general, the conversion factor is frequency dependent; Figure C.10 presents  $C_{dA}$  for measurement distances of 3 m and 10 m. For the measurement distance  $d = 30$  m, the conversion factor is under consideration.

Curves of the ratio  $S_D$  (in decibels) of the current measured in an LLA with a diameter  $D$  (in metres) and the current that would be measured with an LLA having the standard diameter ( $D = 2$  m) are given in Figure C.11, for several values of  $D$ . Using this ratio, Equation (C.1) can be written as Equation (C.2):

$$H = I - S_D + C_{dA} \quad (C.2)$$

where  $H$  is expressed in dB(μA/m),  $I$  in dB(μA),  $S_D$  in dB, and  $C_{dA}$  in dB(m<sup>-1</sup>).

NOTE—For disturbance level calculations, CISPR uses the magnetic field strength  $H$  in dB(μA/m) instead of electric field strength  $E$  in dB(μV/m). In this context, the relation between  $H$  and  $E$  is given by Equation (C.3):

$$E = H + 51,5 \quad (C.3)$$

where  $E$  is expressed in dB(μV/m) and  $H$  in dB(μA/m). The constant 51,5, in dB(Ω) in Equation (C.3), is explained in the NOTE in 4.3.2.

For convenience, the conversion factor  $C_{dV}$  converting  $I$  in dB(μA) into  $E$  in dB(μV/m) is also given in Figure C.10. The following examples explain the use of the preceding equations along with Figures C.10 and C.11.

a) Given: measuring frequency  $f = 100$  kHz, LLA diameter  $D = 2$  m, current in LLA  $I = X$  in dB(μA).

Then using Equation (C.1) and Figure C.10, it follows that:

$$\text{at } d = 3 \text{ m: } H = [X/\text{dB}(\mu\text{A}) + C_{3A}/\text{dB}(\text{m}^{-1})] \text{ dB}(\mu\text{A}/\text{m}) = (X - 19,5) \text{ dB}(\mu\text{A}/\text{m})$$

$$\text{at } d = 3 \text{ m: } E = [X/\text{dB}(\mu\text{A}) + C_{3V}/\text{dB}(\Omega/\text{m})] \text{ dB}(\mu\text{V}/\text{m}) = [X + (51,5 - 19,5)] \text{ dB}(\mu\text{V}/\text{m})$$

b) Given: measuring frequency  $f = 100$  kHz, LLA diameter  $D = 4$  m, current in LLA  $I = X$  dB(μA).

Then using Figure C.11 it follows that the same EUT would induce a current:

$$I = [X/\text{dB}(\mu\text{A}) - S_4/\text{dB}] \text{ dB}(\mu\text{A}) = (X + 13) \text{ dB}(\mu\text{A})$$

in an LLA with the standard diameter  $D = 2$  m.

c) ~~Given: validate an LLA with diameter  $D = 3$  m.~~

~~Then the validation factor is found by subtracting,  $S_3$ , (the value of the relative sensitivity as given in Figure C.11), from the validation factor as given in Figure C.8 at each frequency. Hence, if the measuring frequency is 100 kHz, the validation factor for the LLA with  $D = 3$  m equals  $[73,5 - (-7,5)] \text{ dB}(\Omega) = 81 \text{ dB}(\Omega)$ .~~

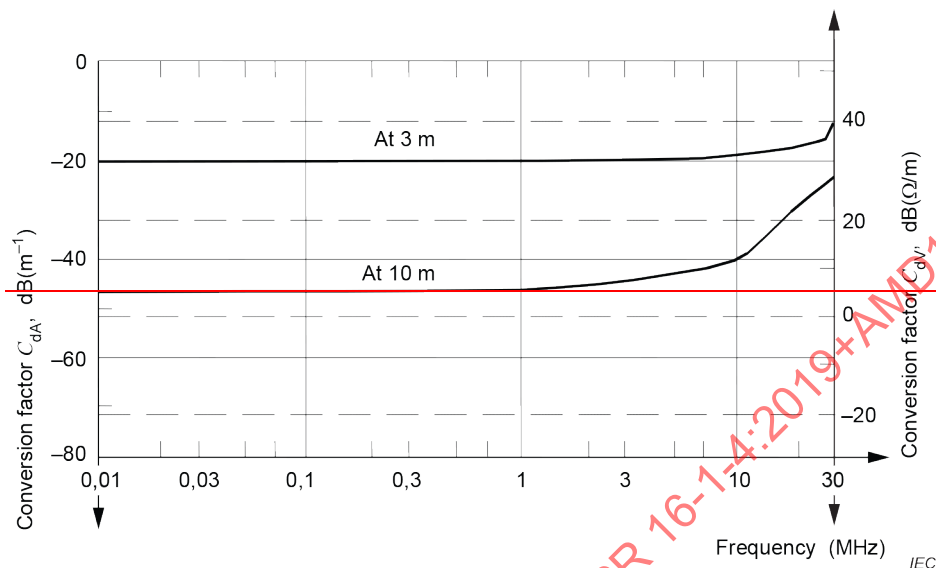


**Figure C.10 – Conversion factors  $C_{dA}$  [for conversion into  $\text{dB}(\mu\text{A}/\text{m})$ ] and  $C_{dV}$  [for conversion into  $\text{dB}(\mu\text{V}/\text{m})$ ] for two standard measuring distances  $d$**

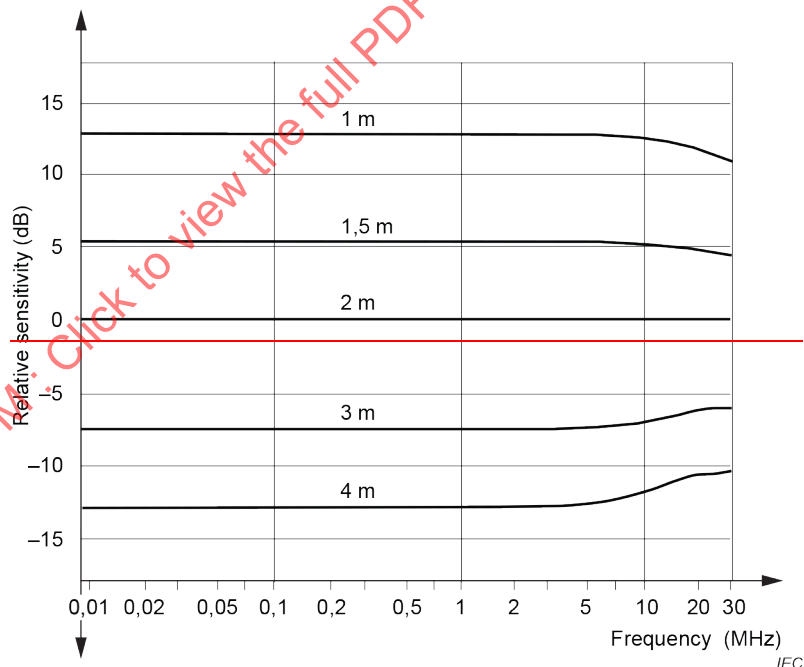


**Figure C.11 – Sensitivity  $S_D$  of a large-loop antenna with diameter  $D$  relative to a large-loop antenna having a diameter of 2 m**

### C.6.1 General

This subclause deals with the factor that converts the current measured in an LLA with a non-standard diameter to a current that would have been measured using an LLA with the standard diameter of  $D = 2$  m (see Figure C.10 and Table C.2). It also deals with the factor that converts the current ( $I$ ) induced in an LLA by an EUT into a magnetic field strength  $H$  at a



specified distance from the EUT (see Figure C.11 and Table C.3). Background material and the equations for calculating these conversion factors are given in CISPR TR 16-3:2020 [23].

### C.6.2 Current conversion factors for an LLAS with non-standard diameter

The difference  $S_D$  in decibels, between the current measured in an LLA with diameter  $D$ , in m, and the current that would be measured using an LLA having the standard diameter  $D = 2$  m, expressed in logarithmic units (such as dB(μA)), is given in Figure C.10 (and Table C.2) for several values of  $D$ , as determined using Equation (C.1):

$$S_D = I_{Dm} - I_{2m} \quad (\text{C.1})$$

where  $I_{Dm}$  and  $I_{2m}$  are the values of the induced currents in an LLA with diameter  $D$  and the standard 2 m diameter LLA, respectively, both expressed in logarithmic units (such as dB(μA)).

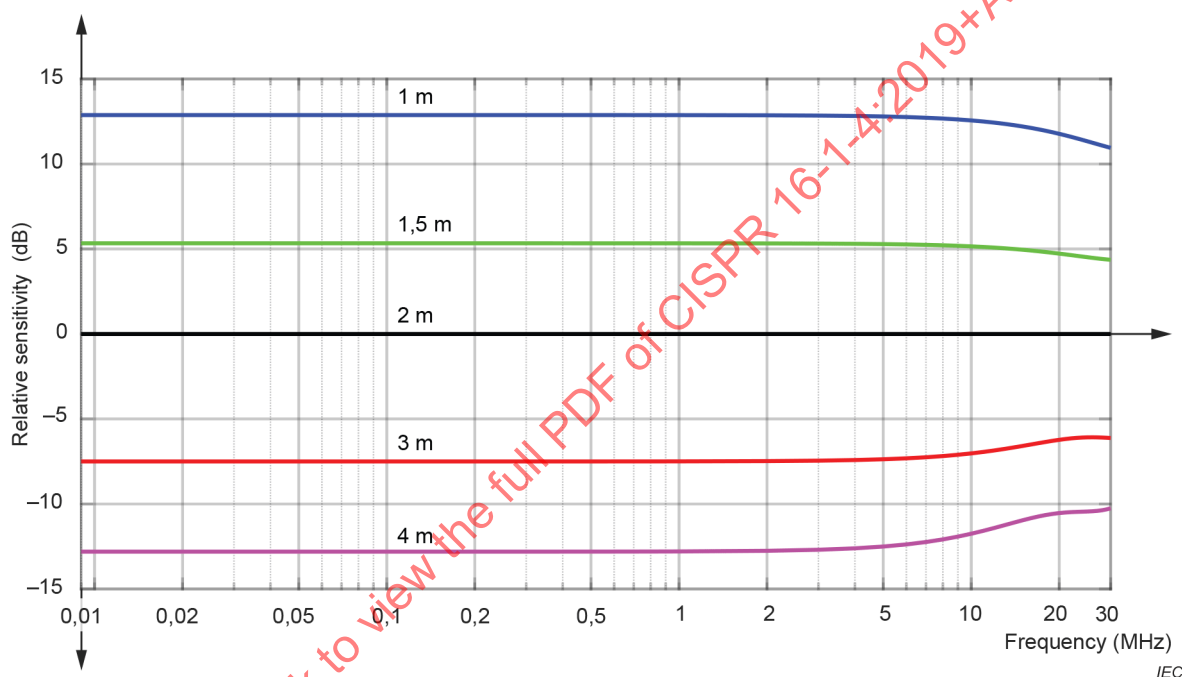


Figure C.10 – Sensitivity  $S_D$  of an LLA with diameter  $D$  relative to an LLA with 2 m diameter

**Table C.2 – Sensitivity  $S_D$  of an LLA with diameter  $D$  relative to an LLA with 2 m diameter (Figure C.10)**

| Frequency<br>MHz | LLAS diameter $D$ |       |       |        | Frequency<br>MHz | LLAS diameter $D$ |       |       |        |
|------------------|-------------------|-------|-------|--------|------------------|-------------------|-------|-------|--------|
|                  | 1 m               | 1,5 m | 3 m   | 4 m    |                  | 1 m               | 1,5 m | 3 m   | 4 m    |
|                  | dB                | dB    | dB    | dB     |                  | dB                | dB    | dB    | dB     |
| 0,009            | 12,88             | 5,34  | -7,50 | -12,80 | 7                | 12,72             | 5,24  | -7,25 | -12,24 |
| 0,01             | 12,88             | 5,34  | -7,50 | -12,80 | 8                | 12,67             | 5,22  | -7,18 | -12,08 |
| 0,02             | 12,88             | 5,34  | -7,50 | -12,80 | 9                | 12,62             | 5,19  | -7,11 | -11,92 |
| 0,03             | 12,88             | 5,34  | -7,50 | -12,80 | 10               | 12,56             | 5,16  | -7,02 | -11,75 |
| 0,04             | 12,88             | 5,34  | -7,50 | -12,80 | 11               | 12,50             | 5,12  | -6,94 | -11,58 |
| 0,05             | 12,88             | 5,34  | -7,50 | -12,80 | 12               | 12,43             | 5,08  | -6,85 | -11,41 |
| 0,06             | 12,88             | 5,34  | -7,50 | -12,80 | 13               | 12,36             | 5,04  | -6,76 | -11,25 |
| 0,07             | 12,88             | 5,34  | -7,50 | -12,80 | 14               | 12,29             | 5,00  | -6,67 | -11,09 |
| 0,08             | 12,88             | 5,34  | -7,50 | -12,80 | 15               | 12,21             | 4,96  | -6,58 | -10,96 |
| 0,09             | 12,88             | 5,34  | -7,50 | -12,80 | 16               | 12,12             | 4,91  | -6,50 | -10,84 |
| 0,1              | 12,88             | 5,34  | -7,50 | -12,80 | 17               | 12,04             | 4,87  | -6,42 | -10,73 |
| 0,2              | 12,88             | 5,33  | -7,50 | -12,80 | 18               | 11,95             | 4,82  | -6,35 | -10,65 |
| 0,3              | 12,88             | 5,33  | -7,50 | -12,80 | 19               | 11,86             | 4,77  | -6,28 | -10,58 |
| 0,4              | 12,88             | 5,33  | -7,50 | -12,80 | 20               | 11,77             | 4,73  | -6,23 | -10,53 |
| 0,5              | 12,88             | 5,33  | -7,50 | -12,80 | 21               | 11,68             | 4,68  | -6,18 | -10,50 |
| 0,6              | 12,88             | 5,33  | -7,50 | -12,80 | 22               | 11,60             | 4,64  | -6,14 | -10,48 |
| 0,7              | 12,88             | 5,33  | -7,50 | -12,80 | 23               | 11,51             | 4,60  | -6,11 | -10,46 |
| 0,8              | 12,88             | 5,33  | -7,49 | -12,80 | 24               | 11,42             | 4,55  | -6,09 | -10,45 |
| 0,9              | 12,88             | 5,33  | -7,49 | -12,79 | 25               | 11,33             | 4,52  | -6,08 | -10,44 |
| 1                | 12,87             | 5,33  | -7,49 | -12,79 | 26               | 11,25             | 4,48  | -6,08 | -10,43 |
| 2                | 12,86             | 5,33  | -7,48 | -12,75 | 27               | 11,17             | 4,45  | -6,08 | -10,40 |
| 3                | 12,85             | 5,32  | -7,45 | -12,69 | 28               | 11,09             | 4,41  | -6,09 | -10,37 |
| 4                | 12,83             | 5,30  | -7,41 | -12,61 | 29               | 11,02             | 4,39  | -6,10 | -10,32 |
| 5                | 12,80             | 5,29  | -7,37 | -12,50 | 30               | 10,95             | 4,36  | -6,12 | -10,25 |
| 6                | 12,76             | 5,27  | -7,31 | -12,38 | -                | -                 | -     | -     | -      |

### C.6.3 Conversion of LLAS measured current to magnetic field strength

The conversion factor in Figure C.11 and Table C.3 represent the worst-case (highest) of all three polarizations when considering a source of magnetic field positioned in the centre of an LLA with its magnetic dipole moment perpendicular to the plane of that LLA, for all three loops of an LLAS. As such, this conversion factor may be used to estimate the worst-case magnetic field strength that would be measured with the loop antenna specified in 4.3, at a specific measurement distance (3 m, 10 m, or 30 m) from the EUT periphery, with the loop antenna centre at 1,3 m above the metallic ground plane of a test site, with the EUT's lowest surface positioned at 80 cm above the ground plane, and with the EUT rotated through all azimuth angles, for all three loop antenna polarizations. This field strength estimation may be obtained by adding the conversion factor of Figure C.11 and Table C.3 to the worst-case induced current level measured from the EUT with the three loops of the LLAS, at the frequency of measurement.

NOTE 1 Often, traditional magnetic field strength test methods (e.g. from CISPR 11 [24]) apply a loop antenna as specified in 4.3 and positioned in a vertical plane only while the EUT is rotated only around its vertical axis. In that case only the horizontal dipole moments, i.e. the dipole moments parallel to the ground plane, are measured. Consequently, in case the EUT also generates vertical dipole moments, the LLAS conversion factor cannot be used to compare the results of both measurement methods. However, the LLAS conversion factor can be used for comparisons with the magnetic field strength measurement method results when the loop antenna of 4.3 is positioned in a horizontal plane, in addition to the two vertical loop plane polarizations.

If the actual position of a disturbance source within an EUT is at a distance less than 0,5 m from the centre of the standard LLAS, the measurement results differ by less than 3 dB from those with that source in the centre of the LLAS.

The relation between the magnetic field strength  $H$  in dB(μA/m) measured at a distance  $d$  and the LLA current  $I$  in dB(μA) is per Equation (C.2):

$$H = I + C_{dA} \quad (\text{C.2})$$

where  $C_{dA}$  is the current-to-field conversion factor in dB(m<sup>-1</sup>) for a certain distance  $d$  when expressing  $H$  in dB(μA/m) (see also NOTE 2).

In general, the conversion factor is frequency-dependent; Figure C.11 (and Table C.3) present  $C_{dA}$  for standard measurement distances of 3 m, 10 m, and 30 m.

If the current is measured in an LLAS with a non-standard diameter  $D$ , Equation (C.2) can be written as Equation (C.3):

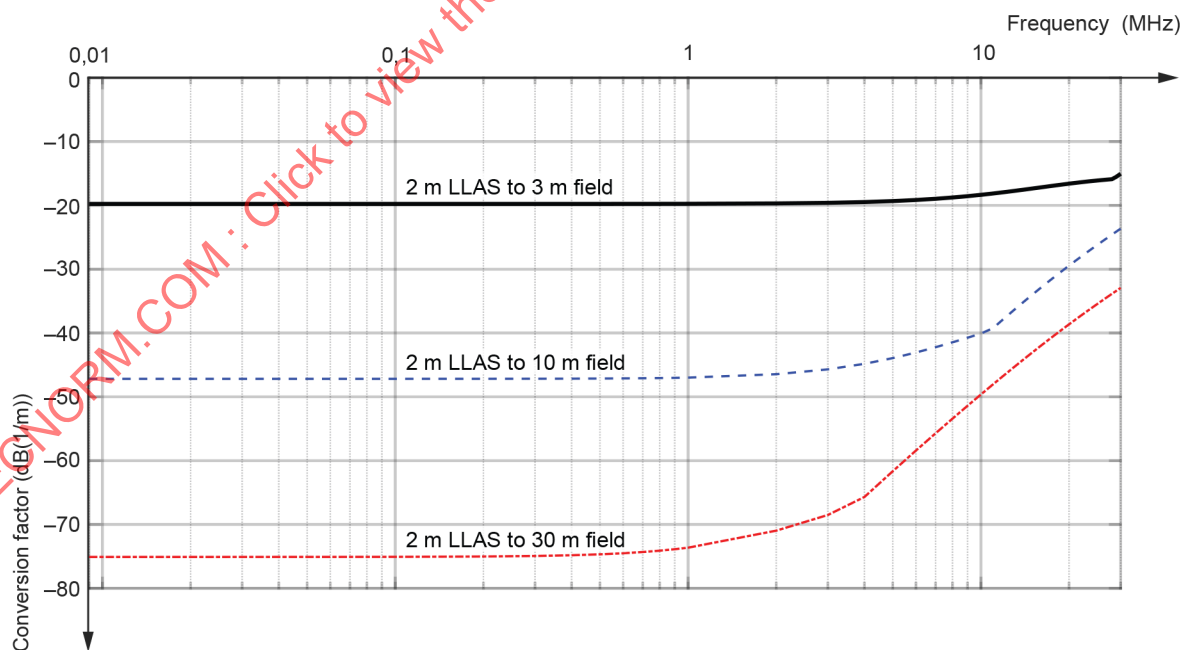
$$H = I - S_D + C_{dA} \quad (\text{C.3})$$

where  $H$  is expressed in dB(μA/m),  $I$  in dB(μA),  $S_D$  in dB, and  $C_{dA}$  in dB(m<sup>-1</sup>).

NOTE 2 For disturbance level calculations, CISPR uses the magnetic field strength  $H$  in dB(μA/m) instead of electric field strength  $E$  in dB(μV/m). In this context, the relation between  $H$  and  $E$  is given by Equation (C.4):

$$E = H + 51,5 \quad (\text{C.4})$$

where  $E$  is expressed in dB(μV/m) and  $H$  in dB(μA/m). The constant 51,5, in dB(Ω) in Equation (C.4), is explained in the NOTE in 4.3.2.



IEC

**Figure C.11 – Conversion factor  $C_{dA}$  [for conversion into dB(μA/m)]  
for three standard measurement distances  $d$**

**Table C.3 – Magnetic field strength conversion factor  $C_{dA}$  for three measurement distances (Figure C.11)**

| Frequency<br>MHz | 2 m LLAS to<br>3 m field | 2 m LLAS to<br>10 m field | 2 m LLAS to<br>30 m field | Frequency<br>(MHz) | 2 m LLAS to<br>3 m field | 2 m LLAS to<br>10 m field | 2 m LLAS to<br>30 m field |
|------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|
|                  | dB(1/m)                  | dB(1/m)                   | dB(1/m)                   |                    | dB(1/m)                  | dB(1/m)                   | dB(1/m)                   |
| 0,009            | -19,77                   | -47,18                    | -75,09                    | 7                  | -18,97                   | -42,23                    | -55,72                    |
| 0,01             | -19,77                   | -47,18                    | -75,09                    | 8                  | -18,76                   | -41,45                    | -53,41                    |
| 0,02             | -19,77                   | -47,18                    | -75,09                    | 9                  | -18,56                   | -40,74                    | -51,4                     |
| 0,03             | -19,77                   | -47,18                    | -75,09                    | 10                 | -18,35                   | -40,08                    | -49,63                    |
| 0,04             | -19,77                   | -47,18                    | -75,09                    | 11                 | -18,14                   | -39,24                    | -48,04                    |
| 0,05             | -19,77                   | -47,18                    | -75,08                    | 12                 | -17,93                   | -37,72                    | -46,61                    |
| 0,06             | -19,77                   | -47,18                    | -75,08                    | 13                 | -17,73                   | -36,36                    | -45,31                    |
| 0,07             | -19,77                   | -47,18                    | -75,08                    | 14                 | -17,54                   | -35,11                    | -44,12                    |
| 0,08             | -19,77                   | -47,18                    | -75,08                    | 15                 | -17,35                   | -33,97                    | -43,03                    |
| 0,09             | -19,77                   | -47,18                    | -75,08                    | 16                 | -17,18                   | -32,92                    | -42,02                    |
| 0,1              | -19,77                   | -47,18                    | -75,07                    | 17                 | -17,02                   | -31,95                    | -41,08                    |
| 0,2              | -19,77                   | -47,17                    | -75,02                    | 18                 | -16,87                   | -31,05                    | -40,21                    |
| 0,3              | -19,77                   | -47,16                    | -74,94                    | 19                 | -16,73                   | -30,22                    | -39,40                    |
| 0,4              | -19,77                   | -47,15                    | -74,82                    | 20                 | -16,60                   | -29,44                    | -38,63                    |
| 0,5              | -19,76                   | -47,13                    | -74,68                    | 21                 | -16,48                   | -28,71                    | -37,92                    |
| 0,6              | -19,76                   | -47,11                    | -74,51                    | 22                 | -16,37                   | -28,02                    | -37,25                    |
| 0,7              | -19,76                   | -47,09                    | -74,32                    | 23                 | -16,27                   | -27,37                    | -36,61                    |
| 0,8              | -19,76                   | -47,06                    | -74,11                    | 24                 | -16,18                   | -26,76                    | -36,01                    |
| 0,9              | -19,75                   | -47,02                    | -73,88                    | 25                 | -16,10                   | -26,18                    | -35,43                    |
| 1                | -19,75                   | -46,99                    | -73,64                    | 26                 | -16,03                   | -25,62                    | -34,89                    |
| 2                | -19,69                   | -46,46                    | -70,97                    | 27                 | -15,96                   | -25,10                    | -34,37                    |
| 3                | -19,60                   | -45,70                    | -68,52                    | 28                 | -15,90                   | -24,59                    | -33,87                    |
| 4                | -19,48                   | -44,83                    | -66,70                    | 29                 | -15,52                   | -24,11                    | -33,39                    |
| 5                | -19,33                   | -43,93                    | -61,65                    | 30                 | -15,04                   | -23,64                    | -32,93                    |
| 6                | -19,15                   | -43,06                    | -58,41                    | -                  | -                        | -                         | -                         |

## C.7 Examples

The following examples explain use of Equation (C.1), Equation (C.2), Equation (C.3), Figure C.8, Figure C.10, and Figure C.11.

- a) Given: measuring frequency  $f = 100$  kHz, LLA diameter  $D = 2$  m, current in LLA  $I = X$  dB( $\mu$ A).

Then using Equation (C.1) and Figure C.10, it follows that:

$$\text{at } d = 3 \text{ m: } H = [X/\text{dB}(\mu\text{A}) + C_{3A}/\text{dB}(\text{m}^{-1})] \text{ dB}(\mu\text{A}/\text{m}) = (X - 19,5) \text{ dB}(\mu\text{A}/\text{m})$$

$$\text{at } d = 3 \text{ m: } E = [X/\text{dB}(\mu\text{A}) + C_{3V}/\text{dB}(\Omega/\text{m})] \text{ dB}(\mu\text{V}/\text{m}) = [X + (51,5 - 19,5)] \text{ dB}(\mu\text{V}/\text{m})$$

- b) Given: measuring frequency  $f = 100$  kHz, LLA diameter  $D = 2$  m, current in LLA  $I = X$  dB( $\mu$ A).

Then, using Equation (C.2) and Figure C.11 (Table C.3), it follows that:

$$\text{at } d = 3 \text{ m: } H [\text{dB}(\mu\text{A}/\text{m})] = X [\text{dB}(\mu\text{A})] + C_{3A} [\text{dB}(\text{m}^{-1})] = (X - 19,77) \text{ dB}(\mu\text{A}/\text{m})$$

- c) Given: measuring frequency  $f = 100$  kHz, LLA diameter  $D = 4$  m, current in LLA  $I = X$  dB( $\mu$ A).

Then, using Equation (C.1) and Figure C.10 (Table C.2), it follows that the same EUT would induce a current:

$$I [\text{dB}(\mu\text{A})] = X [\text{dB}(\mu\text{A})] - S_4 [\text{dB}] = X - (-12,80) = (X + 12,80) \text{ dB}(\mu\text{A})$$

in an LLA with the standard diameter  $D = 2$  m.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of CISPR 16-1-4:2019+AMD1:2020 CSV

## Annex D (normative)

### Construction details for open area test sites in the frequency range of 30 MHz to 1 000 MHz (see Clause 6)

#### D.1 General

Subclause 6.2 provides major construction considerations for open-area test sites. Additional details that are helpful in assuring a well-constructed site and an all-weather enclosure are described in this annex. The best way to assure the suitability of these construction practices is to perform site validation measurements, as described in 6.4.

#### D.2 Ground plane construction

##### D.2.1 Material

Metal is the recommended ground plane material for field strength test sites. However, for practical reasons, metallic ground planes cannot be specified for measurement of all equipment. Some examples of materials used for metallic ground planes include solid metal sheets, metal foil, perforated metal, expanded metal, wire cloth, wire screen, and metal grating. The ground plane should have no voids or gaps with linear dimensions that are an appreciable fraction of a wavelength at the highest measurement frequency. The recommended maximum opening size for screen, perforated metal, grating, or expanded metal type ground planes is 1/10-wavelength at the highest frequency of measurement (about 3 cm at 1 000 MHz). Material comprised of individual sheets, rolls, or pieces should be soldered or welded at the seams, preferably continuously but in no case with gaps longer than 1/10-wavelength. Thick dielectric coatings, such as sand, asphalt, or wood on top of metal ground planes can result in unacceptable site attenuation characteristics.

##### D.2.2 Roughness

The Rayleigh roughness criterion provides a useful estimate of maximum allowable RMS ground plane roughness (See Figure D.1). For most practical test sites, especially for 3 m separation distance applications, up to 4,5 cm of roughness is insignificant for measurement purposes. Even more roughness is allowed for 10 m and 30 m sites. The site validation procedure in 6.4 shall be performed to determine whether the roughness is acceptable. In Table D.1, the values of  $b$  are calculated according to the formula:

$$b = \frac{\lambda}{8 \sin \beta}$$

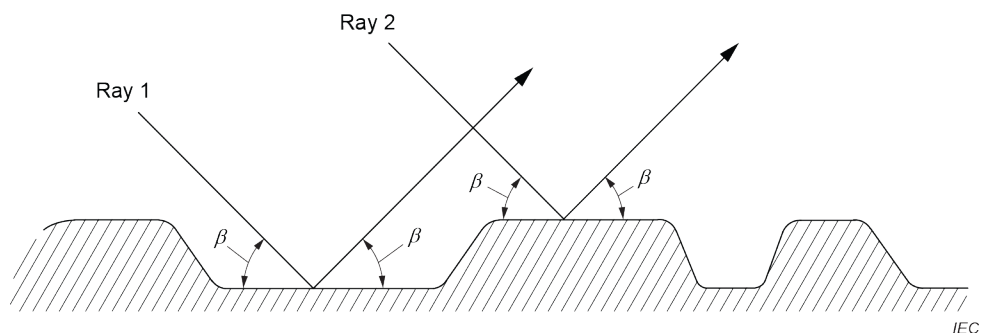


Figure D.1 – The Rayleigh criterion for roughness in the ground plane

Table D.1 – Maximum roughness for 3 m, 10 m and 30 m measurement distances

| Measurement distance $d$<br>m | Source height, $h_1$<br>m | Maximum receive antenna height, $h_2$<br>m | Maximum rms roughness<br>$b$ |                    |
|-------------------------------|---------------------------|--------------------------------------------|------------------------------|--------------------|
|                               |                           |                                            | In wavelengths               | At 1 000 MHz<br>cm |
| 3                             | 1                         | 4                                          | 0,15                         | 4,5                |
| 10                            | 1                         | 4                                          | 0,28                         | 8,4                |
| 30                            | 2                         | 6                                          | 0,49                         | 14,7               |

### D.3 Services to EUT

Electrical service or mains wiring to the EUT should be run under the ground plane to the maximum extent possible, and preferably at right angles to the measurement axis. All wires, cables, and plumbing to the turntable or mounting of the EUT should also be run under the ground plane. When underground routing is not possible, service to the EUT should be placed on top of, but flush with, and bonded to the ground plane.

### D.4 Weather-protection enclosure construction

#### D.4.1 Materials and fasteners

Up to 1 000 MHz, thin sections of fibreglass, and most other plastics, specially treated woods, and fabric material will not cause appreciable attenuation of EUT disturbance levels. Moisture absorption in some materials (e.g. wood and nylon), however, can cause transmission losses that are particularly critical if EUT disturbance levels are measured through such material. Care should be taken to ensure that air-deposited conductive particles and standing water and ice do not build up on the structure, or within the material forming the structure. Inspections should be made periodically for foreign objects that might lodge on the structure, causing measurement errors.

Use of metal above the ground plane should be kept to a minimum. Use of plastic or fabric fasteners is highly recommended. Any anchors, pilings, or similar foundations should be far enough removed from the test area so as not to affect the measurement.

#### **D.4.2 Internal arrangements**

All structural members should be non-reflective. Any blowers or ducts for heating, cooling, or air support should be outside the test area or outside the structure, unless they are made of non-conductive material or run below a metallic ground plane or well below a non-metallic ground plane. Temperature and humidity control may be required for the operation of the equipment. Any insulation or windows should be free of metal backing or framing. Any safety rails or stairs should also be non-conductive if located above the ground plane.

#### **D.4.3 Size**

The size of a weather-protection enclosure will depend upon the size of the EUT, and whether or not the entire antenna range is to be enclosed or only the area over the EUT, the area over the measuring set, or the area enclosing the receive antenna positioner and the highest extent of the receive antenna when making vertical polarization measurements.

#### **D.4.4 Uniformity with time and weather**

It is recommended that periodic site validation measurements be made in order to detect anomalies caused by degradation of the weather-protection enclosure due to weather conditions (e.g. moisture absorption) or contamination of enclosure materials. This measurement also checks the calibration of RF cabling and test instrumentation. A six-month interval is generally adequate, unless physical signs indicate material degradation sooner, i.e. material changes colour due to air-borne contaminants.

#### **D.5 Turntable and set-up table**

A turntable and a set-up table for supporting the EUT are recommended, for convenience in measuring electromagnetic disturbance levels from all sides of the EUT. The turntable contains the rotation assembly, and the set-up table is used for positioning the EUT on the test site. The following three set-up table and turntable configurations are considered in this subclause.

- a) For turntables with rotation assembly below the ground, the rotating surface (top) shall be flush with and electrically-connected to the ground plane. The rotating top carries the actual set-up table.
  - For table-top equipment, the height of the set-up table shall be  $0,8 \text{ m} \pm 0,01 \text{ m}$ , and the set-up table is placed such that its centre in the horizontal plane is at the centre of the turntable which is the unit performing the rotation. The set-up table shall be removed for the site validation measurement.
  - For floor-standing equipment, the EUT is to be insulated from the conductive surface of the turntable (which is flush with the ground plane). The height of the insulating support shall be up to 0,15 m, or as required by the product committee. The insulating support is not required when non-metallic roller casters are provided by the product. The insulating support shall be removed for the site validation measurement.
- b) For turntables with the rotation assembly integrated into the set-up table and placed on the turntable (which is flush with the ground plane) or on the ground plane without turntable, the set-up table shall have either a height of  $0,8 \text{ m} \pm 0,01 \text{ m}$  for table-top equipment, or a height not exceeding 0,15 m for floor-standing equipment. The set-up table shall be removed for the site validation measurement.
- c) In a FAR, the height of the EUT set-up table is not defined, and depends on the performance of the absorbing material and test volume of the FAR. The set-up table shall be removed for the site validation measurements.

An EUT/system that includes a support set-up table as part of the configuration under test should use the set-up table supplied with the system, not the generic set-up table at the test site.



## **D.6 Receive antenna mast installation**

The receive antenna should be mounted on a non-conducting support that will allow the antenna to be raised between 1 m and 4 m for measurement distances of 10 m and less, and between 1 m and 4 m, or between 2 m and 6 m, for distances greater than 10 m. The cable shall be connected to the antenna balun such that for horizontally polarized antennas, the cable is orthogonal to the axis of the antenna elements at all antenna heights, to maintain balance relative to ground.

The cabling from the receive antenna balun should drop vertically to the ground plane approximately 1 m or more to the rear of the receive antenna. From that point, the cable should be kept on or under the ground plane in a manner so as not to disturb the measurement. The cable between the antenna and the measuring receiver should be as short as practical to ensure acceptable received signal levels at 1 000 MHz.

For vertically polarized dipole-type antennas, the cabling to the measuring receiver should be maintained horizontal, i.e. parallel to the ground plane, for a distance of approximately 1 m or more to the rear of the receive antenna (away from the EUT) before dropping to the ground plane. An antenna boom approximately 1 m in length will suffice. The remaining cable routing to the measuring receiver is the same as for the horizontally-polarized case.

For both cases, the antenna factor should not be affected by the presence of the antenna positioners and disposition of the coaxial cabling attached to the antenna.

**Annex E**  
(xxx)

**(Void)**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of CISPR 16-1-4:2019+AMD1:2020 CSV

## Annex F (informative)

### Basis for $\pm 4$ dB site acceptability criterion (see Clause 6)

#### F.1 General

This annex describes the basis for the acceptability criterion of  $\pm 4$  dB for the normalized site attenuation (NSA) and the reference site method (RSM) measurements required in 6.4.

#### F.2 Error analysis

The error analysis in Table F.1 applies to the NSA measurement methods given in 6.4. The total estimated errors are the basis for the  $\pm 4$  dB site acceptability criterion, consisting of approximately 3 dB measurement uncertainty, and an additional allowable 1 dB for site imperfections.

The error budget in Table F.1 does not include uncertainties in the amplitude stability of the signal generator, tracking generator, or any amplifiers that may be used, nor does it include the potential errors in measurement technique. The output level of most signal and tracking generators will drift with time and temperature, and the gain of many amplifiers will drift as temperature changes. It is imperative that these sources of error be held to an insignificant amount or corrected in making the measurements, otherwise the site may fail to meet the acceptability criterion due to instrumentation problems alone.

**Table F.1 – Error budget**

| Error component                                                                    | Measurement method        |                        |
|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|------------------------|
|                                                                                    | Discrete frequency method | Swept frequency method |
|                                                                                    | dB                        | dB                     |
| Antenna factor (Tx) <sup>a</sup>                                                   | $\pm 1$                   | $\pm 1$                |
| Antenna factor (Rx) <sup>a</sup>                                                   | $\pm 1$                   | $\pm 1$                |
| Voltmeter                                                                          | 0                         | $\pm 1,6^b$            |
| Attenuator                                                                         | $\pm 1$                   | 0                      |
| Site imperfections                                                                 | $\pm 1$                   | $\pm 1$                |
| Totals                                                                             | $\pm 4$                   | $\pm 4,6$              |
| <sup>a</sup> At frequencies above 800 MHz, $F_a$ errors may approach $\pm 1,5$ dB. |                           |                        |
| <sup>b</sup> From the operating instructions.                                      |                           |                        |

From the operating instructions for some automatic spectrum analyzers, for example, if everything is done to remove or compensate every potential error as much as possible, the remaining amplitude errors are:

- 1)  $\pm 0,2$  dB calibrator uncertainty,
- 2)  $\pm 1,0$  dB frequency response flatness,
- 3)  $\pm 1,0$  dB input attenuator switching,
- 4)  $\pm 0,4$  dB RF and IF gain uncertainty.

This gives a total potential error of  $\pm 2,6$  dB, which does not include  $\pm 0,05$  dB/K temperature drift. In practice, when performing substitution type measurements, the errors associated with the frequency response flatness and input attenuator switching are usually 1 dB less, so that the total error band for the spectrum analyzer as a two-terminal voltmeter is  $\pm 1,6$  dB or less, which is used in Table F.1.

Many attenuators have far poorer absolute accuracy, but some are better. The total error budget could thus be increased or decreased in the discrete measurements. If an external attenuator is used with an automatic spectrum analyzer in swept frequency measurements, this error budget is also increased.

These error budgets do not contain errors from time- and temperature-induced drifts of the gains, output levels, or amplitude responses of the test equipment. Such errors can exist, and steps shall be taken to avoid them by making the measurements as rapidly as possible.

In practice, the errors accounted for above in the preceding discussion seldom are all in the same direction. Meeting the  $\pm 4$  dB criterion for a well-constructed and well-located site may actually allow more than  $\pm 1$  dB site anomaly variation from ideal.

## Annex G (informative)

### Examples of uncertainty budgets for site validation of a COMTS using RSM with a calibrated antenna pair (see 6.6)

#### G.1 Quantities to be considered for antenna pair reference site attenuation calibration using the averaging technique

The measurand  $A_{\text{APR}}$  is calculated using Equation (G.1), and an example uncertainty budget is shown in Table G.1.

$$A_{\text{APR}} = V_{\text{DIRECT}} - V_{\text{SITE}} + \delta V_{\text{M1}} + \delta V_{\text{M2}} + \delta V_{\text{M3}} + \delta V_{\text{SDAPR}} + \delta V_{\text{NL}} + \delta V_{\text{NF}} + \delta V_{\text{SRTX}} + \delta V_{\text{SRRX}} + \delta V_{\text{AM}} \quad (\text{G.1})$$

**Table G.1 – Antenna pair reference site attenuation calibration  
using the large-OATS averaging technique**

| Input quantity $X_i$                                                  | Uncertainty of $x_i$ |                                   | $u(x_i)$ | $c_i$ | $c_i u(x_i)$ |
|-----------------------------------------------------------------------|----------------------|-----------------------------------|----------|-------|--------------|
|                                                                       | dB                   | Probability distribution function | dB       |       | dB           |
| Receiver reading $V_{\text{DIRECT}}$                                  | $\pm 0,5$            | Rectangular                       | 0,29     | 1     | 0,29         |
| Receiver reading $V_{\text{SITE}}$                                    | $\pm 0,5$            | Rectangular                       | 0,29     | 1     | 0,29         |
| Mismatch:                                                             |                      |                                   |          |       |              |
| generator-receiver $\delta V_{\text{M1}}$                             | $\pm 0,1$            | U-shaped                          | 0,07     | 1     | 0,07         |
| generator-antenna $\delta V_{\text{M2}}$                              | $\pm 0,2$            | U-shaped                          | 0,14     | 1     | 0,14         |
| antenna-receiver $\delta V_{\text{M3}}$                               | $\pm 0,2$            | U-shaped                          | 0,14     | 1     | 0,14         |
| Standard deviation of mean $A_{\text{APR}}$ $\delta V_{\text{SDAPR}}$ | $\pm 0,6$            | Normal ( $k = 1$ )                | 0,6      | 1     | 0,6          |
| Receiver corrections:                                                 |                      |                                   |          |       |              |
| Nonlinearity $\delta V_{\text{NL}}$                                   | $\pm 0,1$            | Normal ( $k = 2$ )                | 0,05     | 1     | 0,05         |
| Noise floor proximity $\delta V_{\text{NF}}$                          | $\pm 0,0$            | Normal ( $k = 2$ )                | 0        | 1     | 0            |
| Secondary radiation of antenna cable:                                 |                      |                                   |          |       |              |
| Transmit antenna $\delta V_{\text{SRTX}}$                             | $\pm 0,3$            | Rectangular                       | 0,17     | 1     | 0,17         |
| Receive antenna $\delta V_{\text{SRRX}}$                              | $\pm 0,3$            | Rectangular                       | 0,17     | 1     | 0,17         |
| Antenna Mast $\delta V_{\text{AM}}$                                   | $\pm 0,15$           | Rectangular                       | 0,09     | 1     | 0,09         |

The expanded uncertainty is:  $U = 2 u_c(A_{\text{APR}}) = 1,37$  dB.

## G.2 Quantities to be considered for antenna pair reference site attenuation calibration using a REFTS

The measurand  $A_{\text{APR}}$  is calculated using Equation (G.2), and an example uncertainty budget is shown in Table G.2.

$$A_{\text{APR}} = V_{\text{DIRECT}} - V_{\text{SITE}} + \delta V_{\text{M1}} + \delta V_{\text{M2}} + \delta V_{\text{M3}} + \delta V_{\text{REFTS}} + \delta V_{\text{NL}} + \delta V_{\text{NF}} + \delta V_{\text{SRTX}} + \delta V_{\text{SRRX}} + \delta V_{\text{AM}} \quad (\text{G.2})$$

**Table G.2 – Antenna pair reference site attenuation calibration using REFTS**

| Input quantity $X_i$                         | Uncertainty of $x_i$ |                                   | $u(x_i)$ | $c_i$ | $c_i u(x_i)$ |
|----------------------------------------------|----------------------|-----------------------------------|----------|-------|--------------|
|                                              | dB                   | Probability distribution function | dB       |       | dB           |
| Receiver reading $V_{\text{DIRECT}}$         | $\pm 0,5$            | Rectangular                       | 0,29     | 1     | 0,29         |
| Receiver reading $V_{\text{SITE}}$           | $\pm 0,5$            | Rectangular                       | 0,29     | 1     | 0,29         |
| Mismatch:                                    |                      |                                   |          |       |              |
| generator-receiver $\delta V_{\text{M1}}$    | $\pm 0,1$            | U-shaped                          | 0,07     | 1     | 0,07         |
| generator-antenna $\delta V_{\text{M2}}$     | $\pm 0,2$            | U-shaped                          | 0,14     | 1     | 0,14         |
| antenna-receiver $\delta V_{\text{M2}}$      | $\pm 0,2$            | U-shaped                          | 0,14     | 1     | 0,14         |
| REFTS influence $\delta V_{\text{REFTS}}$    | $\pm 1,0$            | Rectangular                       | 0,58     | 1     | 0,58         |
| Receiver corrections:                        |                      |                                   |          |       |              |
| Nonlinearity $\delta V_{\text{NL}}$          | $\pm 0,1$            | Normal ( $k = 2$ )                | 0,05     | 1     | 0,05         |
| Noise floor proximity $\delta V_{\text{NF}}$ | $\pm 0,0$            | Normal ( $k = 2$ )                | 0        | 1     | 0            |
| Secondary radiation of antenna cable:        |                      |                                   |          |       |              |
| Transmit antenna $\delta V_{\text{SRTX}}$    | $\pm 0,3$            | Rectangular                       | 0,17     | 1     | 0,17         |
| Receive antenna $\delta V_{\text{SRRX}}$     | $\pm 0,3$            | Rectangular                       | 0,17     | 1     | 0,17         |
| Antenna Mast $\delta V_{\text{AM}}$          | $\pm 0,15$           | Rectangular                       | 0,09     | 1     | 0,09         |

The expanded uncertainty is:  $U = 2 u_c(A_{\text{APR}}) = 1,34$  dB.

### G.3 Quantities to be considered for COMTS validation using an antenna pair reference site attenuation

The measurand  $\Delta A_s$  is calculated using Equation (G.3), and an example uncertainty budget is shown in Table G.3.

$$\Delta A_s = V_{\text{DIRECT}} - V_{\text{SITE}} - A_{\text{APR}} + \delta V_{\text{M1}} + \delta V_{\text{M2}} + \delta V_{\text{M3}} + \delta V_{\text{NL}} + \delta V_{\text{NF}} + \delta V_{\text{SRTX}} + \delta V_{\text{SRRX}} \quad (\text{G.3})$$

**Table G.3 – COMTS validation using an antenna pair reference site attenuation**

| Input quantity $X_i$                         | Uncertainty of $x_i$ |                                   | $u(x_i)$ | $c_i$ | $c_i u(x_i)$ |
|----------------------------------------------|----------------------|-----------------------------------|----------|-------|--------------|
|                                              | dB                   | Probability distribution function | dB       |       | dB           |
| Receiver reading $V_{\text{DIRECT}}$         | $\pm 0,5$            | Rectangular                       | 0,29     | 1     | 0,29         |
| Receiver reading $V_{\text{SITE}}$           | $\pm 0,5$            | Rectangular                       | 0,29     | 1     | 0,29         |
| Antenna pair reference SA $A_{\text{APR}}$   | $\pm 1,4$            | Normal ( $k = 2$ )                | 0,7      | 1     | 0,7          |
| Mismatch:                                    |                      |                                   |          |       |              |
| generator-receiver $\delta V_{\text{M1}}$    | $\pm 0,1$            | U-shaped                          | 0,07     | 1     | 0,07         |
| generator-antenna $\delta V_{\text{M2}}$     | $\pm 0,2$            | U-shaped                          | 0,14     | 1     | 0,14         |
| antenna-receiver $\delta V_{\text{M2}}$      | $\pm 0,2$            | U-shaped                          | 0,14     | 1     | 0,14         |
| Receiver corrections:                        |                      |                                   |          |       |              |
| Nonlinearity $\delta V_{\text{NL}}$          | $\pm 0,1$            | Normal ( $k = 2$ )                | 0,05     | 1     | 0,05         |
| Noise floor proximity $\delta V_{\text{NF}}$ | $\pm 0,0$            | Normal ( $k = 2$ )                | 0        | 1     | 0            |
| Secondary radiation of antenna cable:        |                      |                                   |          |       |              |
| Transmit antenna $\delta V_{\text{SRTX}}$    | $\pm 0,3$            | Rectangular                       | 0,17     | 1     | 0,17         |
| Receive antenna $\delta V_{\text{SRRX}}$     | $\pm 0,3$            | Rectangular                       | 0,17     | 1     | 0,17         |

The expanded uncertainty is:  $U = 2 u_c(\Delta A_s) = 1,54$  dB.

## Annex H (informative)

### Definition of uncertainty in cross-polar response measurement

#### H.1 General

Subclause 4.5.5 of this document describes the method of cross-polar response (XPR) measurement for antennas with LPDA type design. This annex defines and discusses the sources of uncertainty involved in the measurement and provides example uncertainty estimates.

The uncertainty estimates in this annex are based on an LPDA (or hybrid) antenna that is placed in a FAR, with elements oriented along the vertical axis (i.e. in VP), for frequencies above 100 MHz. It is anticipated that a FAR would be most suitable for this measurement; however, the uncertainty analysis may be adapted for other facilities such as OATS or SAC. The uncertainty estimate applies when using either a dipole antenna (below 1 GHz), or linearly-polarized horn antenna (above 1 GHz) as the receive antenna (Rx antenna, denoted by 'R'). For best results, the frequency should be swept from 30 % to 150 % of the dipole's tuned frequency. The analysis uses linear ratio terms because the final uncertainty will always be asymmetric for low cross-polar signals.

The AUT (transmit antenna, denoted by 'T') generates a primary (vertically polarized) field ( $E_x$ ), and a secondary cross-polar (horizontally polarized) field ( $E_y$ ). Here  $E_{ISO}$  is the field strength, which would be generated by a perfect linearly-polarized source with unity gain of an isotropic radiator, in accordance with Equation (H.1) and Equation (H.2).

$$E_x = \sqrt{G_T} \times \sqrt{\frac{\eta_0 P_T}{4\pi d^2}} = \sqrt{G_T} \times E_{ISO} \quad (H.1)$$

$$E_y = \frac{\sqrt{G_T}}{A_{xpT}} \times E_{ISO} \quad (H.2)$$

where

$G_T$  is the transmit antenna (AUT) gain;

$\eta_0$  is the impedance of free space;

$P_T$  is the transmit power;

$d$  is the distance between the antennas.

NOTE 1 The XPR measurement in 4.5.5 arbitrarily describes the AUT as Rx antenna in VP. For passive antennas, the use of the AUT as Tx antenna does not change the principles of uncertainty analysis. The terms co-polar and cross-polar in this annex consequently refer to VP and HP respectively. The AUT could also be used in HP, which then would mean that co-polar and cross-polar would refer to HP and VP. Here VP relates to the chamber (e.g. FAR) x-axis and HP relates to the chamber y-axis.

Ideally  $E_x$  and  $E_y$  are only determined by the properties of the AUT. However, there are sources of uncertainty caused by imperfections of the receive antenna and the test site (e.g. FAR). The XPR ( $A_{xp}$ ) of each antenna is defined by the associated field-strength ratio (see Equation (H.3) for the AUT, transmit antenna):

$$A_{xpT} = \frac{E_x}{E_y} \quad (H.3)$$



$$\Phi_{aCx} = A_{xpR} \times \Phi_{aCo} \quad (H.4)$$

where  $\Phi_{aCo}$  and  $\Phi_{aCx}$  of Equation (H.4) are linear AFs ( $F_{aCo} = 20\lg\Phi_{aCo}$  and  $F_{aCx} = 20\lg\Phi_{aCx}$  are AFs in dB) of the non-ideal receive antenna ( $A_{xpR}$  relates to the calibrated receive AF and is also a linear ratio).

NOTE 2 Assuming that only one field strength component  $E_x$  exists, then the co-polarized receive antenna output voltage consists of two components  $V_{Co} = E_x / \Phi_{aCo}$  and  $V_{Cx} = E_x / \Phi_{aCx}$ .

An error matrix for the anechoic chamber is defined to show how the true electric field strengths relate to the ideal AUT field strength. The matrix terms are described as errors, which in principle are deterministic values related to standing waves and cross-polar scattering in the chamber at each frequency. In this analysis they are processed as broadband statistical uncertainty contributions, because measurements of these matrix terms have uncertainties, and they are both frequency-dependent and location-dependent within the chamber.

$$\begin{bmatrix} E_x \\ E_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 + \delta_{xx} & \delta_{xy} \\ \delta_{yx} & 1 + \delta_{yy} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1/A_{xpT} \end{bmatrix} \times \sqrt{G_T} \times E_{ISO} \quad (H.5)$$

The chamber error terms describe reflections, which add uncertainty either in the same polarization as the original AUT field strengths (i.e.  $\delta_{xx}$  and  $\delta_{yy}$ ), or in the other polarization (i.e.  $\delta_{xy}$  and  $\delta_{yx}$ ). This analysis considers field components such that even a pure linearly-polarized electric field source will generate a small component along the cross-polar axis.

The chamber error terms are:

- $\delta_{xx}$  for VP wall reflections resulting from the true co-polar field strength, contributing to  $E_x$ ;
- $\delta_{xy}$  for VP wall reflections resulting from the true cross-polar field strength, contributing to  $E_x$ ;
- $\delta_{yy}$  for HP wall reflections resulting from the true cross-polar field strength, contributing to  $E_y$ ;
- $\delta_{yx}$  for HP wall reflections resulting from the true co-polar field strength, contributing to  $E_y$ .

Equation (H.6) and Equation (H.7) define the true field strength produced at the position of the Rx antenna. This field strength is measured in two polarizations by rotating the Rx antenna. From the electric field-strength expression of Equation (H.5) the AUT field strength is derived:

$$E_x \approx \sqrt{G_T} \times E_{ISO} (1 + \delta_{xx}) \quad (H.6)$$

$$E_y = \sqrt{G_T} \times E_{ISO} \left( \delta_{yx} + \frac{1 + \delta_{yy}}{A_{xpT}} \right) \quad (H.7)$$

In Equation (H.6) the second-order term ( $\delta_{xy} \times \sqrt{G_T} \times E_{ISO} / A_{xpT}$ ) is dropped because it is negligibly small. The voltage  $V_{Co}$  is the receive antenna output voltage when it is co-polarized. Similarly, the voltage  $V_{Cx}$  is the receive antenna output voltage, when it is rotated from co-polar to cross-polar (VP to HP). It is clear from Equation (H.6) and Equation (H.7) that the measured XPR will depend on the magnitude of the cross-polar terms, per Equation (H.8).

$$\begin{bmatrix} V_{Co} \\ V_{Cx} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/\phi_{aCo} & 1/\phi_{aCx} \\ 1/\phi_{aCx} & 1/\phi_{aCo} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_x \\ E_y \end{bmatrix} = \frac{1}{\phi_{aCo}} \begin{bmatrix} 1 & 1/A_{xpR} \\ 1/A_{xpR} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_x \\ E_y \end{bmatrix} \quad (H.8)$$

The received voltage is derived assuming the chamber error terms are uncorrelated, and second order terms are removed if the typical value of the divisor is large [i.e.  $A_{xpR}$  will be  $> 20$  (dimensionless)], per Equation (H.9) and Equation (H.10):

$$V_{Co} \approx \frac{E_x}{\phi_{aCo}} = \frac{\sqrt{G_T} \times E_{ISO}}{\phi_{aCo}} (1 + \delta_{xx}) \quad (H.9)$$

$$V_{Cx} = \frac{\sqrt{G_T} \times E_{ISO}}{A_{xpT} \times \phi_{aCo}} \times \left( 1 \pm \delta_{yy} \pm [A_{xpT} \times \delta_{yx}] + \left[ \frac{A_{xpT}}{A_{xpR}} \right] \times (1 \pm \delta_{xx}) \right) \quad (H.10)$$

The chamber delta terms ( $\delta_{xx}$  etc.) will appear as frequency dependent oscillations about 0 dB. Over a broad range they may be considered as random contributions with symmetric PDF for this analysis. The term  $A_{xpT}/A_{xpR}$ , relates to the increase in measured  $V_{Cx}$  due to the polarization mismatch between the transmit antenna and the receive antenna. This term has an asymmetric PDF, however for the purposes of limit testing the relevant side of the PDF is finite and the worst case increase in  $V_{Cx}$  is used, which is indicated by the sign. This reduces the measured ratio  $A_{xpT}$ , and for simplicity this is represented as a systematic term in the uncertainty budget.

The XPR including its uncertainty is then calculated using the voltages from Equation (H.9) and Equation (H.10), per Equation (H.11) and Equation (H.12):

$$A_{xpT \text{ meas}} = \frac{V_{Co}}{V_{Cx}} \quad (H.11)$$

$$a_{xpT \text{ meas}} = 20 \lg \left( \frac{V_{Co}}{V_{Cx}} \right) \text{ in dB} \quad (H.12)$$

Rationale H5) in H.3 contains remarks about the terms in Equation (H.9) and Equation (H.10), and the chamber error matrix.

## H.2 Example uncertainty estimate

The example shown in Table H.1 pertains to measuring a true XPR of 22 dB (12,6 linear ratio), with a dipole antenna that would have an XPR similar to a double-ridged horn (DRH) antenna. Because measurement of XPR depends on chamber performance, it is crucial to average several measurements in different locations, especially in a chamber with poor performance. Three measurements are assumed in this example, and hence for a Type A contribution the uncertainty of the mean value is obtained by the standard deviation divided by  $\sqrt{3}$ .

The chamber reflection terms are associated with the error terms in Equation (H.9) and Equation (H.10). The assumed values for chamber and receive antenna uncertainty are given in Table H.1, with an extra factor of 0,5 given to the cross-polar term (0,5 is an estimate subject to reduction upon further investigation). The uncertainty arising from the chamber errors may be estimated from chamber evaluation measurements.

**Table H.1 – Example uncertainty estimate for XPR measurement  
in a FAR and assumed  $a_{xpT} = 22$  dB,  $a_{xpR} = 34$  dB**

| Input quantity <sup>a</sup><br>$X_i$                     | Uncertainty in $X_i$ |         |                      | $u(x_i)$ | Sensitivity<br>$c_i$      | $c_i u(x_i)$  |
|----------------------------------------------------------|----------------------|---------|----------------------|----------|---------------------------|---------------|
|                                                          | dB                   | linear  | PDF                  | linear   | Average of 3 measurements | for $A_{xpT}$ |
| VNA reading, co-polar <sup>H1)</sup>                     | 0,08                 | 0,009 3 | normal, $k = 1$      | 0,009 3  | 0,577                     | 0,005 3       |
| VNA reading, non-linearity cross-polar <sup>H1)</sup>    | 0,08                 | 0,009 3 | normal, $k = 1$      | 0,009 3  | 0,577                     | 0,005 3       |
| Antenna misalignment ( $2^\circ$ ) <sup>H2)</sup>        |                      | 0,035 0 | rectangular          | 0,020 2  | 0,577                     | 0,011 7       |
| Distance uncertainty (1 cm) <sup>H3)</sup>               |                      | 0,005 0 | rectangular          | 0,002 9  | 0,577                     | 0,001 7       |
| AUT depolarization due to environment <sup>H4)</sup>     | 0,1                  | 0,011 6 | rectangular          | 0,006 7  | 1                         | 0,006 7       |
| Rx ant. depolarization due to environment <sup>H4)</sup> | 0,1                  | 0,011 6 | rectangular          | 0,006 7  | 1                         | 0,006 7       |
| Chamber reflection, $\delta_{xx} = 0,056$ <sup>H5)</sup> |                      | 0,056 0 | triangular           | 0,022 9  | 0,577                     | 0,013 2       |
| $A_{xpT}/A_{xpR}$ <sup>H5)</sup>                         |                      | 0,251 5 | rectangular          | 0,145 2  | 1                         | 0,145 2       |
| $\delta_{yy}$                                            |                      | 0,056 0 | triangular           | 0,022 9  | 0,577                     | 0,013 2       |
| $(A_{xpT}/A_{xpR}) \times \delta_{xx}$                   |                      | 0,014 1 | triangular           | 0,005 7  | 0,577                     | 0,003 3       |
| $A_{xpT} \times \delta_{yx}$ (with factor 0,5)           |                      | 0,352 8 | triangular           | 0,144 0  | 0,577                     | 0,083 2       |
| Combined standard uncertainty $u_c$                      |                      |         |                      |          | $k = 1$                   | 0,169 2       |
| Expanded uncertainty $ku_c$ <sup>H6)</sup>               |                      |         |                      |          | $k = 1,64$                | 0,277 6       |
| Expanded uncertainty in dB                               |                      |         | 20lg(1/[1+ $ku_c$ ]) |          | $k = 1,64$                | -2,13         |

<sup>a</sup> Footnote references, e.g. <sup>H1)</sup>, refer to rationale details listed in H.3.

### H.3 Rationale for the estimates of input quantities in Table H.1 and Table H.3

- H1) The reading uncertainty of a VNA has been assumed to be 0,08 dB, based on Type A repeatability testing. This value also contains the uncertainty due to the VNA nonlinearity, which affects the difference between the two readings.
- H2) If  $\theta$  is the angle of misalignment, then  $\delta E \propto \sin \theta \approx \theta \times (\pi/180)$ , where  $\theta$  is measured in degrees.
- H3)  $\delta E \propto \delta d/d$  evaluated for  $\delta d = 1$  cm uncertainty over  $d = 200$  cm range, when the AUT is rotated.
- H4) The closeness of the chamber walls can influence the polarization purity of the AUT and Rx antenna. 'Depolarization' means (partial) change of polarization, e.g. by reflection effects or similar.
- H5) The delta terms in the chamber error matrix can be equal in worst-case conditions, which implies the distribution of electric field strength uncertainty is equal in both polarizations, even if the source is linearly polarized. This is unlikely to be true for a higher performance chamber with good absorbers, so the  $\delta_{yx}$  and  $\delta_{xy}$  terms can be reduced (a value of half is assumed). In the uncertainty estimate, a PDF factor of  $\sqrt{6}$  (triangular) is assumed for chamber uncertainties based on an initial estimate that chamber reflections are more likely to be around zero (see the text following Equation (H.9) and Equation (H.10) in H.1).

The error terms in Equation (H.9) and Equation (H.10) show how the real electric field strengths couple into the measured XPR. It is worth understanding what the dominant terms in Table H.1 and Table H.3 relate to. The term  $A_{xpT}/A_{xpR}$  relates to the fundamental limit of the measurement, i.e. the XPR of the receive antenna, as a ratio of the XPR level being measured, and this is not improved by averaging several measurements because it is a systematic uncertainty. The term  $A_{xpT} \times \delta_{yx}$  relates to the cross-polar error of the chamber, which will make a co-polar field appear as cross-polar.

In a good chamber, it is assumed that this is half the co-polar error, and it is likely that this will be even less for directive antennas.

So far, all chamber performance data in this uncertainty estimate are based on assumptions. No specific test method or site validation method has yet been developed. The direct errors  $\delta_{xx}$  and  $\delta_{yy}$  may be derived from NSA or  $S_{VSWR}$  measurement results. The cross-polar terms  $\delta_{yx}$  and  $\delta_{xy}$  may then be estimated. After further experience is gained, this annex might be revised. Note the importance of using at least three averages taken at different locations in the FAR, which reduces the Type A terms and allows the chamber reflections to be considered more as random components, applied to each data point, rather than systematic with precise locations. A single measurement is applied at an OATS. Generally, an OATS is considered better than a FAR with good absorber material, and a large FAR is considered better than a small FAR.

- H6) Because the requirement in 4.5.5 is  $A_{xp} > 20$  dB, it is possible to show that this is fulfilled with a level of confidence of 95 % if the condition  $A_{xpT\text{ meas}}/(1 + 1,64u_c) > 10$  (or 20 dB) applies. The coverage factor of  $k = 1,64$  (rather than  $k = 2$ ) applies for a one-sided probability distribution (the value  $k = 2$  is a widely accepted approximation for the exact two-sided value  $k = 1,96$ ).

NOTE The measured ratio in Equation (H.11) shows that the outcome is more sensitive to uncertainty in the denominator, which will be a smaller voltage. When  $V_{Cx}$  is reduced by measurement uncertainty, the final ratio is then very large, but this is not important. For limit testing against a minimum  $A_{xpT}$  requirement, the largest positive uncertainty in  $V_{Cx}$  is taken such that the final ratio is reduced. Thus, as a reasonable approximation the worst-case uncertainty scales  $(1/[1+k u_c])$ , and this value will change with different  $A_{xpT\text{ meas}}$ . An  $A_{xpT\text{ meas}}$  of 12,6 was assumed in Table H.1, giving  $A_{xpT95\%} = 12,6/(1+0,277\ 6) = 9,86$ , which is equivalent to (22 dB – 2,13 dB).

The analysis demonstrates that the largest influence factor is the relationship  $A_{xpT}/A_{xpR}$ , and that a good chamber is preferred for accurate XPR measurement. Table H.2 gives an example of how the uncertainty changes with AUT XPR value, for fixed receive antenna properties. Using the values in the worked example, the interpretation is that a measured XPR of 22 dB indicates a 95 % probability that the true value is greater than 19,87.

For a better receive antenna ( $a_{xpR} = 40$  dB) and an improved chamber ( $\delta_{xx} = \delta_{yy} = 0,028$  and  $\delta_{yx} = 0,014$ ), the effective limit value is improved. The improved uncertainty will be  $20\lg(1/[1+1,64u_c]) = -1,16$  dB, and thus a measured XPR of 22 dB indicates a 95 % probability that the true value is greater than 20,84 dB.

**Table H.2 – Uncertainties depending on other values of  $A_{xpT}$**   
(other assumptions as in Table H.1)

| $a_{xpR}$ / dB | $A_{xpT}$ | $20\lg(1/[1+1,64u_c])$ / dB |
|----------------|-----------|-----------------------------|
| 10             | 3,2       | –0,68                       |
| 13             | 4,5       | –0,88                       |
| 16             | 6,3       | –1,16                       |
| 18             | 7,9       | –1,42                       |
| 20             | 10,0      | –1,74                       |
| 22             | 12,6      | –2,13                       |
| 24             | 15,8      | –2,59                       |

#### H.4 Measurement of XPR below 100 MHz at an OATS

Where anechoic chambers do not perform well below 100 MHz, XPR may be measured at an OATS with the antennas at a large height above the ground plane. In this case it is assumed that the  $\delta_{yx}$  and  $\delta_{xy}$  error terms are negligible. Table H.3 shows this for a measurement at 6 m height and 3 m distance as an example.

**Table H.3 – Example uncertainty estimate for XPR measurement  
at an OATS and assumed  $a_{xpT} = 22$  dB,  $a_{xpR} = 34$  dB**

| Input quantity <sup>a</sup><br>$X_i$                          | Uncertainty in $X_i$ |                 |                     | $u(x_i)$ | Sensitivity<br>$c_i$ | $c_i u(x_i)$  |
|---------------------------------------------------------------|----------------------|-----------------|---------------------|----------|----------------------|---------------|
|                                                               | dB                   | $\delta$ linear | PDF                 | linear   | 1<br>measurement     | for $A_{xpT}$ |
| VNA reading, co-polar <sup>H1)</sup>                          | 0,08                 | 0,009 3         | normal, $k = 1$     | 0,009 3  | 1                    | 0,009 3       |
| VNA reading, non-linearity cross-polar <sup>H1)</sup>         | 0,08                 | 0,009 3         | normal, $k = 1$     | 0,009 3  | 1                    | 0,009 3       |
| Antenna misalignment ( $2^\circ$ ) <sup>H2)</sup>             |                      | 0,035 0         | rectangular         | 0,020 2  | 1                    | 0,020 2       |
| Distance uncertainty (2 cm over 3 m range) <sup>H3)</sup>     |                      | 0,007 0         | rectangular         | 0,004 0  | 1                    | 0,004 0       |
| AUT depolarization due to environment <sup>H4)</sup>          | 0,1                  | 0,011 6         | rectangular         | 0,006 7  | 1                    | 0,006 7       |
| Rx ant. depolarization due to environment <sup>H4)</sup>      | 0,1                  | 0,011 6         | rectangular         | 0,006 7  | 1                    | 0,006 7       |
| Antenna mast reflection, $\delta_{xx} = 0,034$ <sup>H5)</sup> |                      | 0,034 0         | triangular          | 0,013 9  | 1                    | 0,013 9       |
| $A_{xpT}/A_{xpR}$ <sup>H5)</sup>                              |                      | 0,251 5         | rectangular         | 0,145 2  | 1                    | 0,145 2       |
| $A_{yy}$                                                      |                      | 0,034 0         | triangular          | 0,013 9  | 1                    | 0,013 9       |
| $(A_{xpT}/A_{xpR}) \times \delta_{xx}$                        |                      | 0,008 6         | triangular          | 0,003 5  | 1                    | 0,003 5       |
| Combined standard uncertainty $u_c$                           |                      |                 |                     |          | $k = 1$              | 0,148 9       |
| Expanded uncertainty $ku_c$ <sup>H6)</sup>                    |                      |                 |                     |          | $k = 1,64$           | 0,244 2       |
| Expanded uncertainty in dB                                    |                      |                 | $20\lg(1/[1+ku_c])$ |          | $k = 1,64$           | -1,90         |

<sup>a</sup> Footnote references, e.g. <sup>H1)</sup>, refer to rationale details listed in H.3.

## Bibliography

- [1] IEC 61169-8, *Radio-frequency connectors – Part 8: Sectional specification – RF coaxial connectors with inner diameter of outer conductor 6,5 mm (0,256 in) with bayonet lock – Characteristic impedance 50  $\Omega$  (type BNC)* (previously published as IEC 60169-8)
- [2] BEECKMAN, P. A., The influence of positioning tables on the results of radiated EMC measurements, *IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, Montreal, Quebec, Canada, 2001, p. 280-285
- [3] BURKE, G. J. and POGGIO, A.J., *Numerical Electromagnetic Code – Method of Moments*, Lawrence Livermore Laboratory, California, January, 1981
- [4] GARBE, H., New EMC Test Facilities for Radiation Measurements, *Review of Radio Science 1999-2002*, John Wiley & Sons, New York, 2002
- [5] MOSSHAMMER, P., *Untersuchung der Einflüsse des Messzubehörs und der Umgebung auf die Messunsicherheit bei der Messung der Störfeldstärke auf Freifeldmessplätzen (Investigation of the influences of the measuring accessories and the environment on the measurement uncertainty with the measurement of the perturbative field strength on free field measuring positions)*, Diplomarbeit an Fachhochschule für Technik und Wirtschaft Berlin (available only in German)
- [6] ETR 273-1-1:1998, *Electromagnetic compatibility and radio spectrum matters (ERM); Improvement of radiated methods of measurement (using test sites) and evaluation of the corresponding measurement uncertainties – Part 1: Uncertainties in the measurement of mobile radio equipment characteristics – Section 1: Introduction; Subclause 8.3.4.3: Antenna mast, turntable and mounting fixture*, ETSI Technical Report, European Telecommunications Standards Institute, Sophia Antipolis, France
- [7] MIL-STD-461A, *Electromagnetic Interference (EMI) Characteristics Requirements for Equipment*
- [8] ZOMBOLAS, C., The effects of table material on radiated field strength measurement reproducibility at open area test sites, *IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, Montreal, Quebec, Canada, 2001, p. 260-264
- [9] BERGERVOET J.R. and VAN VEEN, H., A Large-Loop Antenna for Magnetic Field Measurements, *Proceedings of the 8th International Zürich Symposium on Electromagnetic Compatibility*, March 1989, ETH Zentrum – IKT, 8092 Zürich, Switzerland, p. 29-34
- [10] SCHELKUNOFF, S.A. and FRIIS, H.T., *Antennas: Theory and Practice*, New York: John Wiley and Sons, Inc., 1952, p. 302-331
- [11] CLC/TR 50481, *Recommendations on filters for shielded enclosures*, CENELEC, April 2009
- [12] CLC/TR 50484, *Recommendations for shielded enclosures*, CENELEC, April 2009
- [13] prEN 50147-3:1998, *Electromagnetic Compatibility Basic Emission Standard, Part 3: Emission Measurements in Fully Anechoic Rooms*, TC210-WG4-9905, CENELEC, Brussels, January 1999
- [14] GARN, H., Müllner, W., Buchmayr, M., Site-Reference Method for EMC Test Site Validation, *Frequenz* 53, July-August 1999, p. 151

- [15] GISIN, F., Using ANSI C63.5 standard site method antenna factors for verifying ANSI C63.4 site attenuation requirements, *Proceedings of the IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, Dallas, 9-13 August 1993, p. 313-314
- [16] GARN, H. F., BUCHMAYR, M., MÜLLNER, W. and RASINGER, J., Primary standards for antenna factor calibration in the frequency range 30 – 1 000 MHz, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, April 1997, vol. 46, no.2, p. 544-548
- [17] ALEXANDER, M.J., SALTER, M.J., LOADER, B.G., KNIGHT, D.A., Broadband calculable dipole reference antennas, *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, February 2002, vol. 44, no.1, p. 45-58
- [18] FOEGELLE, M.D., Site validation theory 101: Techniques and methods, *Compliance Engineering*, July/August 2000, p. 42-53  
[www.ce-mag.com/archive/2000/julyaugust/Foegelle.html](http://www.ce-mag.com/archive/2000/julyaugust/Foegelle.html)
- [19] ANSI C63.5-2017, American National Standard for Electromagnetic Compatibility–Radiated Emission Measurements in Electromagnetic Interference (EMI) Control–Calibration of Antennas (9 kHz to 40 GHz)
- [20] MENG, D., A, Fast Way to Accurately Calibrate Tunable Dipole Antennas at VHF, *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, February 2018, vol. 60, no.1, p. 86-95
- [21] ~~CISPR 16-1-4/AMD1/FRAG1<sup>3</sup>, Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 1-4: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – Antennas and test sites for radiated disturbance measurements~~  
Void
- [22] IEC 61000-4-20, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-20: Testing and measurement techniques – Emission and immunity testing in transverse electromagnetic (TEM) waveguides*
- [23] CISPR TR 16-3:2020, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 3: CISPR technical reports*
- [24] CISPR 11, *Industrial, scientific and medical equipment – Radio-frequency disturbance characteristics – Limits and methods of measurement*

---

<sup>3</sup>—Under preparation. Stage at the time of publication: CISPR CGDV 16-1-4/AMD1/FRAG1:2018.



## SOMMAIRE

|                                                                                                                                         |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| AVANT-PROPOS .....                                                                                                                      | 129 |
| 1 Domaine d'application .....                                                                                                           | 131 |
| 2 Références normatives .....                                                                                                           | 131 |
| 3 Termes, définitions et termes abrégés .....                                                                                           | 132 |
| 3.1 Termes et définitions .....                                                                                                         | 132 |
| 3.2 Termes abrégés .....                                                                                                                | 137 |
| 4 Antennes pour la mesure des perturbations radioélectriques rayonnées .....                                                            | 138 |
| 4.1 Généralités .....                                                                                                                   | 138 |
| 4.2 Paramètre physique (mesurande) pour les mesures des perturbations rayonnées .....                                                   | 139 |
| 4.3 Antennes pour la plage de fréquences comprises entre 9 kHz et 150 kHz .....                                                         | 139 |
| 4.3.1 Généralités .....                                                                                                                 | 139 |
| 4.3.2 Antenne à champ magnétique .....                                                                                                  | 139 |
| 4.3.3 Blindage de l'antenne cadre .....                                                                                                 | 139 |
| 4.4 Antennes pour la plage de fréquences comprises entre 150 kHz et 30 MHz .....                                                        | 140 |
| 4.4.1 Antenne à champ électrique .....                                                                                                  | 140 |
| 4.4.2 Antenne à champ magnétique .....                                                                                                  | 140 |
| 4.4.3 Symétrisation et discrimination du champ électrique des antennes .....                                                            | 140 |
| 4.5 Antennes pour la plage de fréquences comprises entre 30 MHz et 1 000 MHz .....                                                      | 140 |
| 4.5.1 Généralités .....                                                                                                                 | 140 |
| 4.5.2 Antenne à faible incertitude pour utilisation en cas de non-conformité présumée des limites d'intensité du champ électrique ..... | 140 |
| 4.5.3 Caractéristiques d'antenne .....                                                                                                  | 141 |
| 4.5.4 Symétrisation de l'antenne .....                                                                                                  | 143 |
| 4.5.5 Réponse de polarisation croisée de l'antenne .....                                                                                | 144 |
| 4.6 Antennes pour la plage de fréquences comprises entre 1 GHz et 18 GHz .....                                                          | 146 |
| 4.6.1 Généralités .....                                                                                                                 | 146 |
| 4.6.2 Antenne de réception .....                                                                                                        | 146 |
| 4.7 Montages d'antennes particuliers – Système d'antennes de grand diamètre .....                                                       | 149 |
| 5 Emplacements d'essai pour la mesure du champ radioélectrique perturbateur dans la gamme de fréquences de 9 kHz à 30 MHz .....         | 149 |
| 6 Emplacements d'essai pour la mesure du champ radioélectrique perturbateur dans la gamme de fréquences de 30 MHz à 1 000 MHz .....     | 149 |
| 6.1 Généralités .....                                                                                                                   | 149 |
| 6.2 OATS .....                                                                                                                          | 150 |
| 6.2.1 Généralités .....                                                                                                                 | 150 |
| 6.2.2 Enceinte de protection contre les intempéries .....                                                                               | 150 |
| 6.2.3 Zone sans obstacle .....                                                                                                          | 150 |
| 6.2.4 Environnement radiofréquence ambiant d'un emplacement d'essai .....                                                               | 152 |
| 6.2.5 Plan de sol .....                                                                                                                 | 153 |
| 6.3 Aptitude des autres emplacements d'essai .....                                                                                      | 153 |
| 6.3.1 Autres emplacements d'essai à plan de sol .....                                                                                   | 153 |
| 6.3.2 Emplacements d'essai sans plan de sol (FAR) .....                                                                                 | 153 |
| 6.4 Validation des emplacements d'essai .....                                                                                           | 154 |
| 6.4.1 Généralités .....                                                                                                                 | 154 |
| 6.4.2 Vue d'ensemble des validations d'un emplacement d'essai .....                                                                     | 155 |



|        |                                                                                                                                                                 |     |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 6.5    | Paramètres de base de la méthode du NSA pour OATS et SAC .....                                                                                                  | 155 |
| 6.5.1  | Equation générale et tableau des valeurs de NSA théoriques .....                                                                                                | 155 |
| 6.5.2  | Etalonnage de l'antenne .....                                                                                                                                   | 159 |
| 6.6    | Méthode de site de référence pour OATS et SAC .....                                                                                                             | 159 |
| 6.6.1  | Généralités .....                                                                                                                                               | 159 |
| 6.6.2  | Antennes non admises pour les mesures par RSM .....                                                                                                             | 160 |
| 6.6.3  | Détermination de l'affaiblissement de site de référence avec une paire d'antennes sur un REFTS .....                                                            | 161 |
| 6.6.4  | Détermination de l'affaiblissement de site de référence avec une paire d'antennes à l'aide d'une technique de moyennage sur un OATS de grandes dimensions ..... | 161 |
| 6.7    | Validation d'un OATS par la méthode du NSA .....                                                                                                                | 165 |
| 6.7.1  | Méthode de la fréquence discrète .....                                                                                                                          | 165 |
| 6.7.2  | Méthode par balayage de fréquence .....                                                                                                                         | 166 |
| 6.8    | Validation d'un OATS protégé contre les intempéries par une enceinte ou d'une SAC .....                                                                         | 166 |
| 6.9    | Causes possibles de dépassement des limites d'acceptabilité de site .....                                                                                       | 171 |
| 6.10   | Validation de l'emplacement pour les FAR .....                                                                                                                  | 172 |
| 6.10.1 | Généralités .....                                                                                                                                               | 172 |
| 6.10.2 | RSM pour les sites FAR .....                                                                                                                                    | 177 |
| 6.10.3 | Méthode du NSA pour les sites FAR .....                                                                                                                         | 179 |
| 6.10.4 | Critère de validation de l'emplacement pour les sites FAR .....                                                                                                 | 181 |
| 6.11   | Évaluation de la table d'essai et du pylône d'antenne .....                                                                                                     | 182 |
| 6.11.1 | Généralités .....                                                                                                                                               | 182 |
| 6.11.2 | Procédure d'évaluation de l'influence de la table d'essai .....                                                                                                 | 182 |
| 7      | Emplacements d'essai pour la mesure des champs radioélectriques perturbateurs dans la gamme de fréquences de 1 GHz à 18 GHz .....                               | 184 |
| 7.1    | Généralités .....                                                                                                                                               | 184 |
| 7.2    | Emplacement d'essai de référence .....                                                                                                                          | 184 |
| 7.3    | Validation des emplacements d'essai .....                                                                                                                       | 184 |
| 7.3.1  | Généralités .....                                                                                                                                               | 184 |
| 7.3.2  | Critère d'acceptation pour la validation de l'emplacement .....                                                                                                 | 186 |
| 7.4    | Exigences relatives à l'antenne pour la procédure d'essai normalisée avec le $S_{VSWR}$ .....                                                                   | 186 |
| 7.4.1  | Généralités .....                                                                                                                                               | 186 |
| 7.4.2  | Antenne d'émission .....                                                                                                                                        | 187 |
| 7.4.3  | Antennes et équipement d'essai pour la procédure d'essai inverse avec le $S_{VSWR}$ .....                                                                       | 190 |
| 7.5    | Positions exigées pour l'essai de validation de l'emplacement .....                                                                                             | 190 |
| 7.5.1  | Généralités .....                                                                                                                                               | 190 |
| 7.5.2  | Description des positions de mesure de $S_{VSWR}$ dans un plan horizontal (Figure 23) .....                                                                     | 191 |
| 7.5.3  | Description des positions supplémentaires de mesure de $S_{VSWR}$ (Figure 24) .....                                                                             | 192 |
| 7.5.4  | Récapitulatif des positions de mesure de $S_{VSWR}$ .....                                                                                                       | 193 |
| 7.6    | Validation de l'emplacement de $S_{VSWR}$ – procédure d'essai normalisée .....                                                                                  | 196 |
| 7.7    | Validation d'emplacement de $S_{VSWR}$ – procédure d'essai inverse utilisant une sonde de champ isotrope .....                                                  | 197 |
| 7.8    | Exigences concernant la position conditionnelle des mesures de $S_{VSWR}$ .....                                                                                 | 199 |
| 7.9    | Rapport d'essai de validation d'emplacement $S_{VSWR}$ .....                                                                                                    | 200 |
| 7.10   | Limites de la méthode de validation d'emplacement de $S_{VSWR}$ .....                                                                                           | 200 |

|       |                                                                                                                                                                          |     |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 7.11  | Autres emplacements d'essai.....                                                                                                                                         | 200 |
| 8     | Dispositifs d'absorption en mode commun .....                                                                                                                            | 201 |
| 8.1   | Généralités .....                                                                                                                                                        | 201 |
| 8.2   | Mesures des paramètres $S$ d'un CMAD .....                                                                                                                               | 201 |
| 8.3   | Montage d'essai de CMAD .....                                                                                                                                            | 201 |
| 8.4   | Méthode de mesure utilisant l'étalonnage TRL .....                                                                                                                       | 202 |
| 8.5   | Spécification d'un CMAD du type à pince en ferrite .....                                                                                                                 | 204 |
| 8.6   | Vérification de la performance (dégradation) des CMAD en utilisant un analyseur de spectre et un générateur de poursuite .....                                           | 205 |
| 9     | Chambre de réverbération pour la mesure de la puissance totale rayonnée.....                                                                                             | 208 |
| 9.1   | Généralités .....                                                                                                                                                        | 208 |
| 9.2   | Chambre.....                                                                                                                                                             | 208 |
| 9.2.1 | Dimensions et forme de la chambre .....                                                                                                                                  | 208 |
| 9.2.2 | Porte, ouvertures dans les parois et équerres de montage.....                                                                                                            | 208 |
| 9.2.3 | Agitateurs .....                                                                                                                                                         | 208 |
| 9.2.4 | Essai de rendement des agitateurs .....                                                                                                                                  | 209 |
| 9.2.5 | Affaiblissement de couplage .....                                                                                                                                        | 210 |
| 10    | Cellules TEM pour les mesures d'immunité aux perturbations rayonnées.....                                                                                                | 211 |
|       | Annexe A (normative) Paramètres des antennes.....                                                                                                                        | 212 |
| A.1   | Généralités .....                                                                                                                                                        | 212 |
| A.2   | Antennes préférentielles .....                                                                                                                                           | 212 |
| A.2.1 | Généralités .....                                                                                                                                                        | 212 |
| A.2.2 | Antenne calculable .....                                                                                                                                                 | 212 |
| A.2.3 | Antennes à faible incertitude.....                                                                                                                                       | 213 |
| A.3   | Antennes doublets simples .....                                                                                                                                          | 213 |
| A.3.1 | Généralités .....                                                                                                                                                        | 213 |
| A.3.2 | Doublet accordé.....                                                                                                                                                     | 214 |
| A.3.3 | Doublet raccourci.....                                                                                                                                                   | 214 |
| A.4   | Paramètres des antennes à large bande .....                                                                                                                              | 216 |
| A.4.1 | Généralités .....                                                                                                                                                        | 216 |
| A.4.2 | Type d'antenne .....                                                                                                                                                     | 216 |
| A.4.3 | Spécification de l'antenne .....                                                                                                                                         | 217 |
| A.4.4 | Etalonnage de l'antenne .....                                                                                                                                            | 217 |
| A.4.5 | Informations pour les utilisateurs de l'antenne .....                                                                                                                    | 217 |
|       | Annexe B (xxx) (Vide).....                                                                                                                                               | 219 |
|       | Annexe C (normative) Système d'antennes de grand diamètre pour les mesures du courant induit par un champ magnétique dans la gamme de fréquences de 9 kHz à 30 MHz ..... | 220 |
| C.1   | Généralités .....                                                                                                                                                        | 220 |
| C.2   | Construction d'un LLAS.....                                                                                                                                              | 220 |
| C.3   | Construction d'une antenne de grand diamètre (LLA).....                                                                                                                  | 220 |
| C.4   | Validation <del>d'une</del> du LLAS .....                                                                                                                                | 225 |
| C.5   | Construction de l'antenne doublet de vérification du LLAS .....                                                                                                          | 229 |
| C.6   | Facteurs de conversion.....                                                                                                                                              | 232 |
| C.6.1 | Généralités .....                                                                                                                                                        | 234 |
| C.6.2 | Facteurs de conversion actuels pour un LLAS de diamètre non normalisé.....                                                                                               | 234 |
| C.6.3 | Conversion du courant mesuré du LLAS en intensité du champ magnétique.....                                                                                               | 236 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| C.7 Exemples .....                                                                                                                                                                                                                                             | 238 |
| Annexe D (normative) Détails de construction des emplacements d'essai en zone dégagée dans la gamme de fréquences de 30 MHz à 1 000 MHz (voir Article 6).....                                                                                                  | 240 |
| D.1 Généralités .....                                                                                                                                                                                                                                          | 240 |
| D.2 Construction du plan de sol.....                                                                                                                                                                                                                           | 240 |
| D.2.1 Matériau .....                                                                                                                                                                                                                                           | 240 |
| D.2.2 Rugosité .....                                                                                                                                                                                                                                           | 240 |
| D.3 Servitudes de l'EUT .....                                                                                                                                                                                                                                  | 241 |
| D.4 Construction de l'enceinte de protection contre les intempéries .....                                                                                                                                                                                      | 241 |
| D.4.1 Matériaux et attaches .....                                                                                                                                                                                                                              | 241 |
| D.4.1 Montages internes .....                                                                                                                                                                                                                                  | 242 |
| D.4.2 Taille .....                                                                                                                                                                                                                                             | 242 |
| D.4.3 Stabilité dans le temps et aux conditions climatiques .....                                                                                                                                                                                              | 242 |
| D.5 Table tournante et table d'essai .....                                                                                                                                                                                                                     | 242 |
| D.6 Installation du mât de l'antenne de réception .....                                                                                                                                                                                                        | 243 |
| Annexe E (xxx) (Vide).....                                                                                                                                                                                                                                     | 244 |
| Annexe F (informative) Fondement du critère des $\pm 4$ dB pour l'acceptabilité d'un emplacement (voir Article 6) .....                                                                                                                                        | 245 |
| F.1 Généralités .....                                                                                                                                                                                                                                          | 245 |
| F.2 Analyse des erreurs .....                                                                                                                                                                                                                                  | 245 |
| Annexe G (informative) Exemples de bilans d'incertitude pour la validation d'emplacement d'un COMTS à l'aide de la RSM avec une paire d'antennes étalonnées (voir 6.6).....                                                                                    | 247 |
| G.1 Grandeurs à étudier pour l'étalonnage de l'affaiblissement de site de référence avec une paire d'antennes à l'aide de la technique de moyennage .....                                                                                                      | 247 |
| G.2 Grandeurs à étudier pour l'étalonnage de l'affaiblissement de site de référence avec une paire d'antennes à l'aide d'un REFTS.....                                                                                                                         | 248 |
| G.3 Grandeurs à étudier pour la validation du COMTS à l'aide de l'affaiblissement de site de référence avec une paire d'antennes .....                                                                                                                         | 249 |
| Annexe H Annexe H (informative) Définition de l'incertitude de mesure de la réponse de polarisation croisée .....                                                                                                                                              | 250 |
| H.1 Généralités .....                                                                                                                                                                                                                                          | 250 |
| H.2 Exemple d'estimation de l'incertitude .....                                                                                                                                                                                                                | 253 |
| H.3 Justification des estimations des grandeurs d'entrée données dans le Tableau H.1 et le Tableau H.3 .....                                                                                                                                                   | 254 |
| H.4 Mesurage de la XPR en dessous de 100 MHz sur un OATS.....                                                                                                                                                                                                  | 256 |
| Bibliographie.....                                                                                                                                                                                                                                             | 257 |
| Figure 1 – Représentation schématique du rayonnement de l'EUT atteignant une antenne LPDA directement et via réflexion sur le sol à un emplacement de 3 m, présentant la moitié de l'angle d'ouverture de faisceau, $\phi$ , au niveau du rayon réfléchi ..... | 142 |
| Figure 2 – Exemple de diagramme de rayonnement dans le plan E d'une antenne RX dans la zone limite grisée pour une distance de 3 m et un EUT d'une largeur de 2 m.....                                                                                         | 147 |
| Figure 3 – Détermination de la largeur maximale exploitable de l'EUT dans le cadre de l'utilisation de l'ouverture de faisceau à mi-puissance .....                                                                                                            | 148 |
| Figure 4 – Détermination de la hauteur maximale exploitable de l'EUT dans le cadre de l'utilisation de l'ouverture de faisceau à mi-puissance .....                                                                                                            | 148 |
| Figure 5 – Zone sans obstacle d'un emplacement d'essai équipé d'une table tournante .....                                                                                                                                                                      | 151 |
| Figure 6 – Zone sans obstacle avec EUT fixe .....                                                                                                                                                                                                              | 152 |

|                                                                                                                                                                                             |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figure 7 – Position des points d'essai pour un essai à des distances de 3 m et de 10 m .....                                                                                                | 161 |
| Figure 8 – Position des points d'essai appariés pour toutes les distances d'essai .....                                                                                                     | 163 |
| Figure 9 – Exemple de choix de points d'essai appariés pour un essai à une distance de 10 m .....                                                                                           | 164 |
| Figure 10 – Représentation d'une étude de l'influence du mât d'antenne sur $A_{APR}$ .....                                                                                                  | 164 |
| Figure 11 – Positions types des antennes pour un OATS protégé contre les intempéries ou une SAC – mesures de validation en polarisation verticale.....                                      | 168 |
| Figure 12 – Positions types des antennes pour un OATS protégé contre les intempéries ou une SAC – mesures de validation en polarisation horizontale.....                                    | 169 |
| Figure 13 – Positions types des antennes pour un OATS protégé contre les intempéries ou une SAC – mesures de validation en polarisation verticale pour un EUT de faibles dimensions .....   | 170 |
| Figure 14 – Positions types des antennes pour un OATS protégé contre les intempéries ou une SAC – mesures de validation en polarisation horizontale pour un EUT de faibles dimensions ..... | 171 |
| Figure 15 – Positions de mesure pour la validation d'emplacement d'une FAR.....                                                                                                             | 174 |
| Figure 16 – Exemple de position de mesure et d'inclinaison d'antenne pour la validation d'emplacement d'une FAR .....                                                                       | 176 |
| Figure 17 – Montage de mesure du SA de référence type pour un emplacement d'essai en quasi espace libre .....                                                                               | 179 |
| Figure 18 – NSA théorique en espace libre en fonction de la fréquence pour différentes distances de mesure [voir Equation (16)] .....                                                       | 181 |
| Figure 19 – Position de l'antenne par rapport au bord au-dessus d'une table d'essai rectangulaire (vue de dessus).....                                                                      | 184 |
| Figure 20 – Position de l'antenne au-dessus de la table d'essai (vue de côté) .....                                                                                                         | 184 |
| Figure 21 – Exemple de diagramme de rayonnement dans le plan E d'une antenne d'émission (à titre informatif uniquement).....                                                                | 188 |
| Figure 22 – Diagramme de rayonnement dans le plan H d'une antenne d'émission (exemple donné à titre informatif uniquement) .....                                                            | 189 |
| Figure 23 – Positions de mesure de $S_{VSWR}$ dans un plan horizontal (voir description en 7.5.2) .....                                                                                     | 191 |
| Figure 24 – Positions de $S_{VSWR}$ (exigences de hauteur).....                                                                                                                             | 193 |
| Figure 25 – Exigences concernant la position conditionnelle des mesures de $S_{VSWR}$ .....                                                                                                 | 199 |
| Figure 26 – Définition des plans de référence à l'intérieur du montage d'essai.....                                                                                                         | 202 |
| Figure 27 – Les quatre configurations pour l'étalonnage TRL .....                                                                                                                           | 204 |
| Figure 28 – Limites pour l'amplitude de $S_{11}$ , mesurée selon les dispositions de 8.1 à 8.3 .....                                                                                        | 205 |
| Figure 29 – Exemple de conception d'adaptateur 50 $\Omega$ dans le flasque vertical du montage .....                                                                                        | 206 |
| Figure 30 – Exemple d'adaptateur avec symétriseur ou transformateur.....                                                                                                                    | 207 |
| Figure 31 – Exemple d'adaptateur avec réseau d'adaptation résistif .....                                                                                                                    | 207 |
| Figure 32 – Exemple d'agitateur à aubes type.....                                                                                                                                           | 209 |
| Figure 33 – Gamme d'affaiblissement de couplage en fonction de la fréquence pour une chambre utilisant l'agitateur de la Figure 32 .....                                                    | 210 |
| Figure A.1 – Facteurs d'antenne des doublets courts pour $R_L = 50 \Omega$ .....                                                                                                            | 215 |
| Figure C.1 – LLAS constitué de trois antennes de grand diamètre mutuellement perpendiculaires .....                                                                                         | 222 |

|                                                                                                                                                                                                                                                          |                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| Figure C.2 – LLA comportant deux fentes opposées, positionnées symétriquement par rapport à la sonde de courant .....                                                                                                                                    | 223            |
| Figure C.3 – Construction de la fente de LLA.....                                                                                                                                                                                                        | 223            |
| Figure C.4 – Exemple de construction de fente de LLA utilisant une bande de circuit imprimé pour obtenir une construction rigide.....                                                                                                                    | 224            |
| Figure C.5 – Construction du boîtier métallique renfermant la sonde de courant .....                                                                                                                                                                     | 224            |
| Figure C.6 – Exemple montrant le cheminement de plusieurs câbles de l'EUT afin de réduire le plus possible le couplage capacitif entre les conducteurs et le LLAS.....                                                                                   | 225            |
| Figure C.7 – Les huit positions du doublet de vérification du LLAS durant la validation d'une LLA .....                                                                                                                                                  | 227            |
| Figure C.8 – Facteurs de validation <del>d'une LLA de 2 m de diamètre</del> de référence pour des boucles de 2 m, 3 m et 4 m de diamètre .....                                                                                                           | 228            |
| Figure C.9 – Construction de l'antenne doublet de vérification du LLAS.....                                                                                                                                                                              | 231            |
| <del>Figure C.10 – Facteurs de conversion <math>C_{dA}</math> [pour la conversion en dB(<math>\mu A/m</math>)] et <math>C_{dV}</math> [pour la conversion en dB(<math>\mu V/m</math>)] pour deux distances de mesure normales <math>d</math> .....</del> | <del>235</del> |
| <del>Figure C.11 – Sensibilité <math>S_D</math> d'une antenne de grand diamètre d'un diamètre <math>D</math> par rapport à une antenne de grand diamètre ayant un diamètre de 2 m .....</del>                                                            | <del>237</del> |
| Figure C.10 – Sensibilité $S_D$ d'une LLA de diamètre $D$ par rapport à une LLA de 2 m de diamètre .....                                                                                                                                                 | 235            |
| Figure C.11 – Facteur de conversion $C_{dA}$ [pour la conversion en dB ( $\mu A/m$ )] pour trois distances de mesure normalisées $d$ .....                                                                                                               | 237            |
| Figure D.1 – Critère de Rayleigh pour la rugosité du plan de sol.....                                                                                                                                                                                    | 241            |
| Tableau 1 – Méthodes de validation d'emplacement applicables pour les emplacements de type OATS, à base d'OATS, SAC et FAR.....                                                                                                                          | 154            |
| Tableau 2 – Affaiblissement normalisé théorique de l'emplacement, $A_N$ – Géométries recommandées pour les antennes à large bande <sup>a</sup> (1 de 2) .....                                                                                            | 157            |
| Tableau 3 – Exemple de modèle pour les ensembles de données $A_{APR}$ .....                                                                                                                                                                              | 160            |
| Tableau 4 – Pas de fréquence de la RSM .....                                                                                                                                                                                                             | 160            |
| Tableau 5 – Dimensions maximales du volume d'essai en fonction de la distance d'essai .....                                                                                                                                                              | 172            |
| Tableau 6 – Gammes de fréquences et pas pour la validation d'emplacement d'une FAR.....                                                                                                                                                                  | 177            |
| Tableau 7 – Désignations des positions de mesure de $S_{VSWR}$ (1 de 3) .....                                                                                                                                                                            | 194            |
| Tableau 8 – Exigences concernant les rapports de $S_{VSWR}$ .....                                                                                                                                                                                        | 200            |
| Tableau C.1 – Facteurs de validation de référence de la Figure C.8 pour des boucles de 2 m, 3 m et 4 m de diamètre .....                                                                                                                                 | 229            |
| Tableau C.2 – Sensibilité $S_D$ d'une LLA de diamètre $D$ par rapport à une LLA de 2 m de diamètre (Figure C.10).....                                                                                                                                    | 236            |
| Tableau C.3 – Facteur de conversion de l'intensité du champ magnétique $C_{dA}$ pour trois distances de mesure (Figure C.11).....                                                                                                                        | 238            |
| Tableau D.1 – Rugosité maximale pour des distances de mesure de 3 m, 10 m et 30 m .....                                                                                                                                                                  | 241            |
| Tableau F.1 – Bilan d'erreur.....                                                                                                                                                                                                                        | 245            |
| Tableau G.1 – Etalonnage de l'affaiblissement de site de référence avec une paire d'antennes à l'aide de la technique de moyennage sur un OATS de grandes dimensions .....                                                                               | 247            |
| Tableau G.2 – Etalonnage de l'affaiblissement de site de référence avec une paire d'antennes à l'aide du REFTS .....                                                                                                                                     | 248            |

|                                                                                                                                                                               |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tableau G.3 – Validation du COMTS à l'aide de l'affaiblissement de site de référence avec une paire d'antennes .....                                                          | 249 |
| Tableau H.1 – Exemple d'estimation de l'incertitude pour le mesurage de la XPR dans une FAR avec des valeurs $a_{xpT} = 22$ dB, $a_{xpR} = 34$ dB définies par hypothèse..... | 254 |
| Tableau H.2 – Incertitudes dépendant des autres valeurs de $A_{xpT}$ (autres hypothèses que celles retenues dans le Tableau H.1) .....                                        | 256 |
| Tableau H.3 – Exemple d'estimation de l'incertitude pour un mesurage de la XPR sur un OATS avec des valeurs $a_{xpT} = 22$ dB, $a_{xpR} = 34$ dB définies par hypothèse ..... | 256 |

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of CISPR 16-1-4:2019+AMD1:2020 CSV

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE  
COMITÉ INTERNATIONAL SPÉCIAL DES PERTURBATIONS RADIOÉLECTRIQUES

**SPÉCIFICATIONS DES MÉTHODES ET DES APPAREILS DE MESURE  
DES PERTURBATIONS RADIOÉLECTRIQUES ET DE L'IMMUNITÉ  
AUX PERTURBATIONS RADIOÉLECTRIQUES –**

**Partie 1-4: Appareils de mesure des perturbations radioélectriques  
et de l'immunité aux perturbations radioélectriques –  
Antennes et emplacements d'essai pour les mesures  
des perturbations rayonnées**

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, l'IEC – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de l'IEC"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à l'IEC, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de l'IEC, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

**Cette version consolidée de la Norme IEC officielle et de son amendement a été préparée pour la commodité de l'utilisateur.**

**La CISPR 16-1-4 édition 4.1 contient la quatrième édition (2019-01) [documents CIS/A/1262/FDIS et CIS/A/1275/RVD] et son amendement 1 (2020-06) [documents CIS/A/1316/FDIS et CIS/A/1320/RVD].**



**Dans cette version Redline, une ligne verticale dans la marge indique où le contenu technique est modifié par l'amendement 1. Les ajouts sont en vert, les suppressions sont en rouge, barrées. Une version Finale avec toutes les modifications acceptées est disponible dans cette publication.**

Cette édition constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente:

- des dispositions ont été ajoutées pour traiter la validation des emplacements d'essai dans la gamme de fréquences de 30 MHz à 1 000 MHz en utilisant la méthode de site de référence, pour tenir compte du diagramme de rayonnement de l'antenne de réception dans la gamme de fréquences de 1 GHz à 18 GHz, ainsi qu'une description plus détaillée de la validation des emplacements d'essai par la méthode du NSA avec des antennes à large bande dans la plage de fréquences de 30 MHz à 1 000 MHz.

La Norme internationale CISPR 16-1-4 a été établie par le sous-comité CISPR A: Mesures des perturbations radioélectriques et méthodes statistiques.

Elle a le statut d'une publication fondamentale en CEM conformément au Guide IEC 107, *Compatibilité électromagnétique – Guide pour la rédaction des publications sur la compatibilité électromagnétique*.

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série CISPR 16, publiées sous le titre général *Spécifications des méthodes et des appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

Le comité a décidé que le contenu de la publication de base et de son amendement ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

- reconduite,
- supprimée,
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

**IMPORTANT – Le logo "colour inside" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante couleur.**



## **SPÉCIFICATIONS DES MÉTHODES ET DES APPAREILS DE MESURE DES PERTURBATIONS RADIOÉLECTRIQUES ET DE L'IMMUNITÉ AUX PERTURBATIONS RADIOÉLECTRIQUES –**

### **Partie 1-4: Appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Antennes et emplacements d'essai pour les mesures des perturbations rayonnées**

#### **1 Domaine d'application**

La présente partie de la CISPR 16 spécifie les caractéristiques et les performances des appareils de mesure de perturbations rayonnées dans la gamme de fréquences de 9 kHz à 18 GHz. Elle comprend les spécifications pour les antennes et les emplacements d'essai.

NOTE Conformément au Guide 107 de l'IEC, la CISPR 16-1-4 est une publication fondamentale en CEM destinée à être utilisée par les comités de produits de l'IEC. Comme indiqué dans le Guide 107, les comités de produits ont la responsabilité de déterminer s'il convient d'appliquer ou non cette norme d'essai en CEM. Le CISPR et ses sous-comités sont prêts à coopérer avec les comités de produits à l'évaluation de la valeur des essais d'immunité particuliers pour leurs produits.

Les exigences de cette publication s'appliquent à toutes les fréquences et à tous niveaux de perturbation rayonnée, dans les limites de la plage de lecture des appareils de mesure du CISPR.

Les méthodes de mesure sont traitées dans la Partie 2-3, des informations supplémentaires sur les perturbations radioélectriques sont données dans la Partie 3 et les incertitudes, les statistiques et la modélisation des limites sont couvertes par la Partie 4 de la CISPR 16.

#### **2 Références normatives**

Les documents suivants cités dans le texte constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CISPR 16-1-1, *Spécifications des méthodes et des appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Partie 1-1: Appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Appareils de mesure*

CISPR 16-1-5:2014, *Spécifications des méthodes et des appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Partie 1-5: Appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Emplacements d'étalonnage d'antenne et emplacements d'essai de référence pour la plage comprise entre 5 MHz et 18 GHz*  
CISPR 16-1-5:2014/AMD1:2016

CISPR 16-1-6:2014, *Spécifications des méthodes et des appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Partie 1-6: Appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Etalonnage des antennes CEM*  
CISPR 16-1-6:2014/AMD1:2016

CISPR 16-2-3:2016, *Spécifications des méthodes et des appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Partie 2-3: Méthodes de mesure des perturbations et de l'immunité – Mesures des perturbations rayonnées*

CISPR TR 16-3, *Spécifications des méthodes et des appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Partie 3: Rapports techniques du CISPR*

CISPR 16-4-2, *Spécifications des méthodes et des appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Partie 4-2: Incertitudes, statistiques et modélisation des limites – Incertitudes de mesure CEM*

IEC 60050-161, *Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) – Chapitre 161: Compatibilité électromagnétique*

### 3 Termes, définitions et termes abrégés

Pour les besoins du présent document, les termes, les définitions et les termes abrégés dans CISPR 16-1-1, de la CISPR 16-1-5, de l'IEC 60050-161 ainsi que les suivants, s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <http://www.iso.org/obp>

#### 3.1 Termes et définitions

##### 3.1.1 antenne

transducteur qui convertit l'énergie électromagnétique guidée de la ligne d'alimentation en onde rayonnée, et inversement

Note 1 à l'article: Dans le contexte du présent document, s'agissant des antennes pour lesquelles un symétriseur est intrinsèque au fonctionnement de l'antenne, le terme "antenne" inclut le symétriseur.

##### 3.1.2 facteur d'antenne FA

$F_a$   
rapport entre l'intensité du champ électrique d'une onde plane incidente provenant de la direction correspondant à l'axe mécanique (c'est-à-dire l'axe principal de l'antenne) et la tension induite sur une charge spécifiée connectée à l'antenne, mesurée dans un environnement en espace libre

Note 1 à l'article: L'abréviation FA est utilisée comme terme général pour indiquer le facteur d'antenne, alors que  $F_a$  indique le FA de l'axe dans l'espace libre. Le FA est affecté par l'impédance de charge (en général de 50  $\Omega$ ) connectée à l'antenne et dépend de la fréquence. Pour une antenne biconique, cette impédance pourrait atteindre 200  $\Omega$ . L'impédance des antennes sans symétriseur est égale à l'impédance de charge (généralement de 50  $\Omega$ ). Le FA peut être affecté par le couplage mutuel de l'antenne au plan de sol et dépend de la directivité. Pour plus de détails, voir les définitions et 4.2 de la CISPR 16-1-6:2014.

Note 2 à l'article: La dimension physique du FA est  $m^{-1}$  et les données mesurées sont normalement exprimées en dB par rapport à 1/m [ $dB(m^{-1})$ ]. Dans les mesures des perturbations rayonnées, si  $F_a$  est connu, le champ incident,  $E$ , peut être estimé à partir d'un relevé,  $V$ , d'un récepteur de mesure connecté à l'antenne comme suit:

$$E = V + F_a$$

où  $E$  est exprimé en  $dB(\mu V/m)$ ,  $V$  en  $dB(\mu V)$  et  $F_a$  en  $dB(m^{-1})$ .

### 3.1.3

#### **affaiblissement de site de référence avec une paire d'antennes**

$A_{APR}$

ensemble de résultats de mesure d'affaiblissement de site correspondant aux polarisations verticale et horizontale, obtenu avec une paire d'antennes séparées par une distance définie sur un emplacement d'essai en espace libre idéal, une antenne se trouvant à une hauteur fixe spécifiée au-dessus du plan de sol et l'autre antenne balayant une plage de hauteur spécifiée où la perte d'insertion minimum est enregistrée

Note 1 à l'article:  $A_{APR}$  est une grandeur d'influence pour le calcul d'incertitude des mesures de validation d'emplacement par la méthode RSM.

Note 2 à l'article: Les mesures de  $A_{APR}$  sont comparées aux mesures d'affaiblissement de site correspondantes d'un emplacement d'essai de conformité (COMTS) pour évaluer les performances de ce COMTS.

### 3.1.4

#### **point de référence de l'antenne**

point médian d'une antenne à partir duquel est mesurée la distance entre cette antenne et l'appareil en essai (EUT) ou la deuxième antenne

Note 1 à l'article: Le point de référence de l'antenne est défini soit par le fabricant, à l'aide d'un repère sur les antennes LPDA, soit par le laboratoire d'étalonnage.

### 3.1.5

#### **symétriseur**

dispositif permettant de transformer une ligne de transmission non symétrique en une ligne de transmission symétrique, et inversement

Note 1 à l'article: Un symétriseur est utilisé, par exemple, pour coupler des éléments d'antenne symétriques à une ligne d'alimentation non symétrique (un câble coaxial, par exemple). Un symétriseur peut donner une transformation d'impédance inhérente différente de l'unité.

### 3.1.6

#### **emplacement d'essai pour l'étalonnage**

CALTS

emplacement d'essai en espace libre à plan de sol métallique présentant un affaiblissement de site en polarisation horizontale du champ électrique très précisément spécifié

Note 1 à l'article: Un CALTS est utilisé pour déterminer le facteur d'antenne en espace libre d'une antenne.

Note 2 à l'article: L'abréviation "CALTS" est dérivée du terme anglais développé correspondant "CALibration Test Site".

### 3.1.7

#### **dispositif d'absorption en mode commun**

CMAD

dispositif qui peut être appliqué sur des câbles à leur sortie du volume d'essai au cours des mesures des perturbations rayonnées pour réduire l'incertitude de conformité

Note 1 à l'article: L'abréviation "CMAD" est dérivée du terme anglais développé correspondant "Common Mode Absorption Device".

### 3.1.8

#### **emplacement d'essai de conformité**

COMTS

environnement qui garantit des résultats de mesure valides et reproductibles des perturbations en champ électrique produites par des appareils en essai afin d'évaluer leur conformité à des limites

Note 1 à l'article: L'abréviation "COMTS" est dérivée du terme anglais développé correspondant "COMpliance Test Site".

### 3.1.9

#### **réponse en polarisation croisée**

##### **XPR**

mesure de la réjection par l'antenne du champ à polarisation croisée lorsque l'antenne subit une rotation dans un champ électromagnétique à polarisation linéaire de phase et d'amplitude uniformes au-dessus de l'ouverture de l'antenne en essai

Note 1 à l'article: L'abréviation "XPR" est dérivée du terme anglais développé correspondant "cross-Polar Response".

### 3.1.10

#### **volume d'EUT**

cylindre défini par le diamètre et la hauteur limites de l'EUT et qui inclut entièrement toutes les parties de l'EUT réel, y compris les chemins de câbles et 1,6 m de longueur de câble (30 MHz à 1 GHz) et 0,3 m de longueur de câble (1 GHz et plus)

Note 1 à l'article: Le volume d'essai fait partie des nombreux critères limitatifs du volume d'EUT (voir CISPR 16-2-3).

Note 2 à l'article: Le diamètre du volume d'EUT est  $D$  (diamètre limite) et sa hauteur est  $h$ .

### 3.1.11

#### **enceinte complètement anéchoïque**

##### **FAR**

enceinte dont les six surfaces internes sont tapissées par un matériau absorbant l'énergie des radiofréquences (c'est-à-dire un absorbant RF) qui atténue l'énergie électromagnétique dans la gamme de fréquences concernée

Note 1 à l'article: Pour la mesure des perturbations rayonnées en général, il convient de construire la FAR à l'intérieur d'une enceinte blindée.

Note 2 à l'article: L'abréviation "FAR" est dérivée du terme anglais développé correspondant "Fully-Anechoic Room".

### 3.1.12

#### **antenne hybride**

antenne composée d'une section de réseau de doublets log-périodiques (LPDA) à élément filaire et d'un doublet à large bande

Note 1 à l'article: L'élément le plus long de la section LPDA est en général résonant à environ 200 MHz, et le bras est rallongé à l'extrémité du circuit ouvert pour alimenter la section de doublet à large bande raccordée (biconique ou en forme de nœud papillon, par exemple). Dans la gamme comprise entre 30 MHz et 200 MHz, le doublet à large bande donne des performances analogues à celles d'une antenne biconique, notamment dans la variation du facteur d'antenne en fonction de la hauteur.

Note 2 à l'article: Une inductance à noyau commun est en général utilisée à l'extrémité du circuit ouvert (c'est-à-dire à l'arrière) du bras pour réduire le plus possible les courants RF parasites (non voulus) sur le conducteur extérieur du câble coaxial qui pénètrent dans le récepteur de mesure.

### 3.1.13

#### **emplacement d'essai en espace libre idéal**

emplacement d'essai en espace libre ayant un plan de sol parfaitement plat, parfaitement conducteur et de surface infinie, et ne comportant pas d'objet réfléchissant à l'exception du plan de sol

Note 1 à l'article: Un emplacement d'essai en espace libre (OATS) idéal est un concept théorique qui est utilisé dans la définition du mesurande  $A_{APR}$  et dans le calcul de l'affaiblissement normalisé théorique  $A_N$  des sites à plan de sol.

### 3.1.14

#### **perte d'insertion**

perte due à l'insertion d'un dispositif dans une ligne de transmission, exprimée comme le rapport des tensions immédiatement avant et après le point d'insertion d'un dispositif en essai, avant et après l'insertion

Note 1 à l'article: La perte d'insertion est égale à l'inverse du paramètre  $S$  de transmission,  $|1/S_{21}|$ .

### 3.1.15

#### antenne à faible incertitude

antenne biconique ou LPDA robuste satisfaisant aux exigences de performance d'équilibrage et de XPR du présent document et dont le facteur d'antenne a une incertitude meilleure que 0,5 dB, utilisée pour la mesure de l'intensité du champ électrique en un point défini de l'espace

Note 1 à l'article: Les antennes à faible incertitude sont décrites de manière plus détaillée en A.2.3.

### 3.1.16

#### axe de visée mécanique

sens de l'axe de visée

axe de visée

direction du faisceau principal définie par les propriétés géométriques de l'antenne

Note 1 à l'article: Pour les antennes CEM, la direction du signal maximal est habituellement: a) confondue avec la direction qui correspond à l'axe longitudinal mécanique des antennes LPDA; b) orthogonale aux éléments des antennes monopôles, doublets et biconiques, c) orthogonale à l'ouverture avant des antennes cornets. Dans chacun de ces cas, la ligne orthogonale est confondue avec l'axe de l'antenne.

### 3.1.17

#### niveau zéro

minimum d'un niveau de signal résultant de la somme vectorielle des signaux directs et des signaux réfléchis sur le plan de masse à l'antenne de réception, ce niveau étant bien inférieur à la somme de ces signaux en phase

Note 1 à l'article: La profondeur d'un niveau zéro est mesurée à partir de la somme en phase des signaux directs et des signaux réfléchis sur le plan de masse. Le signal reçu est nul lorsque les antennes se situent au-dessus d'un plan de masse de référence à des hauteurs telles que les signaux directs et les signaux réfléchis sur le plan de masse sont en opposition de phase, ce qui peut entraîner des incertitudes importantes dans le calcul de la mesure du champ électrique. Un niveau zéro s'étend de 90° à 180° à l'extérieur de la phase. A 90°, la profondeur de niveau zéro est d'environ 6 dB. La profondeur est comparée au signal maximal contigu le plus proche dans la réponse à balayage de fréquence (ou balayage en hauteur d'une antenne à une fréquence fixe).

Note 2 à l'article: L'inclinaison du niveau de signal sur l'axe de visée pour certaines antennes DRH est parfois appelée niveau zéro. Cette définition ne s'applique pas à ce type d'inclinaison.

Note 3 à l'article: L'IEC 60050-726:1982, 726-02-07 définit le nœud (d'une onde stationnaire) comme étant lieu des points d'un milieu de propagation où, lorsque deux ondes produisent une onde stationnaire, la somme vectorielle des valeurs, pour ces deux ondes, d'une même grandeur de champ spécifiée a un module minimal.

### 3.1.18

#### site d'essai en quasi espace libre

installation pour les mesures des perturbations rayonnées, destinée à réaliser des conditions d'espace libre

Note 1 à l'article: Les réflexions indésirables provenant de l'environnement sont maintenues à un niveau minimal afin de satisfaire au critère d'acceptation de site applicable à la mesure des perturbations rayonnées prise en compte.

### 3.1.19

#### emplacement d'essai de référence

REFTS

emplacement d'essai en espace libre à plan de sol métallique présentant un affaiblissement de site en polarisation horizontale et verticale du champ électrique très précisément spécifié

Note 1 à l'article: Les mesures d'affaiblissement d'emplacement d'un REFTS sont utilisées pour la comparaison avec les mesures correspondantes d'affaiblissement d'emplacement d'un emplacement d'essai de conformité, afin d'évaluer les performances de l'emplacement d'essai de conformité.

Note 2 à l'article: L'abréviation "REFTS" est dérivée du terme anglais développé correspondant "REference Test Site".

**3.1.20****coefficient de réflexion**

rapport d'une grandeur commune entre ondes progressives réfléchies et incidentes

Note 1 à l'article: Ainsi, le coefficient de réflexion en tension est défini comme le rapport de la tension complexe de l'onde réfléchie sur la tension complexe de l'onde incidente. Le coefficient de réflexion en tension est égal au paramètre de dispersion  $S_{11}$ .

**3.1.21****antenne doublet résonante**

antenne doublet accordée

antenne composée de deux conducteurs droits et colinéaires de même longueur, placés bout à bout, séparés par un petit espacement composant une alimentation équilibrée, chacun des conducteurs ayant une longueur d'environ un quart de longueur d'onde de telle sorte qu'à la fréquence spécifiée, l'impédance d'entrée de l'antenne mesurée de part et d'autre de l'espacement présente une réactance nulle quand le doublet est situé en espace libre

**3.1.22****paramètres de dispersion**

paramètres  $S$

jeu de quatre paramètres utilisés pour décrire les propriétés d'un réseau à deux accès inséré dans une ligne de transmission

**3.1.23****chambre semi-anéchoïque**

SAC

enceinte protégée dans laquelle cinq des six surfaces intérieures sont garnies d'un matériau absorbant l'énergie aux fréquences radioélectriques (c'est-à-dire un absorbeur RF) qui absorbe l'énergie électromagnétique dans la gamme de fréquences concernée et dont la surface horizontale inférieure est un plan de sol conducteur destiné à être utilisé avec un équipement d'essai OATS

Note 1 à l'article: L'abréviation "SAC" est dérivée du terme anglais développé correspondant "Semi-Anechoic Chamber".

**3.1.24****méthode d'étalonnage "short-open-load-through"**

SOLT

méthode d'étalonnage "through-open-short-match"

TOSM

méthode d'étalonnage pour analyseur de réseau vectoriel utilisant trois impédances de référence connues – court-circuit, circuit ouvert, et charge adaptée, et une norme de transmission unique – connexion directe

Note 1 à l'article: La méthode SOLT est largement utilisée et les kits d'étalonnage nécessaires avec des composants d'impédance caractéristique de  $50 \Omega$  sont très répandus. Un modèle complet de correction d'erreur pour deux accès comprend six termes d'erreur pour chacune des voies, transmission et réflexion, soient douze termes d'erreur distincts au total, ce qui exige douze mesures de référence pour réaliser l'étalonnage.

Note 2 à l'article: L'abréviation "SOLT" est dérivée du terme anglais développé correspondant "short-open-load-through".

Note 3 à l'article: L'abréviation "TOSM" est dérivée du terme anglais développé correspondant "through-open-short-match".

**3.1.25****affaiblissement de l'emplacement**

SA

$A_s$

perte d'insertion d'emplacement minimale mesurée entre deux antennes adaptées en polarisation situées à un emplacement d'essai lorsqu'une antenne est déplacée verticalement sur une plage de hauteurs spécifiée et que l'autre est placée à une hauteur fixe

Note 1 à l'article: Les termes "perte d'insertion de l'emplacement" (voir 3.1.26) et "affaiblissement de l'emplacement" décrivent essentiellement la même mesure. Toutefois, le terme "affaiblissement de l'emplacement" (SA) est utilisé dans le cadre d'une recherche d'une "perte d'insertion de l'emplacement" (SIL) minimal entre une paire d'antennes lorsqu'une antenne a été analysée à une certaine hauteur au-dessus du plan de sol.

Note 2 à l'article: L'abréviation "SA" est dérivée du terme anglais développé correspondant "Site Attenuation".

### 3.1.26

#### perte d'insertion de l'emplacement

SIL

$A_i$

perte de transmission entre deux antennes adaptées en polarisation lorsqu'une connexion électrique directe entre la sortie du générateur de signal et l'entrée du récepteur de mesure est remplacée par une antenne d'émission et une antenne de réception placées aux positions spécifiées sur un emplacement d'essai

Note 1 à l'article: L'abréviation "SIL" est dérivée du terme anglais développé correspondant "Site Insertion Loss".

### 3.1.27

#### volume d'essai

volume validé à l'intérieur d'un dispositif d'essai dans lequel un EUT (appareil en essai) peut être placé

Note 1 à l'article: Les procédures de validation fournies dans le présent document permettent de déterminer le volume d'essai.

Note 2 à l'article: Le volume d'essai tel qu'il est défini dans le présent document est de forme cylindrique. Des formes différentes ont été définies dans d'autres documents, par exemple une forme cubique dans l'IEC 61000-4-20 [22] (guides d'onde TEM).

### 3.1.28

#### étalonnage "through-reflect-line" (TRL)

méthode d'étalonnage pour un analyseur de réseau vectoriel utilisant trois références d'impédance connues "de transmission", "de réflexion" et "de ligne" pour l'étalonnage interne ou externe du VNA (analyseur de réseau vectoriel)

Note 1 à l'article: Quatre mesures de référence sont nécessaires pour cet étalonnage.

Note 2 à l'article: L'abréviation "TRL" est dérivée du terme anglais développé correspondant "through-reflect-line".

### 3.1.29

#### analyseur de réseau vectoriel

VNA

analyseur de réseau capable de mesurer des valeurs complexes des quatre paramètres  $S_{11}$ ,  $S_{12}$ ,  $S_{21}$ ,  $S_{22}$

Note 1 à l'article: L'abréviation "VNA" est dérivée du terme anglais développé correspondant "Vector Network Analyzer".

## 3.2 Termes abrégés

La liste suivante définit les abréviations utilisées dans le présent document qui ne sont pas déjà définies en 3.1.

|        |                                                                       |
|--------|-----------------------------------------------------------------------|
| AUT    | antenna under test (antenne en essai)                                 |
| DRH    | double ridged horn (cornet à double strie)                            |
| EUT    | equipment under test (matériel en essai)                              |
| FSOATS | free-space OATS (emplacement d'essai en zone dégagée en espace libre) |
| PH     | polarisation horizontale                                              |



|            |                                                                                              |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| LLA        | large-loop antenna (antenne de grand diamètre)                                               |
| LLAS       | large-loop antenna system (système de grande antenne-cadre)                                  |
| LPDA       | log-periodic dipole array (réseau de doublets log-périodiques)                               |
| NSA        | normalised site attenuation (affaiblissement normalisé de l'emplacement)                     |
| OATS       | open-area test site (emplacement d'essai en espace libre)                                    |
| PDF        | probability density function (fonction de densité de probabilité)                            |
| RF         | radiofréquence                                                                               |
| RSM        | reference site method (méthode de site de référence)                                         |
| RX         | receive (réception)                                                                          |
| $S_{VSWR}$ | site voltage standing wave ratio (rapport d'ondes stationnaires en tension de l'emplacement) |
| TX         | transmit (émission)                                                                          |
| VP         | vertical polarization (polarisation verticale)                                               |
| ROS        | rapport d'ondes stationnaires en tension                                                     |
| XP         | cross polarization (polarisation croisée)                                                    |

## 4 Antennes pour la mesure des perturbations radioélectriques rayonnées

### 4.1 Généralités

Des antennes du type de celles qui sont utilisées pour les mesures des perturbations rayonnées, ayant été étalonnées, doivent être utilisées pour mesurer le champ, en tenant compte de leurs diagrammes de rayonnement et du couplage mutuel avec leurs environnements. L'antenne et les circuits insérés entre elle et le récepteur de mesure ne doivent pas affecter de manière appréciable les caractéristiques globales du récepteur de mesure. Lorsque l'antenne est connectée au récepteur de mesure, le système de mesure doit être conforme aux exigences de bande passante de la CISPR 16-1-1 pour la bande de fréquences concernée.

L'antenne doit être polarisée linéairement. Elle doit être orientable de façon à pouvoir effectuer la mesure du rayonnement incident suivant toutes les directions de polarisation. La hauteur du centre de l'antenne au-dessus du sol ou au-dessus de l'absorbant dans une FAR peut devoir être réglable pour répondre à une procédure de mesure spécifique.

La précision de mesure de champ d'un champ uniforme d'un signal sinusoïdal doit être meilleure que  $\pm 3$  dB lorsqu'on utilise une antenne conforme aux exigences du présent paragraphe avec un récepteur de mesure conforme aux exigences de la CISPR 16-1-1.

NOTE Cette exigence ne comprend pas l'influence de l'emplacement d'essai.

Voir Annexe A pour plus d'informations sur les paramètres des antennes à large bande.



## 4.2 Paramètre physique (mesurande) pour les mesures des perturbations rayonnées

Le paramètre physique, pour les mesures des perturbations rayonnées faites par rapport à une limite de perturbation exprimée en volts par mètre est l'intensité du champ électrique mesuré en un point défini de l'espace par rapport à la position de l'appareil en essai (EUT). De manière plus spécifique, pour les mesures dans la gamme de fréquences de 30 MHz à 1 000 MHz sur un emplacement d'essai en zone dégagée (OATS) ou dans une chambre semi-anéchoïque (SAC), la grandeur à mesurer est le champ maximal en fonction des polarisations horizontale et verticale et à des hauteurs comprises entre 1 m et 4 m, et à une distance horizontale de 10 m de l'EUT, tandis que l'EUT subit une rotation selon tous les angles du plan azimutal.

## 4.3 Antennes pour la plage de fréquences comprises entre 9 kHz et 150 kHz

### 4.3.1 Généralités

L'expérience a montré que, dans cette gamme de fréquences, c'est la composante magnétique du champ qui est à l'origine de la plupart des perturbations observées.

### 4.3.2 Antenne à champ magnétique

Pour la mesure de la composante magnétique du rayonnement, une antenne cadre blindée électriquement de dimensions telles que l'antenne puisse s'inscrire entièrement dans un carré de 60 cm de côté, ou bien une antenne appropriée à bâtonnets de ferrite, peut être utilisée.

L'unité de champ magnétique est le  $\mu\text{A/m}$ . En unités logarithmiques,  $H$  est exprimé en dB ( $\mu\text{A/m}$ ), soit 20 fois le logarithme du niveau de champ mesuré. La limite de perturbation associée doit être exprimée dans les mêmes unités.

NOTE Des mesures directes de la composante magnétique du champ rayonné, en dB ( $\mu\text{A/m}$ ) ou en  $\mu\text{A/m}$ , peuvent être effectuées dans toutes les conditions, c'est-à-dire en champ proche ou en champ lointain. Toutefois, de nombreux récepteurs de mesure de champ sont étalonnés par rapport au champ électrique équivalent pour une onde plane en dB ( $\mu\text{V/m}$ ), c'est-à-dire en prenant pour hypothèse un rapport des composantes  $E$  et  $H$  de  $120 \pi \Omega$  ou  $377 \Omega$ . Les calculs de  $H$  sont les suivants:

$$H = \frac{E}{377 \Omega} \quad (1)$$

où  $H$  est généralement exprimé en  $\mu\text{A/m}$  et  $E$  en  $\mu\text{V/m}$ .

Pour les mesures en dB:

$$H = E - 51,5 \quad (2)$$

où  $H$  est exprimé en dB ( $\mu\text{A/m}$ ) et  $E$  en dB ( $\mu\text{V/m}$ ).

L'impédance utilisée dans les conversions ci-dessus,  $Z = 377 \Omega$ , avec  $20 \lg Z = 51,5 \text{ dB}(\Omega)$ , est une constante provenant de l'étalonnage des appareils de mesure de champ indiquant le champ magnétique en  $\mu\text{V/m}$  (ou en dB( $\mu\text{V/m}$ )).

### 4.3.3 Blindage de l'antenne cadre

Un blindage inapproprié d'une antenne cadre peut donner lieu à une réponse de champ électrique. La discrimination du champ électrique de l'antenne doit être évaluée par une rotation de l'antenne dans un champ uniforme, de manière que le plan du cadre reste parallèle au vecteur du champ électrique. Lorsque le plan de l'antenne cadre est perpendiculaire au flux magnétique et qu'ensuite l'antenne subit une rotation de manière que son plan soit parallèle au flux magnétique, la réponse mesurée doit décroître d'au moins 20 dB.

#### 4.4 Antennes pour la plage de fréquences comprises entre 150 kHz et 30 MHz

##### 4.4.1 Antenne à champ électrique

Pour la mesure de la composante électrique du rayonnement, une antenne symétrique ou dissymétrique peut être utilisée. Si une antenne dissymétrique est utilisée, la mesure se rapporte uniquement à l'effet du champ électrique sur une antenne unipolaire (fouet). Le type d'antenne utilisé doit être indiqué en même temps que le résultat des mesures.

Les informations relatives au calcul des caractéristiques de performance d'une antenne unipolaire (fouet) et à la caractérisation de son réseau d'adaptation sont données dans la CISPR 16-1-6. La CISPR 16-1-6 indique que le facteur d'antenne obtenu avec la méthode Equivalent Capacitance Substitution Method (substitution d'une capacité équivalente) (ECSM) présente des incertitudes plus élevées pour les longueurs unipolaires supérieures à un huitième de longueur d'onde.

L'unité de champ électrique doit être le  $\mu\text{V/m}$ . En unités logarithmiques,  $E$  doit être exprimé en dB ( $\mu\text{V/m}$ ), soit 20 fois le logarithme du niveau de champ mesuré. La limite de perturbation associée doit être exprimée dans les mêmes unités.

##### 4.4.2 Antenne à champ magnétique

Pour la mesure de la composante magnétique du rayonnement, l'antenne cadre blindée électriquement décrite en 4.3.2 doit être utilisée.

NOTE Les antennes cadres accordées, électriquement symétriques, peuvent être utilisées pour effectuer des mesures pour des champs magnétiques aussi faibles que  $-51,5$  dB ( $\mu\text{A/m}$ ) en utilisant une détection QP dans la gamme de fréquences de 1,6 MHz à 30 MHz, c'est-à-dire plus faibles que les antennes cadres non accordées, électriquement blindées, où le niveau de bruit est approximativement 25 dB plus grand.

##### 4.4.3 Symétrisation et discrimination du champ électrique des antennes

Si une antenne à champ électrique symétrique est utilisée, elle doit satisfaire aux exigences de 4.5.4. Si une antenne à champ magnétique symétrique est utilisée, elle doit satisfaire aux exigences de 4.3.3.

#### 4.5 Antennes pour la plage de fréquences comprises entre 30 MHz et 1 000 MHz

##### 4.5.1 Généralités

Dans cette gamme de fréquences, les mesures concernent l'intensité du champ électrique, c'est pourquoi les antennes à champ magnétique ne sont pas incluses. L'antenne doit être une antenne analogue à un doublet conçue pour mesurer l'intensité du champ électrique, et le facteur d'antenne en espace libre doit être utilisé. Les types d'antennes comprennent:

- des antennes doublet accordées dont les paires d'éléments sont soit des fouets droits soit de forme conique;
- des doublets réseau comme les antennes réseau de doublets log-périodiques (LPDA), comprenant une série de jeux échelonnés d'éléments de fouet droit;
- des antennes hybrides.

##### 4.5.2 Antenne à faible incertitude pour utilisation en cas de non-conformité présumée des limites d'intensité du champ électrique

Pour diminuer l'incertitude de mesure, il est préférable d'utiliser l'intensité de champ électrique mesurée par une antenne biconique type ou par une antenne LPDA, en particulier par rapport à celle mesurée par des antennes hybrides. Les antennes types biconiques et LPDA sont définies dans l'Annexe A, et seules les antennes étalonnées doivent être utilisées.

NOTE 1 Des incertitudes améliorées sont obtenues en utilisant une antenne biconique dans la gamme de fréquences de 30 MHz à 250 MHz et une antenne LPDA dans la gamme de fréquences de 250 MHz à 1 GHz. Sinon, une fréquence de transfert de 200 MHz peut être utilisée, mais les incertitudes dues aux variations de centre de phase de la LPDA seront supérieures.

NOTE 2 L'incertitude de mesure des perturbations rayonnées provenant d'un EUT dépend de nombreux facteurs d'influence différents comme la qualité de l'emplacement, l'incertitude du facteur d'antenne, le type d'antenne et les caractéristiques du récepteur de mesure. La raison qui prévaut à la définition d'antennes à faible incertitude est de limiter d'autres influences d'antenne sur l'incertitude de mesure, comme l'effet du couplage mutuel avec un plan de sol, le diagramme de rayonnement par rapport au balayage de la hauteur et à la position variable du centre de phase. La vérification des effets de ces influences est réalisée en comparant les valeurs lues des deux antennes à la fréquence de commutation choisie, dont il convient qu'elle donne la même valeur pour l'intensité du champ électrique dans les limites d'une marge de  $\pm 1$  dB.

#### 4.5.3 Caractéristiques d'antenne

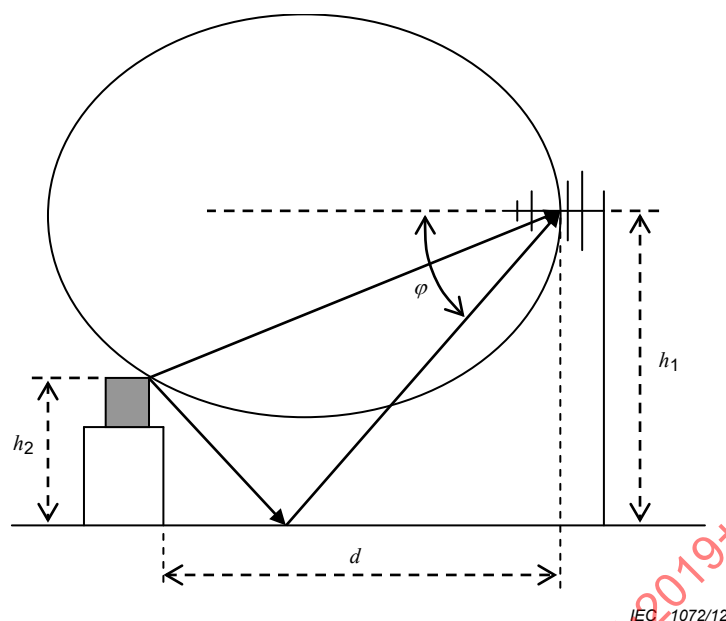
Étant donné que la sensibilité d'un doublet simple est faible pour la plage de fréquences comprises entre 300 MHz et 1 000 MHz, une antenne plus complexe peut être utilisée. Une telle antenne doit avoir les caractéristiques suivantes:

- a) L'antenne doit être polarisée linéairement, ce qui doit être contrôlé en appliquant la procédure d'essai de polarisation croisée de 4.5.5.
- b) Les antennes à doublets symétriques, comme les doublets accordés et les antennes biconiques, doivent présenter des performances de symétriseur validées, ce qui doit être contrôlé en appliquant la procédure d'essai de symétrie de 4.5.4. Cette exigence s'applique aussi aux antennes hybrides en dessous de 200 MHz.
- c) L'affaiblissement de réflexion de l'antenne avec le câble d'alimentation de l'antenne connecté ne doit pas être inférieur à 10 dB. Un atténuateur d'adaptation peut être intégré au câble d'alimentation des antennes si cela s'avère nécessaire pour satisfaire à cette exigence.
- d) Un facteur d'antenne (FA) doit être indiqué pour permettre de satisfaire aux exigences d'exactitude de 4.1.

Pour tenir compte de la directivité des antennes: est retenu pour hypothèse un site d'essai avec un plan de sol conducteur, aux fins de la description des caractéristiques d'antenne suivantes. L'amplitude du signal reçu est réduite si l'un ou l'autre signal ou les deux signaux direct et réfléchi par le sol de l'EUT vers l'antenne n'entrent pas dans le lobe principal du diagramme de rayonnement de l'antenne à sa valeur de crête. La valeur de crête est habituellement dans le sens de l'axe de visée de l'antenne. Cette réduction de l'amplitude est prise en compte comme une erreur dans le résultat de mesure de la perturbation rayonnée: la tolérance d'incertitude qui s'ensuit est fondée sur la largeur de faisceau,  $2\phi$ , (voir Figure 1).

Les conditions pour s'assurer que cette erreur n'est pas supérieure à +1 dB sont données au point 1) pour un emplacement de 10 m et au point 2) pour un emplacement de 3 m. En variante, une condition fondée sur le gain d'antenne est donnée au point 3) à la place des conditions rigoureuses du diagramme de rayonnement.

Des mesures de perturbation rayonnée sont réalisées tour à tour avec l'antenne en polarisation horizontale et verticale. Si, par choix, les diagrammes de rayonnement sont mesurés dans un seul plan, les résultats des diagrammes montrant les faisceaux les plus étroits doivent être utilisés, à condition que le diagramme de l'antenne soit vérifié dans le plan horizontal lorsque celle-ci est orientée en polarisation horizontale.



NOTE Les paramètres sont définis dans l'Equation (4).

**Figure 1 – Représentation schématique du rayonnement de l'EUT atteignant une antenne LPDA directement et via réflexion sur le sol à un emplacement de 3 m, présentant la moitié de l'angle d'ouverture de faisceau,  $\varphi$ , au niveau du rayon réfléchi**

- 1) Pour un OATS de 10 m ou une SAC, la réponse de l'antenne en direction du rayon direct diffère de façon négligeable de l'amplitude suivant l'axe de visée, lorsque l'antenne est alignée de sorte que son axe de visée soit parallèle au plan de sol. La composante de directivité de l'incertitude dans la mesure des perturbations peut être maintenue inférieure à +1 dB si la réponse de l'antenne en direction du rayon réfléchi n'est pas inférieure de plus de 2 dB à la réponse suivant l'axe de visée de l'antenne. Afin de vérifier cette condition, l'ouverture totale du faisceau vertical  $2\varphi$  de l'antenne de mesure, à l'intérieur de laquelle le gain d'antenne reste inférieur à 2 dB de sa valeur maximale, doit être telle que:

$$\varphi > \tan^{-1} \frac{h_1 + h_2}{d} \quad (3)$$

- 2) Pour des sites avec une séparation inférieure à 10 m, généralement de 3 m, l'ouverture totale du faisceau vertical  $2\varphi$  de l'antenne de mesure, à l'intérieur de laquelle le gain d'antenne reste inférieur à 1 dB de sa valeur maximale, doit être telle que:

$$2\varphi > \left( \tan^{-1} \frac{h_1 + h_2}{d} \right) - \left( \tan^{-1} \frac{h_1 - h_2}{d} \right) \quad (4)$$

où

$h_2$  est la hauteur de l'appareil en essai;

$h_1$  est la hauteur de l'antenne de mesure;

$d$  est la distance horizontale entre le centre de phase de l'antenne de mesure et le dispositif en essai.

L'inclinaison de l'antenne vers le bas peut réduire les incertitudes associées; si elle n'est pas utilisée, la diminution du signal reçu doit être calculée à partir des diagrammes de rayonnement et appliquée comme correction avec incertitude de directivité associée. Des exemples de bilans d'incertitude sont donnés dans la CISPR 16-4-2.

NOTE 1 En retenant pour hypothèse un diagramme de rayonnement de plan E normalisé à la valeur unité sur l'axe de visée (= valeur de crête du lobe principal), enregistrer le champ électrique aux angles de déclinaison de l'antenne pour le rayon direct,  $E_D$ , et le rayon réfléchi,  $E_R$ . L'erreur, comparée à un champ électrique d'amplitude unitaire pour chacun des rayons directs et réfléchis, est donnée en décibels par:  $20 \lg [2/(E_D + E_R)]$ .

NOTE 2 La réduction de l'intensité du signal due à une directivité réduite aux angles en dehors de l'axe de visée de l'antenne est une erreur systématique et peut de ce fait être corrigée. Si une correction est appliquée, à partir de la connaissance des diagrammes de rayonnement à chaque fréquence et polarisation, l'incertitude de mesure de l'intensité du signal émis peut être réduite en conséquence.

- 3) Pour les types d'antennes à grande ouverture de faisceau habituellement utilisées pour la mesure des perturbations rayonnées, telles que les antennes biconiques, LPDA et hybrides, l'ouverture de faisceau est inversement liée à la directivité de l'antenne. Une variante du critère fondé sur les ouvertures de faisceau des points 1) et 2) consiste à spécifier le gain maximal d'une antenne, puis à se référer aux tolérances d'incertitude génériques pour la composante de directivité dans le bilan d'incertitudes pour les résultats de la mesure des perturbations. Les incertitudes génériques, fondées sur les ouvertures de faisceaux les plus étroites dans la gamme de fréquences utilisée pour une antenne donnée, figurent dans la CISPR 16-4-2. Le gain isotrope maximal d'antenne pour des antennes biconiques doit être de 2 dB, et il doit être de 8 dB pour les antennes réseau de doublets log-périodiques (LPDA) et les antennes hybrides. Pour les antennes LPDA en V, dont l'ouverture de faisceau dans le plan H est égale à l'ouverture de faisceau dans le plan E, le gain isotrope admis maximal doit être de 9 dB.

#### 4.5.4 Symétrisation de l'antenne

##### 4.5.4.1 Généralités

Dans les mesures des perturbations rayonnées, des courants de mode commun (CM) peuvent exister sur le câble relié à l'antenne de réception (câble d'antenne). Ces courants de CM créent eux-mêmes des champs électromagnétiques qui peuvent être captés par l'antenne de réception si le symétriseur n'est pas symétrisé parfaitement. Les résultats de mesure de perturbation rayonnée peuvent de ce fait être influencés.

Les contributions majeures aux courants de CM dans le câble d'antenne sont causées par:

- a) l'intensité du champ électrique à mesurer, si ce champ a une composante parallèle au câble d'antenne, et
- b) la conversion du mode différentiel (DM) du signal d'antenne (signal utile) en un signal CM du fait de l'imperfection du symétriseur de l'antenne de réception.

En général, les antennes LPDA ne présentent pas une conversion DM/CM (mode différentiel en mode commun) significative. Par conséquent, les vérifications qui suivent s'appliquent aux doublets et aux antennes biconiques sur toute la gamme de fréquences d'exploitation, et aux antennes hybrides sur la gamme de fréquences de la section du doublet à large bande (dans la plupart des cas de 30 MHz à 200 MHz).

##### 4.5.4.2 Vérification de la conversion de mode différentiel en mode commun (DM/CM) du symétriseur

La méthode suivante décrit la mesure de deux tensions,  $V_1$  et  $V_2$ . Le rapport de ces tensions, exprimées dans la même unité, par exemple en  $\mu V$ , est une mesure de la conversion DM/CM (également baptisée déséquilibre du symétriseur, symétrie du symétriseur, ou symétrie de l'antenne).

- a) Placer l'antenne de réception en essai en polarisation verticale, la hauteur de son centre étant de 1,0 m au-dessus du plan de masse d'un OATS ou d'une SAC. La pointe de l'antenne doit se situer à au moins 0,25 m au-dessus du plan de masse. Sortir une longueur de  $1,5 \text{ m} \pm 0,1 \text{ m}$  de câble d'antenne horizontalement derrière l'élément actif arrière de l'antenne de réception à une hauteur de 1,0 m au-dessus du plan de masse et la laisser ensuite tomber verticalement sur le plan de masse.

- b) Pour une caractérisation normale du déséquilibre de l'antenne de réception, placer une deuxième antenne (d'émission) en polarisation verticale à une distance horizontale de 10 m du centre de l'AUT. Le centre de l'antenne d'émission doit être à une hauteur de 1,0 m au-dessus du plan de masse et sa pointe doit se situer à au moins 0,25 m au-dessus du plan de masse. L'antenne d'émission doit être polarisée linéairement et avoir une réjection de polarisation croisée supérieure à 20 dB dans la gamme de fréquences de l'essai du symétriseur. Pour une gamme de fréquences au-dessus de 200 MHz, la hauteur de l'antenne d'émission doit varier pour éviter les niveaux nuls de la réponse SIL. Des mesures à des distances plus courtes (3 m et 5 m, par exemple) peuvent être effectuées pour déterminer la contribution aux incertitudes du déséquilibre du symétriseur à ces distances.
- c) Connecter une source de signal à l'antenne d'émission (par exemple un générateur de poursuite, ou la sortie source d'un analyseur de réseau). Ensuite, régler le niveau de sortie de cette source de signal de manière à ce que, dans la gamme de fréquences concernée et pour les deux orientations verticales de l'antenne, le rapport signal sur bruit ambiant au niveau du récepteur soit de 34 dB (17 dB pour la détection de valeur moyenne) ou plus.
- d) Enregistrer la tension  $V_1$  au niveau du récepteur dans la gamme de fréquences concernée.
- e) Retourner l'antenne de réception (c'est-à-dire tourner l'antenne de 180°) sans rien changer d'autre dans la disposition d'essai, en particulier le câble de l'antenne de réception, et sans faire varier le réglage de la source de signal.
- f) Enregistrer la tension  $V_2$  au niveau du récepteur dans la gamme de fréquences concernée.
- g) La conversion DM/CM est suffisamment faible si  $|20 \lg (V_1/V_2)| < 1$  dB.

NOTE 1 Pour les besoins des mesures de perturbations rayonnées, si le critère de conversion DM/CM n'est pas respecté, des anneaux de ferrite autour du câble peuvent réduire la conversion DM/CM. Le laboratoire d'essai CEM peut répéter l'essai avec quatre anneaux de ferrite espacés approximativement de 20 cm, en plaçant le premier à moins de 10 cm de l'entrée du symétriseur. Si le critère est respecté en utilisant ces anneaux de ferrite, les anneaux de ferrite s'appliquent aussi au cours des mesures de perturbation réelles. De la même façon, l'interaction du câble peut être réduite en l'étendant de plusieurs mètres horizontalement derrière l'antenne avant de le faire descendre sur le plan de masse.

NOTE 2 Si l'antenne de réception est utilisée dans une FAR, la vérification du rapport DM/CM peut être effectuée dans une telle FAR avec l'antenne de réception à sa position usuelle et l'antenne d'émission à une distance d'au moins 3 m. Les antennes sont mieux placées au centre de la pièce, avec une distance d'isolement derrière les antennes d'au moins 1 m entre la partie verticale du câble et les pointes des absorbants.

NOTE 3 Il est admis que l'emplacement de mesure et son plan de masse conducteur (OATS ou SAC), ou la FAR, soient conformes aux exigences respectives de validation de l'emplacement.

NOTE 4 Il est considéré que la distance horizontale de 1,5 m sur laquelle le câble d'antenne s'étend derrière le centre de l'antenne reste la distance minimale admise pendant les mesures réelles en polarisation verticale des perturbations rayonnées.

NOTE 5 En général, il n'est pas nécessaire de définir strictement l'installation d'essai, car l'effet de déséquilibre est dominé par l'interaction entre l'antenne et la partie du câble d'antenne parallèle aux éléments de l'antenne. De plus, les effets dépendant de l'uniformité du champ incident sur l'antenne de réception dans les installations de mesure de CEM (compatibilité électromagnétique) sur un OATS ou dans une FAR sont beaucoup plus faibles.

NOTE 6 Pour les symétriseurs dont le connecteur de câble de réception est monté sur le côté (à 90° du bras de l'antenne), un connecteur à angle droit peut être utilisé pour réduire le mouvement du câble.

NOTE 7 L'incertitude du résultat de la mesure de la conversion DM/CM du symétriseur est uniquement due à la non linéarité du récepteur, car les autres variables demeurent inchangées lors des mesures  $V_1$  et  $V_2$ . Une non-linéarité inférieure à 0,1 dB dans la gamme  $\pm 1$  dB à partir de l'indication de référence  $V_1$  est assez bonne pour satisfaire le critère de 1 dB.

#### 4.5.5 Réponse de polarisation croisée de l'antenne

Lorsque l'antenne est placée dans un champ électromagnétique à polarisation linéaire, la tension aux bornes, lorsque l'antenne et le champ sont en polarisation croisée, doit être d'au moins 20 dB inférieure à celle en copolarisation. Cette exigence s'applique sur l'ensemble de la gamme de fréquences de 30 MHz à 18 GHz. En pratique, cette exigence n'est parfois pas respectée par certains types d'antennes LPDA pour lesquelles les deux moitiés de chaque



doublent sont décalées, ce qui génère de manière intrinsèque une réponse de polarisation croisée (XPR).

La majorité des essais avec des antennes LPDA s'effectue au-dessus de 200 MHz. Afin d'obtenir des conditions d'espace libre, une chambre entièrement anéchoïque de haute qualité peut être utilisée, ou bien des pylônes supports d'antenne de hauteur suffisante au-dessus du plan de masse en zone dégagée; voir les caractéristiques d'emplacement associées en 6.3.2 du présent document et à l'Article 6 du CISPR 16-1-5:2014. Un champ uniforme doit être appliqué sur toute la longueur efficace de l'AUT. La distance entre le centre de l'AUT et l'antenne d'émission doit être supérieure à une longueur d'onde. Pour une antenne LPDA, la séparation se situe en son point central. Lorsque la fréquence la plus basse est 200 MHz, une séparation fixe de 1,5 m sur l'ensemble de la gamme de fréquences est recommandée.

Régler l'antenne d'émission et l'AUT avec une polarisation verticale et noter l'intensité du signal sur la gamme de fréquences. Faire pivoter l'antenne d'émission de 90° et noter la différence d'intensité du signal par rapport au relevé copolaire.

NOTE Il est nécessaire d'avoir un emplacement de bonne qualité pour appliquer un champ uniforme sur la surface efficace de l'AUT. La discrimination de polarisation croisée procurée par l'onde polarisée linéairement peut être démontrée par une transmission entre deux antennes cornet à gain normal ou deux guides d'onde à extrémité ouverte utilisés comme antennes d'essai, et en vérifiant que la combinaison du défaut de l'emplacement et de la caractéristique de polarisation croisée obtenue avec les antennes d'essai conduit à une suppression de la composante horizontale de plus de 30 dB. Si les défauts de l'emplacement sont très faibles et si les antennes d'essai ont des performances identiques, la réjection de polarisation croisée d'une antenne d'essai est d'environ 6 dB plus faible que celle de la combinaison de couplage de polarisation croisée de la paire d'antennes d'essai. Par exemple, si le niveau combiné de polarisation croisée est de 30 dB, le niveau pour une seule antenne d'essai est de 36 dB. Le critère pour le montage de l'emplacement, y compris la séparation entre les antennes et les performances d'emplacement, est la réalisation d'un niveau combiné de polarisation croisée de 30 dB. Deux antennes cornet à polarisation horizontale, ouvertures avant séparées de 1,5 m, peuvent être installées. La perte d'insertion de l'emplacement (SIL) est relevée sur la gamme de fréquences concernée. L'une des antennes est tournée à 90° de manière à être polarisée verticalement. La variation de SIL soit d'au moins 30 dB fournira un niveau acceptable d'incertitude de mesure. Pour les fréquences inférieures à 1 GHz, des antennes LPDA en V peuvent être utilisées en lieu et place des antennes cornets afin de démontrer l'adéquation de l'emplacement. L'utilisation d'antennes doublets ou biconiques est possible, mais une hauteur d'antenne supérieure serait nécessaire du fait de leurs diagrammes de rayonnement uniformes dans le plan H.

Un signal parasite d'un niveau de 20 dB inférieur à celui du signal souhaité donne une erreur maximale de  $\pm 0,9$  dB sur le signal souhaité. L'erreur maximale intervient lorsque le signal en polarisation croisée est en phase avec le signal copolarisé. Si la XPR de la LPDA est moins bonne que 20 dB, l'opérateur doit calculer l'incertitude et la déclarer avec les résultats. Par exemple, un niveau de polarisation croisée de 14 dB entraîne une incertitude maximale de +1,6 dB à -1,9 dB; la valeur la plus élevée et l'hypothèse d'une distribution rectangulaire doivent être retenues pour calculer l'incertitude-type.

Pour ajouter un signal de 0 dB à un autre de 14 dB, convertir d'abord en tensions relatives en divisant ces valeurs par 20 et en prenant l'antilogarithme. Ajouter ensuite le plus faible signal au signal unité. Prendre le logarithme et multiplier par 20. Le résultat est l'erreur positive en décibels. Répéter le calcul, mais en soustrayant le plus faible signal du signal unité pour obtenir l'erreur négative en décibels.

Pour le calcul de l'incertitude d'une mesure de perturbation rayonnée, si le niveau de signal mesuré avec une polarisation dépasse de 6 dB ou plus celui du signal mesuré avec la polarisation orthogonale, une LPDA dont la XPR n'est que de 14 dB est estimée comme ayant satisfait à la spécification des 20 dB. Si la différence entre les niveaux des signaux en polarisation verticale et en polarisation horizontale est inférieure à 6 dB, l'incertitude supplémentaire doit être calculée si la somme de cette différence et de la XPR est inférieure à 20 dB.

Des réflexions sur l'incertitude de mesure des résultats de mesure de la XPR sont données à l'Annexe H-~~124~~. L'Annexe H fournit un exemple de XPR d'une AUT suffisante pour satisfaire au critère des 20 dB pour la mesure de la XPR.

## 4.6 Antennes pour la plage de fréquences comprises entre 1 GHz et 18 GHz

### 4.6.1 Généralités

La mesure des perturbations rayonnées au-dessus de 1 GHz doit être effectuée en utilisant des antennes étalonnées et polarisées linéairement. Celles-ci comprennent par exemple les antennes LPDA, les antennes cornets à double strie et les antennes cornets à gain normal. Le "faisceau" ou lobe principal du diagramme de toute antenne utilisée doit être suffisamment grand pour inclure l'EUT lorsqu'il est placé à la distance de mesure. La largeur du lobe principal est définie comme la largeur du faisceau de l'antenne à 3 dB, et il convient de fournir des informations permettant de déterminer ce paramètre dans la documentation de l'antenne. Pour les antennes cornet, la condition suivante doit être respectée:

$$d \geq \frac{D^2}{2\lambda} \quad (5)$$

où

$d$  est la distance de mesure (m);

$D$  est la plus grande dimension de l'ouverture de l'antenne (m); et

$\lambda$  est la longueur d'onde en espace libre à la fréquence de mesure (m).

L'exigence de XPR de l'antenne donnée en 4.5.5 s'applique également à la gamme de fréquences de 1 GHz à 18 GHz.

### 4.6.2 Antenne de réception

#### 4.6.2.1 Généralités

L'antenne de réception doit être polarisée linéairement et pour la validation de l'emplacement doit être du même type que celle utilisée pour le mesurage des perturbations provenant d'un EUT

Certains modèles d'antennes peuvent avoir différentes versions et proposer différents diagrammes de rayonnement. Il est conseillé aux utilisateurs de vérifier la condition précédente.

NOTE 1 "Type d'antenne" indique une forme ou un type d'antenne, par exemple une antenne cornet ou une antenne LPDA.

NOTE 2 "Modèle d'antenne" indique le numéro de modèle spécifié par le fabricant.

NOTE 3 "Version" indique le numéro de révision spécifié par le fabricant, le cas échéant, pour un numéro de modèle d'antenne donné.

#### 4.6.2.2 Diagramme de rayonnement de l'antenne de réception

Les diagrammes de rayonnement dans les plans E et H doivent être mesurés par rapport à l'axe de visée de l'antenne. La grandeur à mesurer est le diagramme d'antenne en dB, représenté par un tracé en coordonnées polaires comme à la Figure 2. Il convient que les tracés des diagrammes de rayonnement soient normalisés à 0 dB. L'angle à 0° doit être égal à l'axe de visée mécanique.

Conformément à l'Annexe I de la CISPR 16-1-6:2014/AMD1:2016, les diagrammes de rayonnement de chaque antenne individuelle dans les plans E et H doivent être enregistrés sur une plage de fréquences avec un pas de fréquence inférieur ou égal à 500 MHz.

Les résultats d'essais de type, incluant les données statistiques, fournis par le fabricant peuvent être utilisés pour prouver que les exigences relatives au diagramme de rayonnement



de l'antenne de réception sont respectées. Des mesures de service doivent être prises pour assurer la stabilité du diagramme pendant la durée de vie de l'antenne.

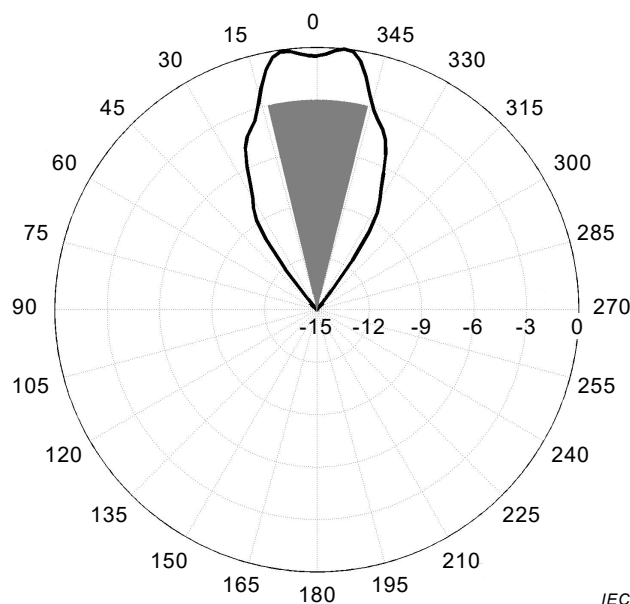


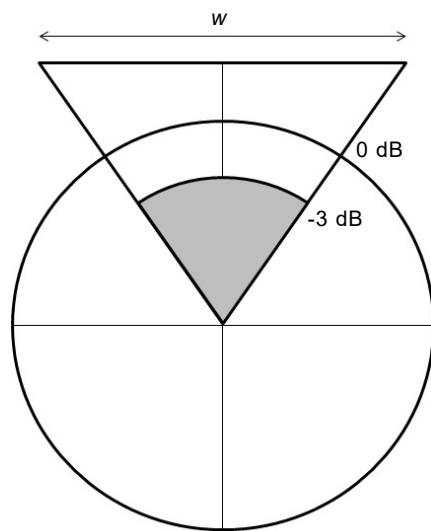
**Figure 2 – Exemple de diagramme de rayonnement dans le plan E d'une antenne RX dans la zone limite grisée pour une distance de 3 m et un EUT d'une largeur de 2 m**

NOTE En général, la direction de l'axe de visée est la direction du rayonnement maximal de l'antenne. Toutefois, il peut arriver que le diagramme présente deux valeurs de rayonnement maximal et qu'aucun de ces rayonnements de valeur maximale ne soit dans la direction de l'axe de visée mécanique, comme représenté à la Figure 2.

#### **4.6.2.3 Exigences relatives au diagramme de rayonnement de l'antenne de réception**

Les zones grisées des tracés en coordonnées polaires représentées dans les Figures 3 et 4 sont définies par la hauteur maximale,  $h$ , et par la largeur maximale,  $w$ , de l'EUT et par la distance d'essai,  $d$ .

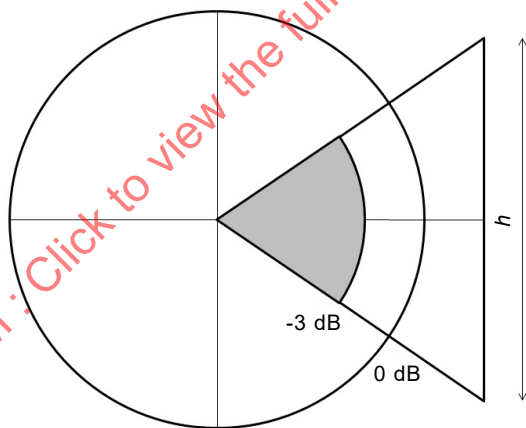
Pour que l'antenne de réception illumine l'EUT de façon suffisante, l'ouverture de faisceau à mi-puissance de l'antenne de réception ne doit pas se trouver dans la zone grisée des plans E et H des coupes de diagrammes représentées aux Figures 3 et 4.



$w$  = largeur maximale de l'EUT

IEC

**Figure 3 – Détermination de la largeur maximale exploitable de l'EUT dans le cadre de l'utilisation de l'ouverture de faisceau à mi-puissance**



$h$  = hauteur maximale de l'EUT

IEC

**Figure 4 – Détermination de la hauteur maximale exploitable de l'EUT dans le cadre de l'utilisation de l'ouverture de faisceau à mi-puissance**

#### 4.7 Montages d'antennes particuliers – Système d'antennes de grand diamètre

Dans la gamme de fréquences de 9 kHz à 30 MHz, le pouvoir perturbateur de la composante magnétique du rayonnement produit par un EUT unique peut être déterminé au moyen d'un système d'antennes de grand diamètre (LLAS). Dans le LLAS, cette caractéristique est mesurée en courants induits par le champ magnétique dans chaque LLA du LLAS. Le LLAS mesure le courant induit par la composante de champ magnétique d'un EUT unique. Le LLAS permet d'effectuer des mesures à l'intérieur.

Le LLAS se compose de trois antennes circulaires de grand diamètre, de 2 m de diamètre, occupant des plans mutuellement perpendiculaires, montées sur un support non métallique. Une description complète du LLAS est donnée à l'Annexe C.

L'EUT ~~est~~ doit être placé au centre du LLAS sur une table de support non conductrice. Les dimensions maximales de l'EUT sont limitées de façon que la distance entre l'EUT et chaque cadre du LLAS soit au moins de 0,20 m. Des lignes directrices pour ~~le cheminement~~ l'acheminement des câbles ~~de signaux~~ EUT sont données ~~dans la NOTE 2 du~~ en C.3 et à la Figure C.6. Les câbles doivent cheminer ensemble et sortir du volume du LLAS dans le même octant du LLAS, à une distance supérieure à 0,4 m de chacun des cadres du LLAS.

Le LLAS peut être placé dans n'importe quel environnement. Le placement à l'intérieur d'une cage de Faraday, d'une SAC, d'une FAR ou d'un OATS protégé contre les intempéries est autorisé. Il est recommandé de placer le LLAS dans un environnement blindé afin d'éliminer les signaux ambiants, et d'améliorer ainsi la sensibilité aux émissions de l'EUT. Une distance minimale de 0,5 m entre le LLAS et toute surface métallique est recommandée. La validation du LLAS doit être effectuée à l'emplacement habituel des mesurages du LLAS, afin de tenir compte de l'influence de l'environnement (voir C.4).

Les trois cadres du LLAS occupant des plans mutuellement perpendiculaires permettent de mesurer le pouvoir perturbateur du champ rayonné dans toutes les polarisations, avec la précision prescrite, sans qu'il soit nécessaire de faire tourner l'EUT ou de modifier l'orientation des cadres du LLAS.

Chacun des trois cadres du LLAS doit être conforme aux exigences de validation données en C.4.

NOTE Des cadres du LLAS circulaires d'un diamètre différent du diamètre normal de 2 m peuvent être utilisés, à condition que leur diamètre  $D \leq 4$  m et que la distance en mètres entre l'EUT et un cadre du LLAS soit d'au moins  $0,10 \times D$ . Les facteurs de ~~correction~~ conversion à appliquer pour les antennes non normales sont donnés en C.6.

### 5 Emplacements d'essai pour la mesure du champ radioélectrique perturbateur dans la gamme de fréquences de 9 kHz à 30 MHz

(Vide)

### 6 Emplacements d'essai pour la mesure du champ radioélectrique perturbateur dans la gamme de fréquences de 30 MHz à 1 000 MHz

#### 6.1 Généralités

L'environnement doit assurer des résultats de mesure valides et reproductibles du champ perturbateur produit par un EUT. Pour un EUT qui ne peut être soumis à essai que sur son lieu d'utilisation, des dispositions différentes doivent être prises (voir les détails concernant les mesures in situ dans la CISPR 16-2-3).

## 6.2 OATS

### 6.2.1 Généralités

Un OATS est une zone caractérisée par un terrain plat dégagé avec la présence d'un plan de masse conducteur. Pour satisfaire aux exigences de validation du présent document, il est recommandé d'utiliser un plan de sol métallique. Un tel emplacement d'essai doit être exempt de constructions, de lignes électriques, de barrières, d'arbres, etc. et ne pas comporter de câbles, canalisations, etc. enterrés, à l'exception de ceux exigés pour l'alimentation et le fonctionnement de l'EUT. L'Annexe D donne des recommandations spécifiques de construction d'un OATS pour les mesures de champ perturbateur dans la gamme 30 MHz – 1 000 MHz. Les procédures de validation de l'emplacement pour un OATS sont données en 6.6 et en 6.7. L'Annexe F explique les fondements du critère d'acceptabilité.

### 6.2.2 Enceinte de protection contre les intempéries

Une protection contre les intempéries est souhaitable si l'emplacement d'essai est utilisé tout au long de l'année. Une structure de protection contre les intempéries peut soit protéger l'emplacement d'essai entier (y compris l'EUT et l'antenne de mesure de champ) soit l'EUT uniquement. Les matériaux utilisés doivent être transparents au rayonnement RF, afin d'empêcher toute réflexion ou affaiblissement indésirables du champ émis par l'EUT (voir 6.3.1).

La structure de l'enceinte de protection contre les intempéries doit avoir une forme telle qu'elle permette de retirer facilement la neige, la glace ou l'eau. Pour plus d'informations, voir Annexe D.

### 6.2.3 Zone sans obstacle

Pour les emplacements d'essai en zone dégagée, une zone sans obstacle entourant l'EUT et l'antenne de mesure de champ est exigée. La zone sans obstacle doit être exempte de diffuseurs importants des champs électromagnétiques, et doit être suffisamment grande pour que les diffuseurs situés à l'extérieur de la zone sans obstacle aient peu d'effets sur les champs mesurés par l'antenne de mesure de champ. Pour déterminer la conformité d'une zone sans obstacle, des essais de validation de l'emplacement doivent être effectués.

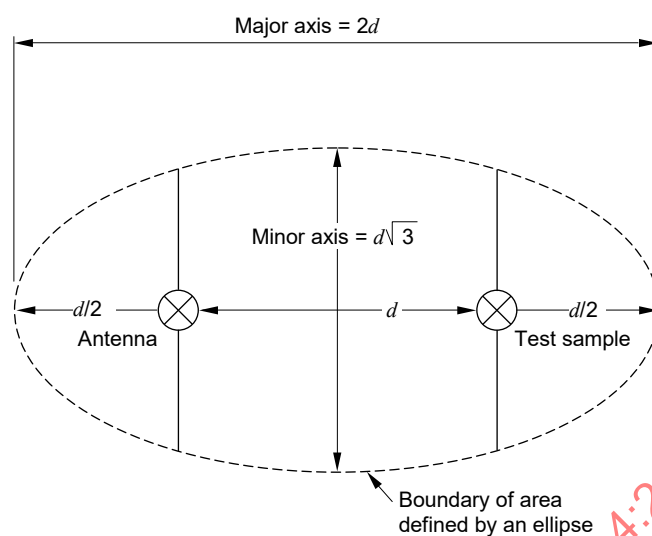
Puisque l'importance de la dispersion du champ par un objet dépend de nombreux facteurs (taille de l'objet, distance le séparant de l'EUT, orientation par rapport à l'EUT, conductivité et permittivité de l'objet, fréquence, etc.), il est impossible de définir une zone sans obstacle raisonnable nécessaire et suffisante pour toutes les applications. Les dimensions et la forme de la zone sans obstacle dépendent de la distance de mesure et du fait que l'EUT tourne ou non. Si l'emplacement est équipé d'une table tournante, la zone sans obstacle recommandée est une ellipse dont les deux foyers sont l'antenne de réception et l'EUT, et dont le grand axe est égal à deux fois la distance de mesure, et le petit axe égal au produit de la distance de mesure par  $\sqrt{3}$  (voir Figure 5).

Pour cette ellipse, la longueur du chemin parcouru par le rayon indirect indésirable réfléchi par tout objet du périmètre est égale à deux fois la longueur du chemin parcouru par le rayon direct entre les foyers. Si un EUT de grandes dimensions est installé sur la table tournante, la zone sans obstacle doit être agrandie de telle manière que les distances de dégagement des obstacles soient établies par rapport au périmètre de l'EUT.

Si l'emplacement n'est pas équipé d'une table tournante, c'est-à-dire si l'EUT est fixe, la zone sans obstacle recommandée est une zone circulaire telle que la distance radiale du bord de l'EUT au bord de la zone est supérieure ou égale à la distance de mesure multipliée par 1,5 (voir Figure 6). Dans ce cas, l'antenne est déplacée autour de l'EUT à la distance de mesure.

Le terrain compris dans la zone sans obstacle doit être plat. De faibles pentes, nécessaires à un drainage adéquat, sont acceptables. La planéité du plan de sol métallique, si l'on en utilise

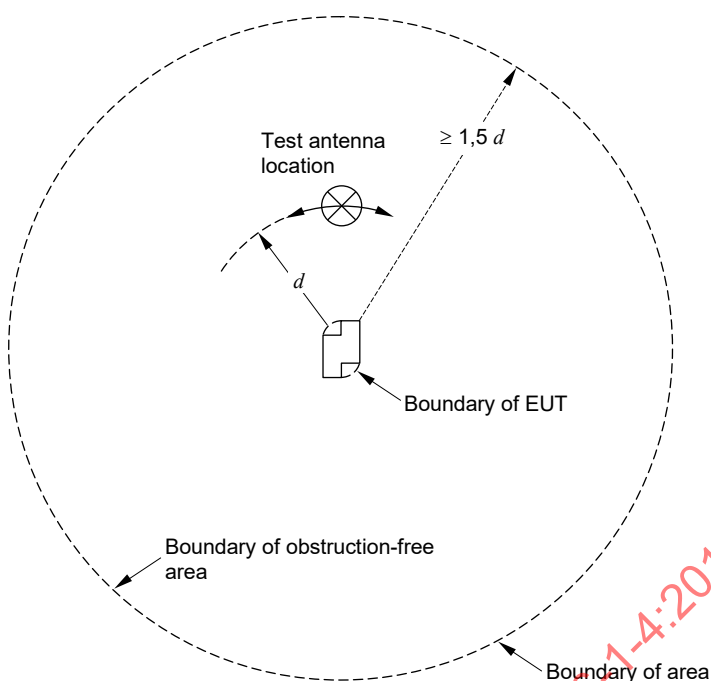
un, est traitée en D.2. Les appareils de mesure et tout le personnel doivent être situés à l'extérieur de la zone sans obstacle.



IEC 1073/12

| Anglais                                | Français                                   |
|----------------------------------------|--------------------------------------------|
| Major axis                             | Axe majeur                                 |
| Minor axis                             | Axe mineur                                 |
| Antenna                                | Antenne                                    |
| Test sample                            | Echantillon d'essai                        |
| Boundary of area defined by an ellipse | Bord de la surface définie par une ellipse |

**Figure 5 – Zone sans obstacle d'un emplacement d'essai équipé d'une table tournante**



IEC 1074/12

| Anglais                           | Français                          |
|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Test antenna location             | Emplacement de l'antenne en essai |
| Boundary of EUT                   | Bord de l'EUT                     |
| Boundary of obstruction-free area | Bord de la zone sans obstacle     |
| Boundary of area                  | Bord de la zone                   |

**Figure 6 – Zone sans obstacle avec EUT fixe**

#### 6.2.4 Environnement radiofréquence ambiant d'un emplacement d'essai

Les niveaux de radiofréquence ambiants d'un OATS doivent être suffisamment bas comparés aux niveaux des mesures de perturbation à effectuer. Aux fins de cette condition, la qualité du site peut être évaluée selon quatre catégories, énumérées ci-dessous par ordre de préférence:

- les émissions ambiantes sont d'au moins 6 dB inférieures aux niveaux de mesure;
- certaines émissions ambiantes sont à moins de 6 dB des niveaux de mesure;
- certaines émissions ambiantes sont supérieures aux niveaux de mesure mais sont, soit aperiodiques (c'est-à-dire que le temps séparant deux émissions est suffisamment long pour permettre la réalisation d'une mesure), soit continues mais seulement à un nombre limité de fréquences identifiables,
- les niveaux ambiants sont supérieurs aux niveaux de mesure sur une grande partie de la gamme de fréquences de mesure et existent en continu.

Il convient que le choix d'un emplacement d'essai garantisse que la précision de la mesure est maintenue, en tenant compte de l'environnement ambiant et du niveau de compétence technique disponible.

En plus de l'environnement radioélectrique ambiant, le bruit de fond intrinsèque du récepteur contribue à l'incertitude, des résultats des mesures de perturbations rayonnées. C'est pourquoi les émissions radioélectriques ambiantes et le bruit intrinsèque du récepteur doivent être réduits le plus possible afin de pouvoir effectuer une comparaison valide des perturbations mesurées avec la limite de perturbation.

### 6.2.5 Plan de sol

Le plan de sol de l'OATS peut se trouver au niveau du sol, ou être surélevé sur une plateforme de dimension appropriée ou une toiture horizontale. Il est préférable d'utiliser un plan de sol métallique, mais, pour certains appareils ou applications, les publications produits peuvent recommander d'autres types de sites. L'adéquation du plan de sol métallique dépend de la conformité de l'emplacement d'essai aux exigences de validation de l'emplacement en 6.4. Si le matériau utilisé pour le plan de sol n'est pas métallique, il faut veiller à choisir un site dont les caractéristiques de réflectivité ne varient pas au fil du temps et des conditions météorologiques, ou sous l'effet de matériaux métalliques enterrés tels que ceux de canalisations ou de conduits, ou d'un sol non homogène. De tels sites donnent généralement des caractéristiques d'affaiblissement de site (SA) différentes de celles trouvées pour les sites à surface métallique.

## 6.3 Aptitude des autres emplacements d'essai

### 6.3.1 Autres emplacements d'essai à plan de sol

Un grand nombre d'emplacements et d'installations d'essai différents ont été construits et utilisés pour mesurer les perturbations rayonnées. La plupart sont protégés contre les intempéries et contre les perturbations provoquées par le bruit radioélectrique ambiant. Par exemple, dans une SAC, toutes les parois ainsi que le plafond sont recouverts d'un matériau absorbant approprié, tandis que le plancher est constitué d'un plan de sol métallique émulant un OATS. Une SAC isole l'antenne de réception de l'environnement RF ambiant et permet de soumettre à essai des EUT indépendamment des conditions météorologiques.

Lorsqu'un matériau de construction entoure un emplacement d'essai à plan de sol, le résultat d'une mesure de validation effectuée en un seul point, comme spécifié en 6.7, peut ne pas suffire à démontrer l'acceptabilité de cet autre site.

Ainsi, pour évaluer l'aptitude d'un autre emplacement d'essai à plan de sol, la procédure décrite en 6.8 doit être utilisée. Elle est fondée sur l'exécution de mesures de validation en plusieurs positions à l'intérieur du volume occupé par l'EUT. Pour qu'un site soit jugé équivalent à un OATS, les résultats de ces mesures de validation doivent tous se situer dans une tolérance de  $\pm 4$  dB.

NOTE Les SAC satisfont généralement à la catégorie de qualité de site a) du 6.2.4.

### 6.3.2 Emplacements d'essai sans plan de sol (FAR)

Une enceinte blindée entièrement tapissée d'absorbants, également appelée chambre entièrement anéchoïque (FAR), peut être utilisée pour mesurer les perturbations rayonnées. Lorsqu'un emplacement avec FAR est utilisé, des limites de perturbations rayonnées appropriées doivent être définies dans les normes concernées (normes génériques, de produit ou de famille de produits). La conformité d'un EUT aux exigences de protection des services de radiocommunications (limites) doit être évaluée sur les sites FAR à l'aide de méthodes similaires à celles utilisées pour les mesures effectuées sur un OATS.

Une FAR est destinée à simuler un environnement en espace libre tel que seul le rayon direct provenant de l'antenne d'émission ou de l'EUT atteigne l'antenne de réception. Toutes les ondes de rayonnement indirectes et réfléchies doivent être réduites le plus possible par le placement approprié d'un matériau absorbant RF sur toutes les parois, sur le plafond et sur le plancher d'une FAR. De même qu'une SAC, une FAR isole l'antenne de réception de l'environnement RF ambiant et permet de soumettre à essai des EUT, indépendamment des conditions météorologiques.

NOTE Les FAR satisfont généralement à la catégorie de qualité de site a) du 6.2.4.

## 6.4 Validation des emplacements d'essai

### 6.4.1 Généralités

Trois méthodes de validation d'emplacement peuvent être utilisées pour un COMTS aux fins de la présente norme:

- méthode du NSA avec doublets accordés;
- méthode du NSA avec antennes à large bande;
- méthode de site de référence avec antennes à large bande.

La méthode du NSA avec doublets accordés n'est pas décrite spécifiquement, mais elle peut être utilisée aux fins du présent document. Les tableaux de valeurs de NSA théoriques pour les doublets accordés, y compris les tableaux des facteurs de correction d'impédance mutuelle théoriques, sont donnés en [20]<sup>1</sup>.

Les validations d'emplacements d'essai à plan de sol (OATS et SAC) sont présentées en 6.4.2 et en 6.5.1. Les points 6.6 et 6.7 décrivent respectivement les procédures employées dans la RSM et dans la méthode du NSA. La validation d'une SAC ou d'un OATS protégé contre les intempéries par une enceinte nécessite des mesures supplémentaires, qui sont décrites en 6.8.

Le Tableau 1 résume les méthodes de validation de l'emplacement applicables à ces types d'emplacements d'essai spécifiques. Comme l'indique ce tableau, deux ou trois méthodes de validation de l'emplacement sont décrites pour chacun de ces types d'emplacements d'essai. Pour les besoins du présent document, ces méthodes sont réputées équivalentes, ce qui signifie que la conformité au critère de validation peut être évaluée à l'aide d'une seule méthode. De plus, aucune de ces méthodes documentées n'est définie en tant que méthode de référence.

Les méthodes de validation de l'emplacement fournies dans le présent document permettent de mesurer l'uniformité du volume d'essai validé en procédant à une comparaison de l'affaiblissement de site idéal (théorique) et mesuré entre l'antenne d'émission et l'antenne de réception. L'antenne d'émission ne simule pas l'EUT; par conséquent, la procédure de validation ne définit pas le volume d'EUT maximal. Des réflexions sur les dimensions de l'EUT en fonction de la distance de mesure sont fournies dans la CISPR 16-2-3.

**Tableau 1 – Méthodes de validation d'emplacement applicables pour les emplacements de type OATS, à base d'OATS, SAC et FAR**

| Type d'emplacements d'essai                 | Applicabilité des méthodes de validation de l'emplacement |                               |                               |
|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
|                                             | Doublets accordés<br>NSA                                  | Antennes à large bande<br>NSA | Antennes à large bande<br>RSM |
| OATS                                        | Oui                                                       | Oui                           | Oui                           |
| OATS avec protection contre les intempéries | Non                                                       | Oui                           | Oui                           |
| SAC                                         | Non                                                       | Oui                           | Oui                           |
| FAR                                         | Non                                                       | Oui                           | Oui                           |

<sup>1</sup> Les chiffres entre crochets se réfèrent à la bibliographie.



## 6.4.2 Vue d'ensemble des validations d'un emplacement d'essai

La validation d'un emplacement d'essai est réalisée à l'aide de deux antennes de même polarisation. La validation doit être effectuée séparément pour les polarisations horizontale et verticale.

Le SA correspond à la différence des valeurs suivantes:

- niveau de tension de la source,  $V_i$ , appliqué à une antenne d'émission;
- niveau maximal de la tension reçue,  $V_R$ , mesuré aux bornes d'une antenne de réception pendant un balayage en hauteur spécifié de l'antenne.

Les mesures de tension sont effectuées dans un circuit à 50  $\Omega$ .

Le SA mesuré d'un OATS (voir 6.2) et d'autres emplacements d'essai à plan de sol (voir 6.3.1) est comparé aux caractéristiques de SA obtenues pour un OATS idéal; ceci constitue la définition du mesurande pour les validations d'emplacements d'essai. Le résultat de cette comparaison est l'écart de SA,  $\Delta A_s$ , en dB; voir Equation (6) et Equation (7). L'emplacement est réputé convenable lorsque les résultats de l'écart de SA se situent dans une tolérance de  $\pm 4$  dB.

Si la tolérance de  $\pm 4$  dB est dépassée, la configuration de l'emplacement d'essai doit être examinée selon 6.9.

NOTE Les fondements du critère d'acceptabilité de site à  $\pm 4$  dB sont donnés en Annexe F.

De plus, les écarts de SA ne doivent pas être utilisés pour corriger les données de mesure de champ d'un EUT. Les procédures en 6.4 ne doivent être utilisées que pour les validations d'un emplacement d'essai.

## 6.5 Paramètres de base de la méthode du NSA pour OATS et SAC

### 6.5.1 Equation générale et tableau des valeurs de NSA théoriques

Les valeurs de NSA calculées à des fréquences spécifiques sont fournies dans le Tableau 2 pour les antennes à large bande. Les grandeurs  $d$ ,  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $f_M$  et  $A_N$  utilisées sont identifiées à la fin du Tableau 2.

NOTE 1 Les valeurs du NSA aux fréquences non indiquées dans le Tableau 2 peuvent être obtenues par interpolation linéaire des valeurs présentes dans les tableaux.

NOTE 2 L'espacement  $d$  entre les paires d'antennes LPDA est mesuré à partir de la projection sur le plan de masse du point médian de l'axe longitudinal de chaque antenne.

NOTE 3 L'espacement  $d$  entre les antennes biconiques est mesuré à partir des axes centraux des éléments au point d'alimentation.

Pour effectuer les mesures dans chaque polarisation, la méthode du NSA nécessite deux mesures différentes de la tension reçue,  $V_R$ .

La première valeur de  $V_R$  ( $V_{\text{DIRECT}}$ ) est mesurée avec les deux câbles coaxiaux déconnectés des deux antennes et connectés l'un à l'autre par l'intermédiaire d'un adaptateur. La deuxième valeur de  $V_R$  ( $V_{\text{SITE}}$ ) est mesurée avec les câbles coaxiaux reconnectés à leurs antennes respectives, puis le signal maximal est mesuré lorsque l'antenne de réception est balayée en hauteur (de 1 m à 4 m pour des distances de séparation de 3 m, 5 m 10 m et 30 m). Pour ces deux mesures, la tension de la source de signal  $V_i$  est maintenue constante. Les résultats de mesure, ainsi que le NSA théorique ( $A_N$ ), sont utilisés dans l'Equation (6) pour obtenir les résultats de l'écart de SA. Tous les termes sont en dB.

$$\Delta A_s = V_{\text{DIRECT}} - V_{\text{SITE}} - F_{\text{aT}} - F_{\text{aR}} - A_N \quad (6)$$

où

$\Delta A_s$  est l'écart de SA;

$F_{\text{aT}}$  est le facteur d'antenne d'émission;

$F_{\text{aR}}$  est le facteur d'antenne de réception;

$A_N$  est le NSA théorique, d'après le Tableau 2.

$F_{\text{aT}}$  et  $F_{\text{aR}}$  doivent être étalonnés comme des facteurs d'antenne en espace libre (voir 6.5.2).

Noter que les deux premiers termes représentent la mesure réelle de l'affaiblissement de l'emplacement, c'est-à-dire que  $(V_{\text{DIRECT}} - V_{\text{SITE}})$  est égal à la vue classique de l'affaiblissement de l'emplacement qui correspond à la perte d'insertion du trajet de propagation, y compris les propriétés des deux antennes utilisées.

Pour confirmer l'absence de dérive de tension due aux variations de température dans les instruments de mesure ou les câbles, mesurer à nouveau  $V_{\text{DIRECT}}$  après une période de temps appropriée pour confirmer la stabilité des résultats.

Selon la méthode de mesure de NSA utilisée (méthode par balayage de fréquence selon 6.7.2 ou méthode de la fréquence discrète selon 6.7.1), le critère de validation doit être respecté à toutes les fréquences de la gamme de fréquences souhaitée.

Le Tableau 2 énumère les valeurs de NSA pour les antennes à large bande, telles que les antennes biconiques ou les LPDA, pour les polarisations horizontale et verticale par rapport au plan de masse.

Si  $\Delta A_s$  est supérieur à  $\pm 4$  dB, suivre la procédure décrite en 6.9.

Tableau 2 – Affaiblissement normalisé théorique de l'emplacement,  $A_N$  –  
Géométries recommandées pour les antennes à large bande<sup>a</sup> (1 de 2)

| Polarisation     | Horizontale                  |       |      |      |      |      |      |      |      |      | Verticale |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------------|------------------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                  | 3                            | 3     | 5    | 5    | 5    | 10   | 10   | 10   | 10   | 30   | 3         | 3    | 5    | 5    | 5    | 10   | 10   | 10   | 10   | 30   |
| $d$<br>m         | 3                            | 1     | 2    | 1    | 2    | 1    | 2    | 1    | 2    | 2    | 1         | 1,5  | 1    | 1,5  | 2,0  | 1    | 1,5  | 2,5  | 3,5  | 30   |
| $h_1$<br>m       | 1                            | 2     | 1    | 2    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1         | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1,5  |
| $h_{2,min}$<br>m | 1                            | 1     | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1         | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    |
| $h_{2,max}$<br>m | 4                            | 4     | 4    | 4    | 4    | 4    | 4    | 4    | 4    | 4    | 4         | 4    | 4    | 4    | 4    | 4    | 4    | 4    | 4    | 4    |
| $f_M$<br>MHz     | $A_N$<br>dB(m <sup>2</sup> ) |       |      |      |      |      |      |      |      |      |           |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 30               | 15,8                         | 11,0  | 20,7 | 15,6 | 14,3 | 29,8 | 24,1 | 21,3 | 19,7 | 47,8 | 41,7      | 8,2  | 9,3  | 11,4 | 12,0 | 12,7 | 16,7 | 17,4 | 18,2 | 26,0 |
| 35               | 13,4                         | 8,8   | 18,2 | 13,3 | 12,2 | 27,1 | 21,6 | 18,9 | 17,4 | 45,1 | 39,1      | 6,9  | 8,0  | 10,1 | 10,7 | 11,5 | 15,4 | 16,1 | 16,9 | 24,7 |
| 40               | 11,3                         | 7,0   | 16,0 | 11,4 | 10,5 | 24,9 | 19,4 | 16,9 | 15,6 | 42,8 | 36,8      | 5,8  | 7,0  | 8,9  | 9,6  | 10,4 | 14,2 | 14,4 | 15,0 | 23,5 |
| 45               | 9,4                          | 5,5   | 14,1 | 9,8  | 9,1  | 22,9 | 17,5 | 15,2 | 14,2 | 40,8 | 34,7      | 4,9  | 6,1  | 7,9  | 8,6  | 9,5  | 13,2 | 13,4 | 14,0 | 22,5 |
| 50               | 7,8                          | 4,2   | 12,4 | 8,5  | 7,9  | 21,1 | 15,9 | 13,7 | 13,1 | 38,9 | 32,8      | 4,0  | 5,4  | 7,1  | 7,8  | 8,7  | 12,3 | 12,5 | 13,2 | 21,6 |
| 60               | 5,0                          | 2,2   | 9,5  | 6,3  | 6,0  | 18,0 | 13,1 | 11,5 | 11,3 | 35,8 | 29,8      | 2,6  | 4,1  | 5,6  | 6,3  | 7,4  | 10,7 | 11,0 | 11,7 | 20   |
| 70               | 2,8                          | 0,6   | 7,2  | 4,6  | 4,4  | 15,5 | 10,9 | 9,9  | 9,9  | 33,1 | 27,2      | 1,5  | 3,2  | 4,3  | 5,2  | 6,4  | 9,4  | 9,7  | 10,5 | 18,7 |
| 80               | 0,9                          | -0,7  | 5,3  | 3,2  | 3,2  | 13,3 | 9,2  | 8,6  | 8,7  | 30,8 | 24,9      | 0,6  | 2,6  | 3,3  | 4,3  | 5,6  | 8,3  | 8,6  | 9,5  | 17,5 |
| 90               | -0,7                         | -1,8  | 3,7  | 2,0  | 2,1  | 11,4 | 7,8  | 7,5  | 7,7  | 28,8 | 23,0      | -0,1 | 2,1  | 2,4  | 3,5  | 5,1  | 7,3  | 7,6  | 8,7  | 16,5 |
| 100              | -2,0                         | -2,8  | 2,3  | 1,0  | 1,1  | 9,7  | 6,7  | 6,6  | 6,7  | 27   | 21,2      | -0,7 | 1,9  | 1,6  | 2,9  | 4,7  | 6,4  | 6,8  | 8,0  | 15,6 |
| 120              | -4,2                         | -4,4  | 0,1  | -0,7 | -0,5 | 7,0  | 5,0  | 4,9  | 5,1  | 23,9 | 18,2      | -1,5 | 1,3  | 0,3  | 2,1  | 3,4  | 4,9  | 5,4  | 7,0  | 14,0 |
| 140              | -6,0                         | -5,8  | -1,7 | -2,1 | -1,9 | 4,8  | 3,5  | 3,5  | 3,8  | 21,2 | 15,8      | -1,8 | -1,5 | -0,6 | 1,7  | 1,0  | 3,7  | 4,3  | 6,2  | 12,7 |
| 160              | -7,4                         | -6,7  | -3,1 | -3,3 | -3,1 | 3,1  | 2,3  | 2,4  | 2,6  | 19   | 13,8      | -1,7 | -3,7 | -1,3 | 1,0  | -0,7 | 2,6  | 3,4  | 4,1  | 11,5 |
| 180              | -8,6                         | -7,2  | -4,3 | -4,4 | -4,1 | 1,7  | 1,2  | 1,3  | 1,6  | 17   | 12,0      | -1,3 | -5,3 | -1,8 | -1,0 | -2,2 | 1,8  | 2,7  | 2,8  | 10,5 |
| 200              | -9,6                         | -8,4  | -5,3 | -5,3 | -4,7 | 0,6  | 0,3  | 0,4  | 0,6  | 15,3 | 10,6      | -3,6 | -6,7 | -2,0 | -2,6 | -3,3 | 1,0  | 2,1  | 1,6  | 9,7  |
| 250              | -11,7                        | -10,6 | -7,5 | -6,7 | -6,7 | -1,6 | -1,7 | -1,6 | -1,2 | 11,6 | 7,8       | -7,7 | -9,1 | -3,2 | -5,5 | -5,6 | -0,5 | 0,3  | -0,6 | 7,7  |

33

| Polarisation                                                                |                                                                                                                                                                                                  | Horizontale         |       |       |       |       |       |       |       |       |      | Verticale |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |  |
|-----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|--|
| $d$                                                                         | m                                                                                                                                                                                                | 3                   | 3     | 5     | 5     | 10    | 10    | 10    | 10    | 30    | 30   | 3         | 3     | 5     | 5     | 5     | 10    | 10    | 10    | 10    | 30   | 30   |  |
| $h_1$                                                                       | m                                                                                                                                                                                                | 1                   | 2     | 1     | 2     | 2,5   | 1     | 2     | 3     | 4     | 1    | 2         | 1     | 1,5   | 1     | 1,5   | 2,0   | 1     | 1,5   | 2,5   | 3,5  | 1    |  |
| $h_{2,min}$                                                                 | m                                                                                                                                                                                                | 1                   | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1    | 1         | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1    | 1    |  |
| $h_{2,max}$                                                                 | m                                                                                                                                                                                                | 4                   | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4    | 4         | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4    | 4    |  |
| $f_M$                                                                       | MHz                                                                                                                                                                                              | $A_N$               |       |       |       |       |       |       |       |       |      |           |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |  |
|                                                                             |                                                                                                                                                                                                  | dB(m <sup>2</sup> ) |       |       |       |       |       |       |       |       |      |           |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |  |
|                                                                             | 300                                                                                                                                                                                              | -12,8               | -12,3 | -9,2  | -8,5  | -8,4  | -3,3  | -3,3  | -3,0  | -2,8  | 8,8  | 6,1       | -10,5 | -10,9 | -6,2  | -7,5  | -7,3  | -1,5  | -2,4  | -1,9  | 6,2  | 6,5  |  |
|                                                                             | 400                                                                                                                                                                                              | -14,8               | -14,9 | -11,8 | -11,2 | -11,0 | -5,9  | -5,8  | -5,6  | -5,4  | 4,6  | 3,5       | -14,0 | -12,6 | -10,0 | -10,5 | -10,0 | -4,1  | -5,0  | -5,1  | 3,9  | 4,3  |  |
|                                                                             | 500                                                                                                                                                                                              | -17,3               | -16,7 | -13,0 | -13,3 | -13,0 | -7,9  | -7,6  | -7,6  | -7,3  | 1,8  | 1,6       | -16,4 | -15,1 | -12,5 | -12,6 | -11,6 | -6,7  | -7,2  | -7,1  | 2,1  | 2,8  |  |
|                                                                             | 600                                                                                                                                                                                              | -19,1               | -18,3 | -14,9 | -14,9 | -14,5 | -9,5  | -9,3  | -9,2  | -8,9  | 0,0  | 0,0       | -16,3 | -16,9 | -14,4 | -13,5 | -13,4 | -8,7  | -9,0  | -8,7  | 0,8  | 1,8  |  |
|                                                                             | 700                                                                                                                                                                                              | -20,6               | -19,7 | -16,4 | -16,1 | -15,9 | -10,8 | -10,6 | -10,5 | -10,2 | -1,3 | -1,4      | -18,4 | -18,4 | -15,9 | -15,1 | -14,8 | -10,2 | -9,9  | -9,3  | -0,3 | -0,9 |  |
|                                                                             | 800                                                                                                                                                                                              | -21,3               | -20,8 | -17,6 | -17,3 | -17,1 | -12,0 | -11,8 | -11,6 | -11,4 | -2,5 | -2,5      | -20,0 | -19,3 | -17,2 | -16,5 | -16,0 | -11,5 | -11,1 | -10,5 | -1,1 | -2,3 |  |
|                                                                             | 900                                                                                                                                                                                              | -22,5               | -21,8 | -18,7 | -18,4 | -18,0 | -12,8 | -12,9 | -12,7 | -12,4 | -3,5 | -3,5      | -21,3 | -20,4 | -17,4 | -17,6 | -16,9 | -12,6 | -12,1 | -11,5 | -1,7 | -3,4 |  |
|                                                                             | 1 000                                                                                                                                                                                            | -23,5               | -22,7 | -19,7 | -19,3 | -19,0 | -13,8 | -13,8 | -13,6 | -13,6 | -4,4 | -4,5      | -22,4 | -21,4 | -18,5 | -18,6 | -17,9 | -13,6 | -13,1 | -12,4 | -3,5 | -4,3 |  |
| <sup>a</sup>                                                                | Ces données s'appliquent aux antennes qui sont dégagées d'au moins 25 cm du plan de masse lorsque le centre de ces antennes se situe à 1 m au-dessus du plan de masse en polarisation verticale. |                     |       |       |       |       |       |       |       |       |      |           |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |  |
| Des valeurs à d'autres fréquences sont obtenues par interpolation linéaire. |                                                                                                                                                                                                  |                     |       |       |       |       |       |       |       |       |      |           |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |  |
| $d$                                                                         | est la distance de séparation horizontale entre la projection des points médians de l'antenne d'émission et de l'antenne réception sur le plan de masse.                                         |                     |       |       |       |       |       |       |       |       |      |           |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |  |
| $h_1$                                                                       | est la hauteur du centre de l'antenne d'émission au-dessus du plan de masse.                                                                                                                     |                     |       |       |       |       |       |       |       |       |      |           |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |  |
| $h_2$                                                                       | est la plage de hauteurs du centre de l'antenne de réception au-dessus du plan de sol. Le signal maximal reçu dans cette plage de balayage en hauteur est utilisé pour les résultats du NSA.     |                     |       |       |       |       |       |       |       |       |      |           |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |  |
| $f_M$                                                                       | est la fréquence.                                                                                                                                                                                |                     |       |       |       |       |       |       |       |       |      |           |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |  |
| $A_N$                                                                       | est le NSA.                                                                                                                                                                                      |                     |       |       |       |       |       |       |       |       |      |           |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |  |

## 6.5.2 Etalonnage de l'antenne

Pour une validation de l'emplacement utilisant la méthode du NSA, les facteurs d'antenne en espace libre mesurés selon les méthodes données dans la CISPR 16-1-6 sont utilisés.

L'utilisation de facteurs d'antenne en espace libre pour le calcul du NSA, selon l'Equation (6), peut donner lieu à des erreurs, en particulier pour les antennes doublets accordées et biconiques en dessous de 300 MHz. Cela s'explique par le fait que le modèle pour les valeurs de NSA théoriques données dans le Tableau 2 est basé sur un doublet hertzien et non sur les antennes réelles utilisées pour mesurer l'affaiblissement de l'emplacement. Ce modèle ne tient pas compte de la variation notable du facteur d'antenne résultant du couplage mutuel au plan de masse, ou ne tient pas compte du diagramme de rayonnement de l'antenne. Ce problème ne se produit pas avec la méthode RSM, car elle n'intègre pas de facteurs d'antenne. Une solution partielle qui réduit significativement les incertitudes des facteurs d'antenne dans la méthode du NSA est disponible en [19].

## 6.6 Méthode de site de référence pour OATS et SAC

### 6.6.1 Généralités

La méthode RSM est une autre méthode pour valider l'aptitude d'un emplacement d'essai en utilisant des antennes à large bande. Comme avec la méthode du NSA, l'évaluation de  $V_{\text{DIRECT}}$  et  $V_{\text{SITE}}$  est exigée. Ces résultats sont obtenus en utilisant exactement les mêmes géométries et les mêmes polarisations que celles qui sont spécifiées pour la méthode du NSA. Pour un OATS protégé contre les intempéries par une enceinte ou une SAC, les configurations sont les suivantes:

- distance d'essai de 3 m, 5 m ou 10 m;

NOTE 1 Bien que la RSM puisse être appliquée pour des emplacements de mesure à 30 m, ceci est impossible en raison du nombre limité d'emplacements d'essai de référence appropriés.

- hauteurs des antennes d'émission de 1 m et 2 m pour la polarisation horizontale, et de 1 m et 1,5 m pour la polarisation verticale;

NOTE 2 Voir les autres hauteurs d'antenne d'émission dans le Tableau 2.

- plage de balayage en hauteur de l'antenne de réception de 1 m à 4 m.

La principale différence entre les méthodes RSM et NSA est le calcul des écarts de SA, en utilisant l'Equation (7):

$$\Delta A_s = V_{\text{DIRECT}} - V_{\text{SITE}} - A_{\text{APR}} \quad (7)$$

Plutôt que d'utiliser les facteurs d'antenne pour l'antenne d'émission et l'antenne de réception et les valeurs de NSA ( $A_N$ ) calculées, comme dans l'Equation (6) de la méthode du NSA, les résultats de mesure de SA de référence avec une paire d'antennes ( $A_{\text{APR}}$ ) sont utilisés.

NOTE 3  $A_{\text{APR}}$  ne tient pas compte des facteurs d'antenne, mais intègre le couplage entre les antennes, y compris les effets du couplage de chaque antenne avec le sol. De plus, les diagrammes de rayonnement des antennes sont inclus, ce qui diffère de la méthode du NSA, où une approximation des diagrammes de rayonnement est effectuée en reprenant ceux de doublets hertiens.

Pour un OATS protégé contre les intempéries par une enceinte et une SAC, quatre ensembles de données sont exigés, à savoir deux hauteurs d'antenne avec deux polarisations. Pour chaque distance, polarisation et hauteur d'antenne supplémentaires, un  $A_{\text{APR}}$  différent est nécessaire, comme indiqué dans l'exemple de modèle du Tableau 3.

**Tableau 3 – Exemple de modèle pour les ensembles de données  $A_{APR}$**

| Fréquence<br>MHz | Affaiblissement de site de référence avec une paire d'antennes,<br>$A_{APR}$<br>dB |             |             |               |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------|---------------|
|                  | Horizontal                                                                         |             | Vertical    |               |
|                  | $h_1 = 1$ m                                                                        | $h_1 = 2$ m | $h_1 = 1$ m | $h_1 = 1,5$ m |
| 30               | ...                                                                                | ...         | ...         | ...           |
| 31               | ...                                                                                | ...         | ...         | ...           |
| 32               | ...                                                                                | ...         | ...         | ...           |
| ...              | ...                                                                                | ...         | ...         | ...           |

Lorsqu'un analyseur de réseau ou un récepteur à pas de fréquence est utilisé pour effectuer une mesure par RSM, les pas de fréquence du Tableau 4 doivent être utilisés.

NOTE 4 La RSM est une méthode par balayage de fréquence. Le Tableau 4 définit le pas maximal.

NOTE 5 Lorsqu'on utilise un récepteur à accord continu ou un analyseur de spectre pour une mesure par RSM, la définition du pas de fréquence du Tableau 4 ne s'applique pas.

**Tableau 4 – Pas de fréquence de la RSM**

| Plage de fréquences<br>MHz | Pas de fréquence maximal<br>MHz |
|----------------------------|---------------------------------|
| 30 à 100                   | 1                               |
| 100 à 500                  | 5                               |
| 500 à 1 000                | 10                              |

Les fréquences pour la mesure par RSM doivent être identiques aux fréquences utilisées pour obtenir la valeur  $A_{APR}$  (par exemple, à un REFTS; voir 6.6.3).

Le critère  $\Delta A_s$ , voir Equation (7), doit être respecté pour les fréquences indiquées dans le Tableau 4.

## 6.6.2 Antennes non admises pour les mesures par RSM

Pour les besoins du présent document, des antennes hybrides ne doivent pas être utilisées pour les mesures de validation de l'emplacement par RSM.

NOTE 1 Lors de la validation d'emplacements de SAC spécifiques à l'aide d'antennes biconiques et hybrides, un écart important a été observé entre les résultats. La principale raison de cet écart est la différence de distance entre les centres de phase des antennes, par exemple 10 m pour les antennes biconiques et environ 11,2 m pour les antennes hybrides typiques. Pour éviter ces problèmes de reproductibilité, les antennes hybrides sont exclues.

NOTE 2 Les antennes hybrides ne sont en général pas utilisées pour la validation de l'emplacement en raison des incertitudes plus grandes qui sont associées au positionnement de ces antennes généralement plus grandes et plus encombrantes, en particulier pour un emplacement d'essai à 3 m où la longueur globale combinée des deux antennes hybrides peut être proche de 3 m.

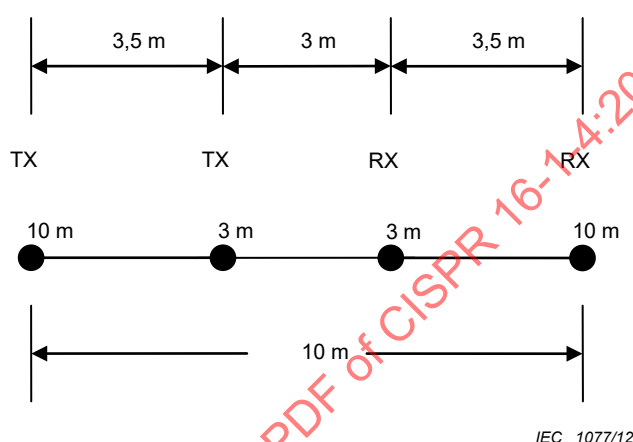
NOTE 3 Les performances obtenues pour une SAC sont généralement meilleures avec des antennes normales (biconiques ou LPDA) pour un  $\Delta A_s$  plus faible; il est fortement déconseillé d'ajuster les paramètres de conception de la SAC pour obtenir la conformité de validation de l'emplacement avec des antennes hybrides. Pour construire une SAC délivrant de meilleures performances que celles exigées, la norme demande au fabricant de respecter un écart  $\Delta A_s = 3,5$  dB, par exemple.

### 6.6.3 Détermination de l'affaiblissement de site de référence avec une paire d'antennes sur un REFTS

Une approche de la mesure de  $A_{APR}$  consiste à utiliser un emplacement d'essai de référence (REFTS) dont les performances ont été déterminées conformément aux procédures décrites dans la CISPR 16-1-5. Une approche distincte est donnée en 6.6.4.

Avec une distance d'essai de 10 m, les positions du REFTS utilisées pour déterminer  $A_{APR}$  doivent être identiques à celles utilisées pour la validation du REFTS selon les procédures de la CISPR 16-1-5.

Avec une distance d'essai de 3 m, des mesures doivent être effectuées sur l'axe tracé entre les positions de l'antenne d'émission et l'antenne de réception utilisées pour la validation du REFTS selon les procédures de la CISPR 16-1-5 (voir Figure 7).



IEC 1077/12

#### Légende

TX = antenne d'émission  
RX = antenne de réception

**Figure 7 – Position des points d'essai pour un essai à des distances de 3 m et de 10 m**

La procédure suivante doit être utilisée pour déterminer  $A_{APR}$ :

- déterminer  $V_{DIRECT}$ ;
- disposer l'antenne d'émission en polarisation horizontale à une hauteur de 1 m;
- disposer l'antenne de réception avec la même polarisation à une distance  $d$ ;
- déterminer  $V_{SITE}$  pendant le balayage en hauteur de 1 m à 4 m de l'antenne de réception;
- calculer  $A_{APR}$  comme suit, à l'aide de l'Equation (8):

$$A_{APR} = V_{DIRECT} - V_{SITE} \quad (8)$$

- répéter les étapes b) à e) pour une hauteur d'antenne d'émission de 2 m avec polarisation horizontale, puis pour des hauteurs d'émission de 1 m et 1,5 m avec polarisation verticale.

### 6.6.4 Détermination de l'affaiblissement de site de référence avec une paire d'antennes à l'aide d'une technique de moyennage sur un OATS de grandes dimensions

Une autre méthode pour déterminer  $A_{APR}$  consiste à effectuer des mesures sur un OATS de grandes dimensions (voir les alinéas suivants de ce paragraphe pour savoir ce qui est entendu par "grandes dimensions"). Les écarts de SA par rapport au comportement idéal sont dus à la limitation de la surface et de la planéité du plan de sol, et aux réflexions des objets

situés au voisinage immédiat, par exemple les bâtiments ou les arbres. D'autre part, les réflexions des bords du plan de sol peuvent produire une ondulation sinusoïdale du SA mesuré, principalement pour les mesures en polarisation verticale. Lorsque la position de la paire d'antennes sur le plan de sol varie, l'amplitude et la phase de l'ondulation varient également.

Pour réduire ces effets le plus possible, le SA est mesuré pour plusieurs positions de la paire d'antennes et une valeur moyenne est calculée. Cette valeur moyenne converge vers le SA d'un site idéal.

NOTE 1 Une technique similaire est indiquée en référence [19].

L'OATS de grandes dimensions doit satisfaire aux exigences suivantes:

- plan de sol de 30 m sur 20 m minimum;
- écart par rapport à la planéité inférieur à  $\pm 10$  mm;
- aucune couche protectrice (diélectrique) sur le plan de sol métallique.

La procédure suivante doit être utilisée pour déterminer  $A_{APR}$ .

- a) Identifier des points d'essai appariés sur l'OATS selon la configuration indiquée à la Figure 8. Les neuf points associés à chaque antenne doivent être situés sur le plan de sol. Si une couverture de protection contre les intempéries est présente sur l'OATS, la distance minimale entre un quelconque point d'essai et une quelconque partie de cette couverture doit être supérieure à 3 m. Les positions de mesure à l'intérieur de la couverture sont interdites.

NOTE 2 Il est avantageux de disposer la grille locale (système de coordonnées) à un angle relatif non nul par rapport aux bords (rectilignes) du plan de sol et à un angle relatif non nul par rapport aux jonctions soudées. Un exemple d'une telle implantation est donné à la Figure 9.

Dans les conditions suivantes, l'utilisation de moins de neuf positions de mesure (18 points) doit être admise:

- 1) Lorsque la conformité a été démontrée antérieurement:

si la conformité au critère écart type  $s \leq 0,3$  dB [voir Equation (10)] a été démontrée pour au moins une paire d'antennes pour chaque sous-gamme de fréquences dans les 24 mois qui précèdent, le nombre minimal suivant de positions de mesure de la paire d'antennes doit être admis:

- une position (au centre) pour les antennes biconiques, en polarisation horizontale;
- trois positions (au centre, plus deux autres positions) pour les antennes biconiques, en polarisation verticale;
- une position (au centre) pour les antennes LPDA dans les deux polarisations.

- 2) Lorsque la conformité a été démontrée avec un plus petit nombre de points, si le critère de conformité est respecté avec moins de neuf points, il est admis d'utiliser ce nombre de points.

NOTE 3 Pour déterminer l' $A_{APR}$  le plus précis, l'utilisation de toutes les neuf positions de la paire d'antennes améliorera le résultat moyen.

- b) Numéroté les positions de mesure choisies de 1 à  $N$  ( $N \leq 9$ ).
- c) Disposer les antennes dans la position 1.
- d) Mesurer  $A_{APR,1}$  pour toutes les hauteurs et polarisations exigées à toutes les fréquences énumérées dans le Tableau 4.
- e) Répéter l'étape d) pour toutes les autres positions.
- f) Calculer la moyenne, exprimée en dB, de l' $A_{APR,i}$  mesuré, à l'aide de l'Equation (9):



$$A_{\text{APR}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N A_{\text{APR},i} \quad (9)$$

g) Calculer l'écart type de l' $A_{\text{APR}}$  moyen, exprimé en dB, à l'aide de l'Equation (10):

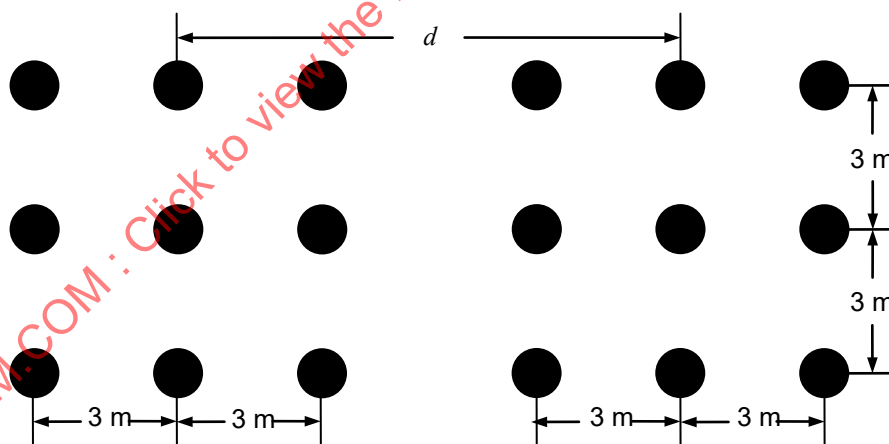
$$s(A_{\text{APR}}) = \sqrt{\frac{1}{N(N-1)} \sum_{i=1}^N (A_{\text{APR},i} - A_{\text{APR}})^2} \quad (10)$$

Les valeurs  $A_{\text{APR}}$  étalonnées doivent être réputées utilisables pour une validation ultérieure de COMTS si  $s \leq 0,6$  dB pour toutes les fréquences mesurées.

Si  $N \geq 2$ , l'Equation (10) doit être utilisée pour calculer la précision de  $s(A_{\text{APR}})$  nécessaire pour un calcul d'incertitude. Si  $N = 1$ , l'hypothèse de  $s = 0,6$  dB doit être retenue.

Il faut particulièrement veiller à ce qu'aucun décalage commun (effet systématique) ne soit introduit dans les données pour toutes les positions choisies. Un tel effet pourrait être dû à l'influence du mât d'antenne. Pour certains mâts d'antenne, un couplage significatif entre la couverture métallique du boîtier du moteur et l'antenne peut se produire. L'amplitude de cette influence doit être étudiée en modifiant la distance entre l'antenne et la couverture du moteur,  $d_{\text{Ant}}$ , (voir Figure 10), et en répétant les mesures  $A_{\text{APR}}$  avec ces nouvelles configurations. Cette influence doit être incluse dans le calcul d'incertitude.

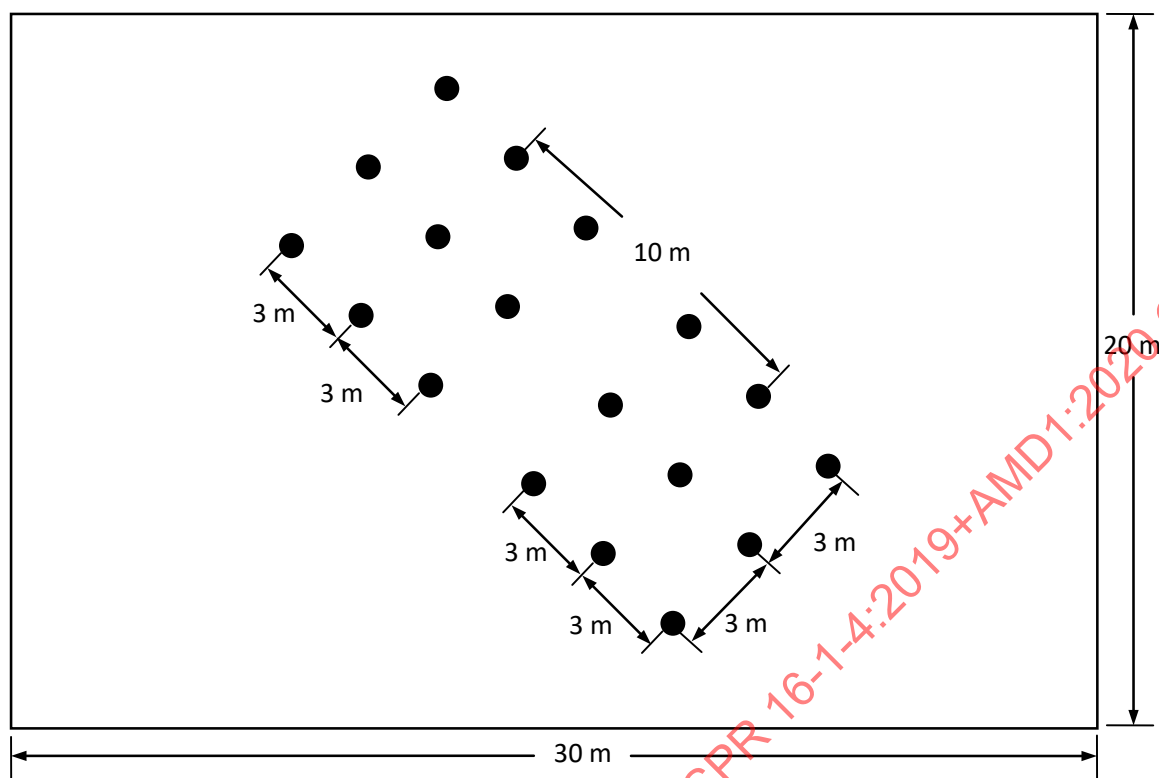
Un décalage commun peut également être causé par des réflexions du câble d'antenne. Pour réduire cette influence le plus possible, le câble doit être tendu horizontalement sur une longueur d'au moins 2 m derrière l'antenne avant d'être abaissé jusqu'au sol. Des ferrites à pince doivent être utilisées sur les câbles pour réduire les courants de surface. Ce facteur d'influence doit également être inclus dans le calcul d'incertitude.



IEC 1078/12

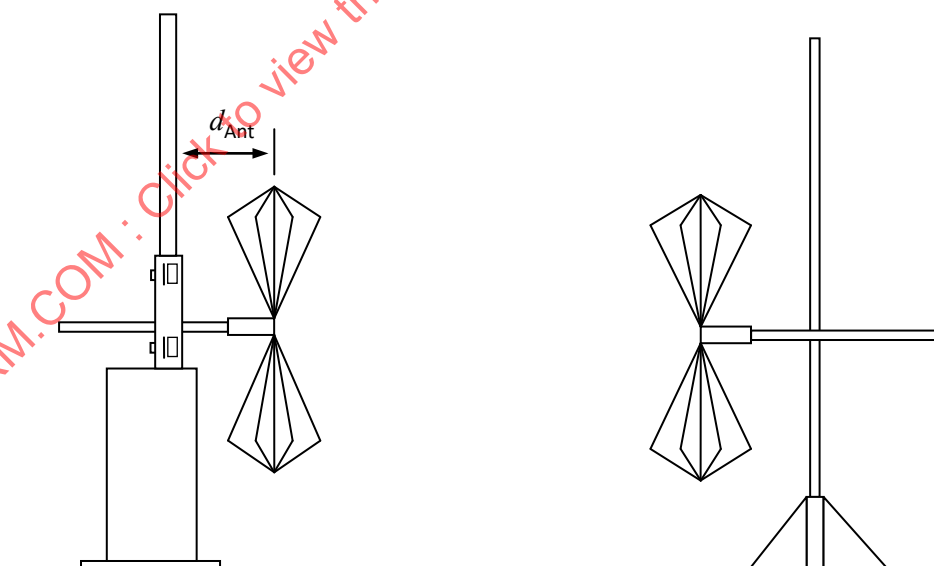
$d$  est la distance entre les projections des deux points de référence d'antenne

**Figure 8 – Position des points d'essai appariés pour toutes les distances d'essai**



IEC 1079/12

Figure 9 – Exemple de choix de points d'essai appariés pour un essai à une distance de 10 m



IEC 1080/12

Figure 10 – Représentation d'une étude de l'influence du mât d'antenne sur  $A_{APR}$

## 6.7 Validation d'un OATS par la méthode du NSA

### 6.7.1 Méthode de la fréquence discrète

#### 6.7.1.1 Montage de mesure

Se référer à la Figure 11 et à la Figure 12 du 6.8 pour obtenir des détails spécifiques concernant le montage d'essai. Le générateur de signaux est raccordé à l'antenne d'émission par une longueur de câble appropriée. L'antenne d'émission est placée dans la position souhaitée. La hauteur de l'antenne d'émission est fixée à  $h_1$  (voir Tableau 2 pour connaître les valeurs de  $h_1$ ) et la polarisation souhaitée est choisie. Pour les antennes à large bande, les hauteurs d'antenne doivent être de  $h_1 = h_{2,\min} = 1$  m.

L'antenne de réception est montée sur un mât qui permet le balayage de toute la plage de hauteurs, de  $h_{2,\min}$  à  $h_{2,\max}$ , placé à une distance  $d$  de l'antenne d'émission; elle est raccordée au récepteur de mesure ou à l'analyseur de spectre par l'intermédiaire d'une longueur de câble appropriée. La polarisation choisie est la même que pour l'antenne d'émission.

NOTE Contrairement au montage d'essai représenté à la Figure 11 et à la Figure 12, la validation de l'emplacement pour un OATS exige seulement une mesure d'affaiblissement d'emplacement unique.

#### 6.7.1.2 Procédure de mesure

Les étapes suivantes doivent être exécutées pour chaque fréquence indiquée dans le Tableau 2. Les mesures sont d'abord effectuées sur les antennes alignées horizontalement, puis sur les antennes alignées verticalement, la hauteur de l'antenne d'émission étant fixée à  $h_1$ .

- Régler le niveau de sortie du générateur de signaux pour obtenir un affichage de la tension reçue largement supérieur au bruit ambiant, et au bruit du récepteur de mesure ou de l'analyseur de spectre.
- Elever l'antenne de réception sur le mât dans la plage de balayage  $h_2$  comme spécifié dans le Tableau 2.  
Noter le niveau maximal du signal. Cette valeur correspond à  $V_{\text{SITE}}$  dans l'Equation (6) (voir 6.5).
- Déconnecter les câbles de l'antenne d'émission et de l'antenne de réception, puis les connecter directement entre eux au moyen d'un adaptateur intermédiaire.
- Noter le niveau du signal, câbles de l'antenne d'émission et de l'antenne de réception connectés. Cette valeur correspond à  $V_{\text{DIRECT}}$  dans l'Equation (6).
- A chaque fréquence et pour chaque polarisation, introduire les valeurs des étapes b) et d) dans l'Equation (6).
- Introduire les facteurs d'antenne de l'antenne d'émission et de l'antenne de réception à la fréquence de mesure dans l'Equation (6).
- Résoudre l' $A_s = V_{\text{DIRECT}} - V_{\text{SITE}} - F_{\text{AT}} - F_{\text{AR}}$  pour  $A_s$ , qui est le NSA associé à la fréquence de mesure et à la polarisation utilisées.
- Soustraire la valeur de l'étape g) du NSA théorique approprié figurant dans le Tableau 2 pour obtenir  $\Delta A_s$ .
- Si les résultats  $\Delta A_s$  de l'étape h) sont inférieurs à  $\pm 4$  dB, l'emplacement est réputé acceptable à cette fréquence et cette polarisation.
- Répéter les étapes a) à i) pour la combinaison de fréquence et de polarisation suivante.

NOTE Pour les mesures de NSA, une désadaptation d'impédance à la sortie de la source de signal ou à l'entrée du récepteur de mesure ou de l'analyseur de spectre peut entraîner des réflexions sources d'erreurs. Ceci peut être évité en utilisant des atténuateurs de 10 dB, à savoir un au niveau de l'antenne d'émission et un au niveau de l'antenne de réception. Si la sensibilité du système le permet, ces atténuateurs restent connectés aux câbles pendant tout le processus de mesure de NSA.

## 6.7.2 Méthode par balayage de fréquence

### 6.7.2.1 Montage de mesure

Le montage est similaire à celui de 6.7.1, à l'exception du fait que seules des antennes à large bande sont utilisées. Aucune restriction du balayage en hauteur des antennes à polarisation verticale n'est nécessaire en raison de la taille réduite de ces antennes à large bande (par rapport aux doublets accordés, par exemple). Les hauteurs d'antenne doivent être de

$$h_1 = h_{2,\min} = 1 \text{ m.}$$

### 6.7.2.2 Procédure de mesure

Il convient d'exécuter les étapes suivantes en utilisant des appareils de mesure automatiques dotés d'une capacité de maintien des valeurs de crête ("maintien de la valeur maximale"), d'une capacité de mémorisation et d'un générateur de poursuite. Dans cette méthode, la hauteur de l'antenne de réception,  $h_2$ , et la fréquence sont toutes deux balayées sur les plages de hauteurs et les gammes de fréquences exigées. Les gammes de fréquences sont habituellement déterminées par le type d'antenne à large bande utilisé. La vitesse de balayage en fréquence doit être beaucoup plus grande que la vitesse de balayage en hauteur de l'antenne. Régler la hauteur de l'antenne d'émission à  $h_1$ .

- Régler le niveau de sortie du générateur de poursuite pour obtenir un affichage de la tension reçue largement supérieur au bruit ambiant, et au bruit du récepteur à balayage ou de l'analyseur de spectre.
- Elever l'antenne de réception sur le mât jusqu'à la hauteur maximale de la plage de balayage, comme spécifié dans le Tableau 2.
- Régler l'analyseur de spectre pour balayer la gamme de fréquences souhaitée. S'assurer que l'analyseur de spectre est réglé de telle façon qu'un signal similaire, d'une amplitude jusqu'à 60 dB supérieure, puisse être affiché sur la même échelle d'amplitude. Cela permet l'enregistrement des niveaux à l'étape d).
- Abaisser lentement l'antenne de réception jusqu'à la hauteur minimale de la plage de balayage, comme spécifié dans le Tableau 2 pour la géométrie de site appropriée. Mémoriser ou enregistrer l'affichage de la tension maximale reçue  $V_{\text{SITE}}$  en dB( $\mu$ V). (Il convient que le temps d'abaissement de l'antenne soit beaucoup plus long que la durée de balayage en fréquence.)
- Déconnecter les câbles de l'antenne d'émission et de l'antenne de réception et les connecter directement entre eux au moyen d'un adaptateur intermédiaire. Mémoriser ou enregistrer l'affichage de la tension résultante  $V_{\text{DIRECT}}$  en dB( $\mu$ V).
- A chaque fréquence, soustraire la tension mesurée à l'étape d) de la tension mesurée à l'étape e). Soustraire également les facteurs d'antenne de l'antenne d'émission et de l'antenne de réception, respectivement  $F_{\text{aT}}$  en dB( $\text{m}^{-1}$ ) et  $F_{\text{aR}}$  en dB( $\text{m}^{-1}$ ) (les facteurs d'antenne peuvent être obtenus sous la forme d'une fonction continue de la fréquence par simple ajustement linéaire de courbe sur un ensemble de valeurs discrètes du facteur d'antenne). Le résultat est la valeur  $A_s$  mesurée sur la gamme des fréquences utilisées, qu'il convient de tracer. Tracer également le NSA théorique d'un site idéal (voir Tableau 2).
- Les différences  $\Delta A_s$  trouvées doivent être conformes au critère des  $\pm 4$  dB.

NOTE Pour les méthodes de mesure de NSA, une désadaptation d'impédance à la sortie de la source de signal ou à l'entrée du récepteur de mesure ou de l'analyseur de spectre peut entraîner des réflexions sources d'erreurs. Ceci peut être évité en utilisant des atténuateurs de 10 dB, à savoir un entre le connecteur de l'antenne d'émission et le connecteur de l'antenne de réception, et les câbles d'antenne correspondants. Si la sensibilité du système le permet, ces atténuateurs restent typiquement connectés aux câbles pendant tout le processus de mesure de NSA.

## 6.8 Validation d'un OATS protégé contre les intempéries par une enceinte ou d'une SAC

Pour un OATS avec enceinte de protection contre les intempéries ou pour une SAC, une mesure unique de l'affaiblissement de site est insuffisante pour mettre en évidence les

réflexions possibles dues aux matériaux de construction et/ou aux matériaux absorbants RF constituant les parois et le plafond de l'installation. Pour ces sites, un "volume d'essai" est défini comme le volume délimité par le plus gros EUT ou système à soumettre à essai, lorsqu'il tourne de 360° autour de sa position centrale, par exemple sur une table tournante. Pour évaluer les polarisations horizontale et verticale, comme représenté à la Figure 11 et à la Figure 12, il peut être exigé d'effectuer au maximum 20 mesures distinctes de SA, à savoir cinq positions dans le plan horizontal (centre, droite, gauche, devant, derrière, mesurées par rapport au centre et à une ligne tracée du centre à la position de l'antenne de mesure), pour deux polarisations (horizontale et verticale) et pour deux hauteurs (1 m et 2 m en polarisation horizontale, 1 m et 1,5 m en polarisation verticale).

Ces mesures sont effectuées avec des antennes à large bande et les distances sont mesurées par rapport au centre des antennes. L'antenne d'émission et l'antenne de réception doivent être alignées, les éléments des antennes étant parallèles les uns par rapport aux autres et perpendiculaires à l'axe de mesure.

Pour les polarisations horizontale et verticale, toutes les positions d'antenne se situent à la périphérie du volume d'essai, excepté pour la position centrale. A titre de recommandation, il convient que le volume d'essai permette de maintenir une distance d'au moins 25 cm entre la pointe de l'antenne et la pointe la plus proche de l'absorbant, ou d'au moins 1 m entre le point médian de l'antenne et la pointe la plus proche de l'absorbant. Pour la polarisation verticale, l'extrémité la plus basse de l'antenne doit se situer à plus de 25 cm du plan de masse, ce qui peut exiger de placer le centre de l'antenne à une hauteur légèrement supérieure à 1 m lors de la mesure à la plus faible hauteur.

Le nombre de mesures exigées peut être réduit dans les conditions données suivantes.

- a) Les mesures en polarisation verticale et horizontale pour la position arrière peuvent être omises si le point le plus proche des matériaux de construction et/ou absorbants est situé à une distance supérieure à 1 m du bord arrière du volume d'essai.

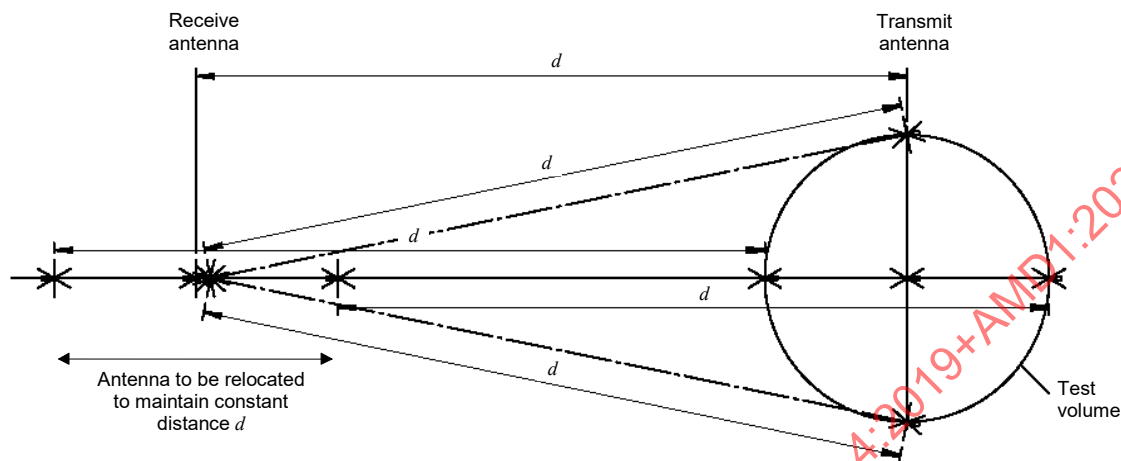
NOTE Il a été démontré que les sources de perturbations rayonnées situées au voisinage d'interfaces diélectriques présentaient des variations de distribution de courant qui peuvent affecter les caractéristiques de rayonnement de la source en ces endroits. Lorsqu'un EUT peut être situé près de ces interfaces, des mesures supplémentaires de SA sont nécessaires.

- b) Le nombre total de mesures en polarisation horizontale le long du diamètre du volume d'essai, entre les positions droite et gauche, peut être réduit au nombre minimal nécessaire pour que les surfaces projetées par l'antenne couvrent 90 % du diamètre.
- c) Les mesures à 1,5 m de hauteur en polarisation verticale peuvent être omises si le point le plus haut de l'EUT, table d'essai comprise, est situé à moins de 1,5 m de hauteur.
- d) Si le volume d'essai est inférieur ou égal à 1 m en profondeur sur 1,5 m en largeur et 1,5 m en hauteur, y compris éventuellement une table d'essai, il est seulement nécessaire d'effectuer les mesures en polarisation horizontale pour les positions centre, avant et arrière, mais aux deux hauteurs de 1 m et 2 m. Si le point a) ci-dessus s'applique, la position arrière peut être ignorée. Cela exige un minimum de huit mesures: quatre positions en polarisation verticale (gauche, centre, droite et avant) pour une hauteur et quatre positions en polarisation horizontale (centre et avant) pour deux hauteurs; voir Figure 13 et Figure 14.

L'antenne de réception doit être repositionnée pour maintenir une distance appropriée le long de la ligne passant par le centre de la table tournante (voir Figures 11, 12, 13 et 14). L'emplacement d'essai réputé est apte à l'exécution des mesures de perturbations rayonnées si toutes les mesures prescrites ci-dessus remplissent les exigences du 6.4.2.

Si la hauteur  $h$  du volume d'essai dépasse 2 m, deux hauteurs  $h_1$  d'antenne d'émission doivent être utilisées; c'est-à-dire que  $h_1 = 1$  m et  $h_1 = h$  m pour la polarisation horizontale, et  $h_1 = 1$  m et  $h_1 = (h - 0,5)$  m pour la polarisation verticale. Par exemple, si la hauteur du volume d'essai  $h = 3$  m, alors les hauteurs d'antenne d'émission  $h_1$  doivent être de 1 m et 3 m pour la polarisation horizontale, et de 1 m et 2,5 m pour la polarisation verticale; si la hauteur du volume d'essai  $h = 4$  m, alors  $h_1$  doit être de 1 m et 4 m pour la polarisation horizontale, et de 1 m et 3,5 m pour la polarisation verticale.

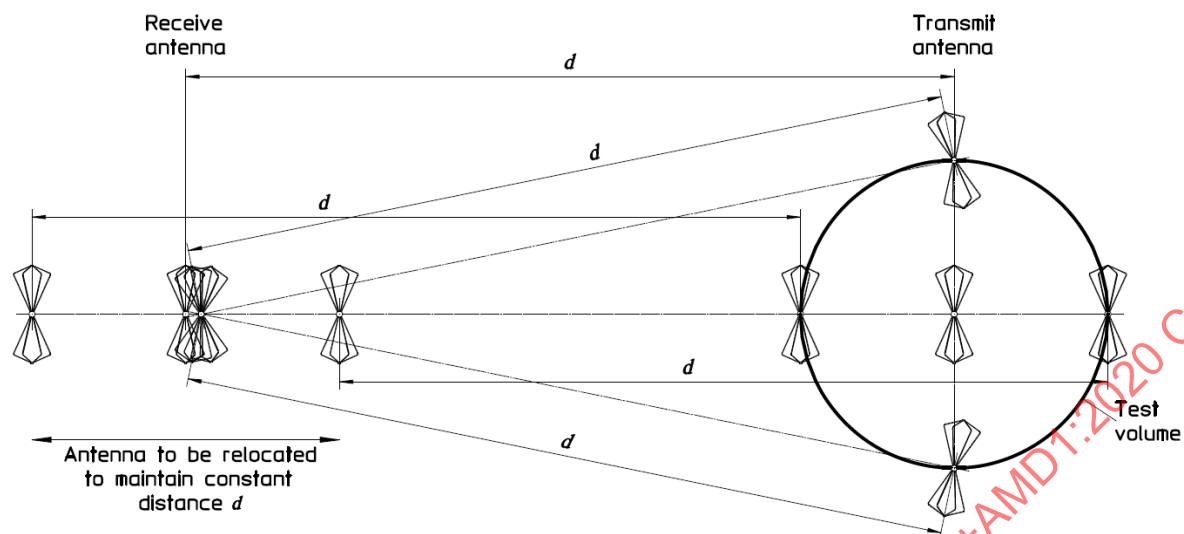
Les données de NSA pour des hauteurs supplémentaires d'antenne d'émission de 3,0 m et 4,0 m (PH) et de 2,5 m et 3,5 m (PV) pour une distance de mesure à 10 m, et pour une hauteur supplémentaire d'antenne d'émission de 2,5 m (PH) et de 2,0 m (PV) pour une distance de mesure à 5 m, sont données dans le Tableau 2.



IEC 1081/12

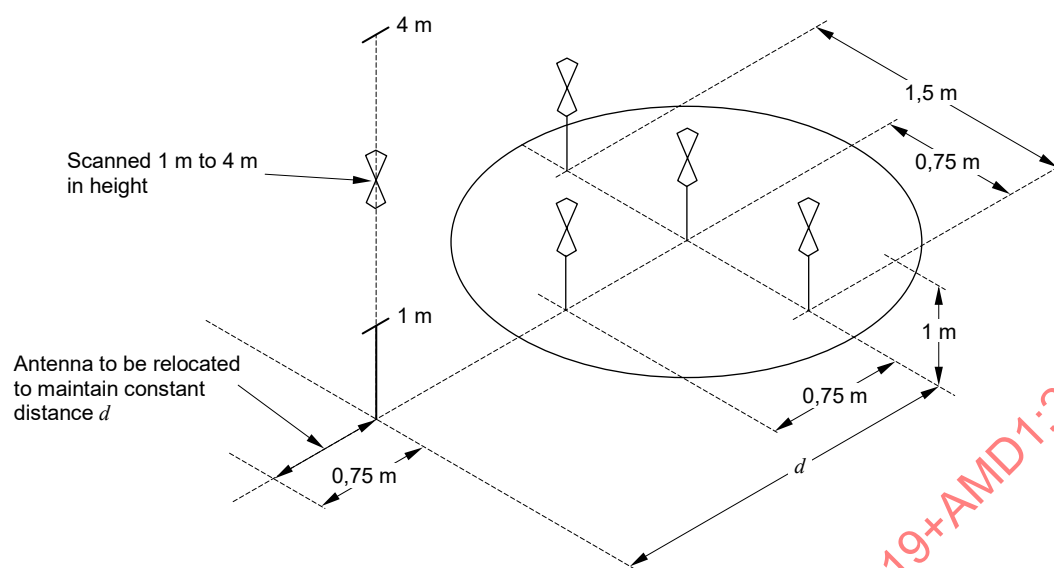
| Anglais                                                   | Français                                                          |
|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| Receive antenna                                           | Antenne de réception                                              |
| Antenna to be relocated to maintain constant distance $d$ | Antenne à repositionner pour maintenir une distance $d$ constante |
| Transmit antenna                                          | Antenne d'émission                                                |
| Test volume                                               | Volume d'essai                                                    |

**Figure 11 – Positions types des antennes pour un OATS protégé contre les intempéries ou une SAC – mesures de validation en polarisation verticale**



| Anglais                                                   | Français                                                          |
|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| Receive antenna                                           | Antenne de réception                                              |
| Antenna to be relocated to maintain constant distance $d$ | Antenne à repositionner pour maintenir une distance $d$ constante |
| Transmit antenna                                          | Antenne d'émission                                                |
| Test volume                                               | Volume d'essai                                                    |

**Figure 12 – Positions types des antennes pour un OATS protégé contre les intempéries ou une SAC – mesures de validation en polarisation horizontale**



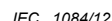
IEC 1083/12

NOTE L'EUT a un volume inférieur ou égal à 1 m en profondeur sur 1,5 m en largeur et 1,5 m en hauteur, et sa périphérie se situe à plus de 1 m du matériau le plus proche susceptible de provoquer des réflexions indésirables.

| Anglais                                                                                                      | Français                                                                                                                        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Scanned 1 m to 4 m in height                                                                                 | Balayage à 1 m ou 4 m de hauteur                                                                                                |
| Antenna to be relocated to maintain constant distance $d$                                                    | Antenne à repositionner pour maintenir une distance $d$ constante                                                               |
| $d$ = distance maintained between the vertical projection of the centre of the transmit and receive antennas | $d$ = distance maintenue entre la projection verticale du centre de l'antenne d'émission et du centre de l'antenne de réception |

**Figure 13 – Positions types des antennes pour un OATS protégé contre les intempéries ou une SAC – mesures de validation en polarisation verticale pour un EUT de faibles dimensions**





| Anglais                                                                                                      | Français                                                                                                                        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Scanned 1 m to 4 m in height                                                                                 | Balayage à 1 m ou 4 m de hauteur                                                                                                |
| Antenna to be relocated to maintain constant distance $d$                                                    | Antenne à repositionner pour maintenir une distance $d$ constante                                                               |
| $d$ = distance maintained between the vertical projection of the centre of the transmit and receive antennas | $d$ = distance maintenue entre la projection verticale du centre de l'antenne d'émission et du centre de l'antenne de réception |

**Figure 14 – Positions types des antennes pour un OATS protégé contre les intempéries ou une SAC – mesures de validation en polarisation horizontale pour un EUT de faibles dimensions**

Si l'écart  $\Delta A_s$  selon l'Equation (6) (ou l'Equation (7) si la RSM est utilisée) dépasse le critère des  $\pm 4$  dB, les éléments suivants doivent être vérifiés à nouveau:

- Si aucune erreur n'est trouvée pour les paramètres de la liste précédente, c'est l'emplacement qui doit être mis en cause et une recherche détaillée des causes possibles de la variabilité de l'emplacement doit être effectuée. L'Annexe F décrit les erreurs pouvant se produire au cours des mesures de NSA.

a) la dimension du plan de masse et la non-conformité de sa construction;

- b) les objets situés à la périphérie du site et pouvant provoquer des réflexions indésirables;
- c) les réflexions des couvertures tout temps;
- d) la discontinuité du plan de masse au niveau de la circonférence de la table tournante pour des configurations où la surface de la table tournante est conductrice et se situe à la même hauteur que le plan de masse du site;
- e) l'épaisseur de toutes les couvertures diélectriques de plan de masse; et
- f) les ouvertures dans le plan de masse, par exemple pour les marches menant aux salles de contrôle souterraines.

## 6.10 Validation de l'emplacement pour les FAR

### 6.10.1 Généralités

Pour une FAR, le NSA doit satisfaire à l'exigence du 6.10.4 à l'intérieur d'un volume d'essai cylindrique généré par la rotation de l'EUT sur la table tournante. Dans ce contexte, "l'EUT" comprend tous les composants d'un EUT à modules multiples ainsi que les câbles d'interconnexion. Le Tableau 5 définit la hauteur maximale et le diamètre maximal ( $h_{\max} = d_{\max}$ ) du volume d'essai en fonction de la distance d'essai. Ce rapport entre le diamètre et la distance d'essai permet de garantir une incertitude acceptable pour le mesurage des perturbations provenant de l'EUT.

**Tableau 5 – Dimensions maximales du volume d'essai en fonction de la distance d'essai**

| Diamètre maximal $d_{\max}$<br>et hauteur maximale $h_{\max}$<br>du volume d'essai | Distance d'essai<br>$d_{\text{nominal}}$ |
|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| m                                                                                  | m                                        |
| 1,5                                                                                | 3,0                                      |
| 2,5                                                                                | 5,0                                      |
| 5,0                                                                                | 10,0                                     |

Une mesure du SA dans une seule position peut ne pas être suffisante pour mettre en évidence les réflexions possibles provenant des matériaux de construction de la chambre blindée et/ou des matériaux absorbants qui tapissent les parois, le plancher, le plafond et la table tournante d'une FAR.

Les mesures de validation de l'emplacement d'une FAR doivent donc être réalisées en quinze positions de mesure, pour les polarisations d'antenne horizontale et verticale de l'antenne d'émission à l'intérieur du volume d'essai (voir Figure 15), de la manière suivante:

- à trois hauteurs du volume d'essai: en bas, au milieu et en haut;
- en cinq positions dans les trois plans horizontaux: au centre, à gauche, à droite, à l'avant et à l'arrière dans chaque plan horizontal. La position arrière peut être omise si la distance qui la sépare des absorbants est supérieure à 0,5 m. Au cours des essais des EUT, la position arrière sur la table tournante est également tournée vers l'avant et la contribution de la réflexion arrière n'affecte donc pas le signal maximal.

Deux antennes à large bande doivent être utilisées pour les mesures de SA: une antenne d'émission ayant son point de référence aux positions de mesure du volume d'essai et une antenne de réception située à l'extérieur de ce volume d'essai avec une orientation et une position prescrites. L'antenne d'émission doit présenter un diagramme approximativement omnidirectionnel dans le plan H (généralement une petite antenne biconique).

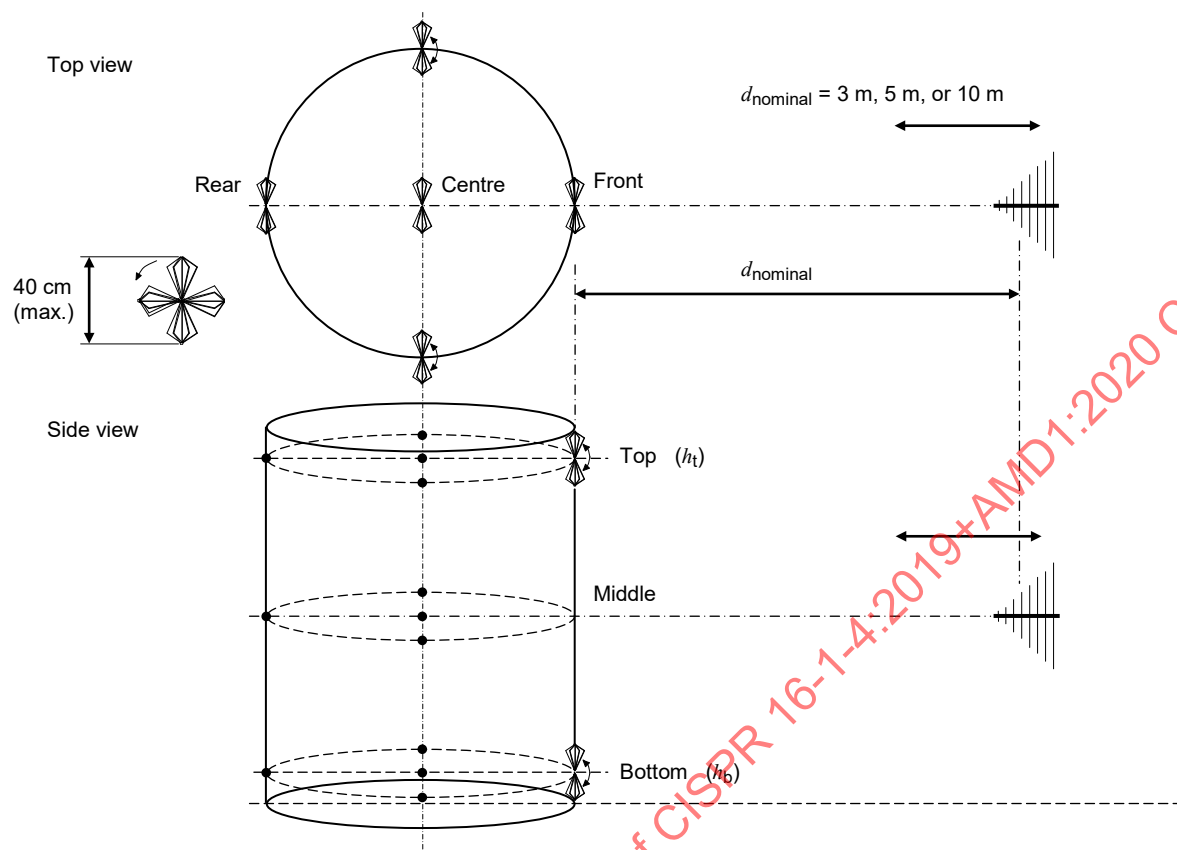
Il convient que la dimension maximale de l'antenne d'émission ne dépasse pas 40 cm pour une distance d'essai de 3 m; pour des distances plus grandes, la longueur totale de l'antenne biconique peut atteindre 44 cm maximum pour une conception en cage et 50 cm maximum pour une conception télescopique ou un cône métallique centrifugé.

Les antennes de réception types sont des antennes hybrides entre 30 MHz et 1 000 MHz, ou des antennes séparées (antennes biconiques entre 30 MHz et 200 MHz, et antennes LPDA entre 200 MHz et 1 000 MHz).

NOTE 1 Il n'est pas recommandé d'utiliser une antenne hybride que ce soit pour le mesurage des perturbations provenant de l'EUT ou pour la validation d'emplacement d'une FAR à une distance de 3 m, en raison de la taille relativement importante des antennes hybrides types.

Les antennes utilisées pour mesurer le SA d'une FAR doivent aussi être utilisées pour mesurer le SA de référence d'un emplacement d'essai en quasi espace libre (voir 6.10.2). L'antenne de réception utilisée au cours de la validation de la FAR doit être du même type que celle utilisée pendant les mesurages ultérieurs des perturbations rayonnées provenant des EUT.

Pour la validation du volume d'essai à la fois dans les polarisations horizontale et verticale et pour toutes les positions des antennes d'émission à l'intérieur du volume d'essai, la position en hauteur de l'antenne de réception dans la FAR doit rester fixe, au niveau du milieu du volume d'essai, comme indiqué à la Figure 15 et à la Figure 16. Il est nécessaire d'incliner les antennes pour aligner l'axe de pointage des deux antennes selon un seul axe de mesure, le long de la ligne reliant les points d'essai. La distance entre le point de référence de l'antenne (défini par l'étalonnage de l'antenne) et la position avant du volume d'essai est  $d_{\text{nominal}}$ . Lorsque l'antenne d'émission est déplacée vers d'autres positions à l'intérieur du volume d'essai, l'antenne de réception doit être déplacée le long de l'axe de mesure de sorte à maintenir  $d_{\text{nominal}}$  constante. L'axe de mesure est la ligne entre l'antenne d'émission et l'antenne de réception, le long de laquelle  $d_{\text{nominal}}$  est établie. Pour toutes les positions et toutes les polarisations, l'antenne de réception et l'antenne d'émission doivent se faire face, les éléments des deux antennes étant parallèles (pour l'utilisation de l'inclinaison, voir Figure 16). Les mâts d'antenne et planchers supports doivent être en place au cours des mesures de validation de l'emplacement.



IEC 1085/12

| Anglais                                                                          | Français                                                                                        |
|----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Top view                                                                         | Vue de dessus                                                                                   |
| $d_{\text{nominal}} = 3 \text{ m, 5 m or 10 m}$                                  | $d_{\text{nominal}} = 3 \text{ m, 5 m ou 10 m}$                                                 |
| Rear                                                                             | Arrière                                                                                         |
| Centre                                                                           | Centre                                                                                          |
| Front                                                                            | Avant                                                                                           |
| Side view                                                                        | Vue latérale                                                                                    |
| Top                                                                              | Haut                                                                                            |
| Middle                                                                           | Milieu                                                                                          |
| Bottom                                                                           | Bas                                                                                             |
| Key                                                                              | Légende                                                                                         |
| Measure at this location in vertical and horizontal polarization                 | Effectuer une mesure à cet emplacement en polarisation verticale et en polarisation horizontale |
| $d_{\text{nominal}}$ Fixed distance between the reference points of the antennas | $d_{\text{nominal}}$ Distance fixe entre les points de référence des antennes                   |

**Figure 15 – Positions de mesure pour la validation d'emplacement d'une FAR**

Pour toutes les positions de l'antenne d'émission à l'intérieur du volume d'essai, à la fois en polarisation horizontale et en polarisation verticale, l'antenne d'émission et l'antenne de réception doivent être alignées sur l'axe de mesure.

$d_{\text{nominal}}$  {  
est la distance d'essai de l'EUT associée à la limite;  
est la distance d'antenne fixée dans les mesures de validation de l'emplacement;  
est la séparation entre les antennes lors de la mesure du SA de référence si la RSM est utilisée.

La position de l'antenne d'émission en hauteur à l'intérieur du volume d'essai doit être déterminée comme suit:

- position "milieu" ( $h_m$ ): lorsque cela est possible le long d'un axe virtuel positionné à mi-hauteur et à mi-largeur d'une FAR;
- positions "haut" ( $h_t$ ) et "bas" ( $h_b$ ): la moitié de  $h_{\text{max}}$  (voir Tableau 5) moins la moitié de la dimension de l'antenne d'émission (par exemple, 20 cm pour les petites antennes biconiques).

Ces positions réglées doivent être utilisées à la fois pour les polarisations verticale et horizontale. La distance entre les plans haut et bas et les absorbants du plafond et du plancher, respectivement, est donnée par les performances de l'absorbant déterminées par l'essai volumétrique du NSA; cette distance doit être d'au moins 0,5 m pour éviter un couplage entre l'EUT et l'absorbant.

Le pas maximal des mesures par fréquence discrète doit être conforme au Tableau 6.

Deux méthodes sont acceptables pour la validation d'emplacement d'une FAR:

- a) la RSM (6.10.2), qui est exigée pour les distances d'essai inférieures à 5 m; ou
- b) la méthode du NSA (6.10.3), qui est privilégiée pour les distances d'essai supérieures ou égales à 5 m.

NOTE 2 Pour des distances de séparation inférieures à 5 m, le couplage mutuel des antennes ne peut pas être négligé. De plus, il est impossible de déterminer  $A_{\text{APR}}$  par la RSM à des distances supérieures à 5 m.

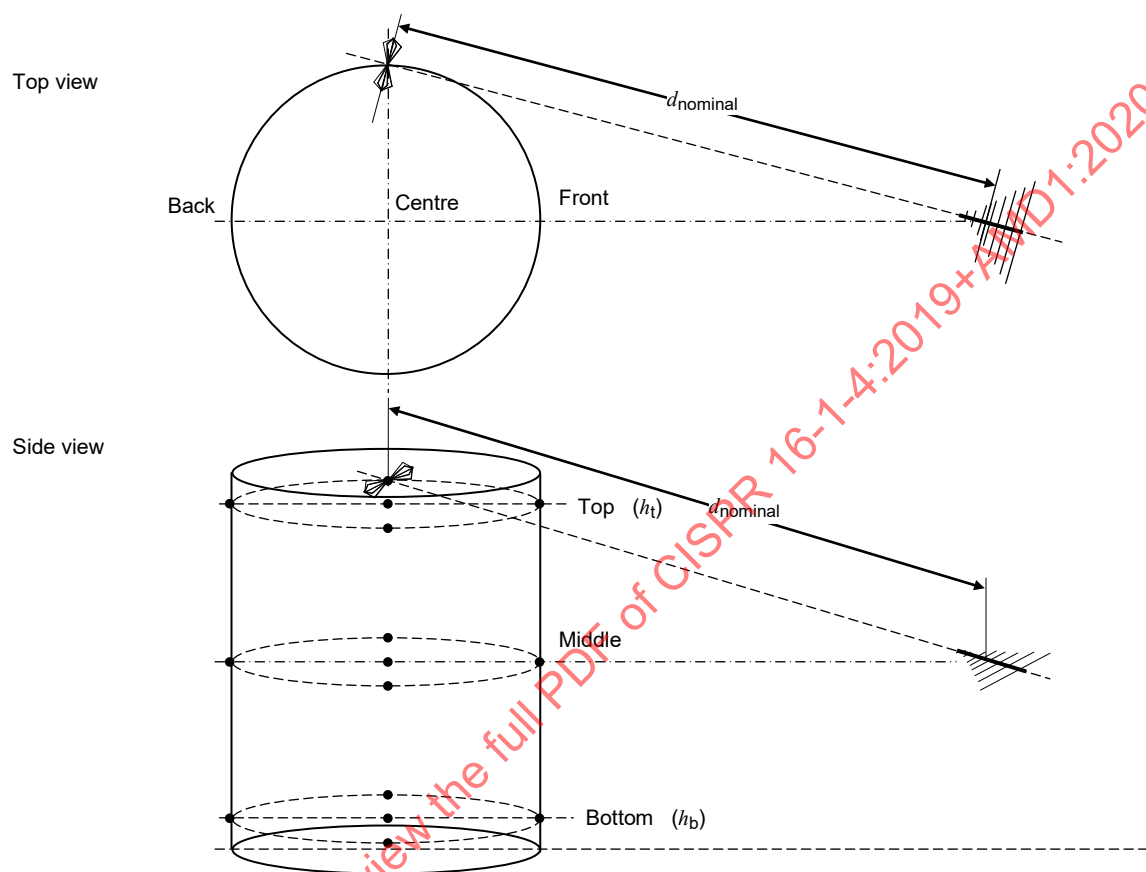
Les méthodes de mesure de validation d'emplacement sont destinées à assurer un écart de 0 dB du SA, ce qui correspond à un emplacement idéal. Le critère de validation d'emplacement est défini en 6.10.4. Il est admis d'utiliser n'importe quel moyen pour réduire l'incertitude de mesure à condition qu'il ne vienne pas en contradiction du montage et des procédures définies ou qu'il ne masque pas des déficiences de site; il ne doit par exemple pas en résulter des réponses de résonances lissées inappropriées.

L'incertitude de la mesure de validation de l'emplacement peut être réduite par les actions suivantes.

- a) Dans le cas d'une antenne à polarisation verticale, les câbles blindés doivent être tendus sur une longueur d'au moins 2 m derrière chaque antenne avant d'être abaissés jusqu'au sol. Si cela est possible, les câbles doivent revenir au droit des passages de câbles au travers de la paroi de la FAR. Une autre possibilité consiste à placer des ferrites à pince sur les câbles. Un autre moyen pour réduire l'influence des câbles RF est de les remplacer par des liaisons optiques.
- b) Des atténuateurs au niveau des connecteurs d'antenne (par exemple, 6 dB ou 10 dB) réduisent l'influence de toute désadaptation importante d'impédance au niveau des antennes.
- c) Les antennes utilisées doivent présenter un bon équilibrage du symétriseur (c'est-à-dire telles que l'indication du récepteur varie de moins de  $\pm 0,5$  dB lorsque l'antenne subit une rotation de  $180^\circ$  par rapport à son axe de pointage). Des méthodes de vérification de l'équilibrage de l'antenne sont décrites en 4.5.4.
- d) Des antennes biconiques et LPDA séparées pour la validation de la FAR peuvent être utilisées (types d'antennes différents au-dessous et au-dessus de 200 MHz), si elles le

sont pour les essais des EUT. Une antenne hybride peut être utilisée en remplacement si les dimensions mécaniques sont suffisamment faibles par rapport à la distance d'essai.

Des mesures de validation d'emplacement d'une FAR doivent être réalisées à intervalles réguliers, pour détecter des variations à long terme des caractéristiques de la FAR, et lorsque des modifications interviennent, qui pourraient influencer sur les caractéristiques de transmission des ondes électromagnétiques dans une FAR.



IEC 1086/12

NOTE Antenne à polarisation horizontale, position en haut à droite.

| Anglais   | Français      |
|-----------|---------------|
| Top view  | Vue de dessus |
| Back      | Arrière       |
| Centre    | Centre        |
| Front     | Avant         |
| Side view | Vue latérale  |
| Top       | Haut          |
| Middle    | Milieu        |
| Bottom    | Bas           |

**Figure 16 – Exemple de position de mesure et d'inclinaison d'antenne pour la validation d'emplacement d'une FAR**

**Tableau 6 – Gammes de fréquences et pas pour la validation d'emplacement d'une FAR**

| Plage de fréquences<br>MHz | Pas de fréquence maximal<br>MHz |
|----------------------------|---------------------------------|
| 30 à 100                   | 1                               |
| 100 à 500                  | 5                               |
| 500 à 1 000                | 10                              |

### 6.10.2 RSM pour les sites FAR

La RSM prend en compte le rétrécissement de champ et les effets de champ proche des antennes, qui peuvent avoir une influence importante sur les résultats pour des distances d'essai à 3 m, avec une antenne de réception biconique. Bien que ces effets soient présents dans la méthode du NSA, ils peuvent en grande partie être corrigés. Le SA de référence  $A_{APR}$  est mesuré à la distance nominale,  $d_{nominal}$ , entre l'antenne d'émission et l'antenne de réception.

La procédure de validation d'emplacement d'une FAR pour chaque position du volume d'essai est réalisée en trois étapes, comme suit:

- $V_{DIRECT}$  est le niveau de référence mesuré par le récepteur en dB(μV), les câbles étant directement raccordés entre eux, ce qui est normalement effectué une fois avant une série d'essais volumétriques;
- $V_{SITE}$  est le niveau mesuré par le récepteur en dB(μV) avec les antennes en place;
- l'écart de SA ( $\Delta A_s$ ) par rapport au SA de référence avec une paire d'antennes ( $A_{APR}$ ), en dB, est calculé à l'aide de l'Equation (11).

$$\Delta A_s = V_{DIRECT} - V_{SITE} - A_{APR} \quad (11)$$

Pour des validations de site précises à des distances inférieures à 5 m, il est recommandé d'utiliser une paire d'antennes dédiée (antenne d'émission et antenne de réception) pour déterminer le SA de référence. Un site en quasi espace libre, défini en 3.1.18, est exigé comme site de référence. Un emplacement d'essai en quasi espace libre comporte deux mâts d'antenne non métalliques (construits en bois ou en plastique avec  $\varepsilon_r \leq 2,5$ , de faibles pertes et un diamètre minimal compte tenu de la résistance mécanique), qui permettent de placer les antennes à une hauteur suffisante au-dessus du niveau du sol (Figure 17). Une méthode permettant d'obtenir la performance de SA à  $\pm 1$  dB du site de référence consiste à choisir la hauteur ( $h$ ) des antennes à l'aide de l'Equation (12):

$$h \geq d \times \frac{8}{3} \quad (12)$$

où  $d$  est la séparation entre les antennes, en mètres.

Une hauteur  $h = d \times 8/3$  est recommandée pour supprimer l'influence du sol. En variante, une zone appropriée recouverte d'absorbants RF, efficace vers les basses fréquences jusqu'à 30 MHz, doit être prévue sur le sol.

NOTE Pour une distance de séparation de 3 m et à 30 MHz, il existe un effet significatif dû à la composante en champ proche ( $1/d^2$ ) contribuant à elle seule à une erreur de 0,8 dB pour une hauteur  $d \times 5/3$ . Ceci a été vérifié par le UK National Physical Laboratory (NPL). Pour un SA de référence avec une incertitude inférieure à  $\pm 0,5$  dB, une hauteur  $d \times 8/3$  est une bonne solution lorsqu'aucun absorbant n'est placé sur le sol.

La distance d'essai sur le site de référence doit être égale à la distance réelle  $d_{nominal}$  entre les antennes destinées à être utilisées par la suite dans une FAR. Les antennes sont polarisées verticalement (la polarisation horizontale ne doit pas être utilisée à cause d'interférences plus importantes avec le signal réfléchi par le sol), ce qui donne une bonne

approximation des conditions en espace libre. Le dégagement par rapport aux bâtiments, aux arbres etc. doit être supérieur à  $d \times 8/3$ , en raison de l'influence de ces éléments sur les mesures des antennes à polarisation verticale.

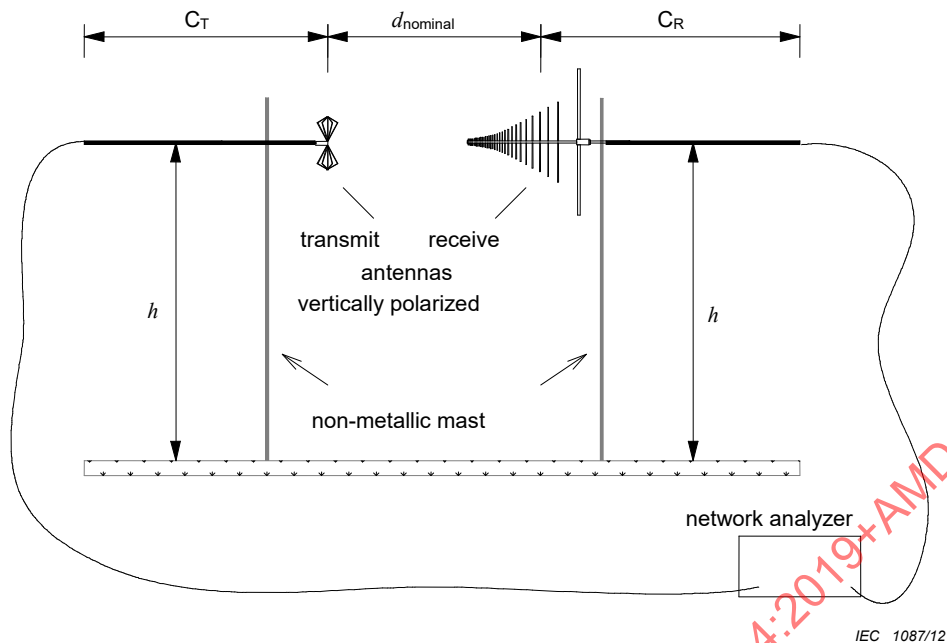
L'attention doit être portée à ce que les câbles d'alimentation d'antenne n'affectent pas le résultat de l'essai. La meilleure façon d'éviter cela est d'utiliser la disposition de câbles représentée à la Figure 17 ou de remplacer les câbles par des liaisons optiques RF. La qualité du montage de l'emplacement d'essai de référence influence directement les résultats d'évaluation de la FAR. Le SA de référence avec une paire d'antennes ( $A_{APR}$ ) est déterminé en trois étapes, comme suit.

- a)  $V_{DIRECTRS}$  est le niveau de référence mesuré par le récepteur en dB( $\mu$ V) avec les câbles raccordés entre eux;
- b)  $V_{SITER}$  est le niveau mesuré par le récepteur en dB( $\mu$ V) avec les antennes installées à la distance exigée  $d_{nominal}$ .
- c)  $A_{APR}$  en dB est calculé selon l'Equation (13):

$$A_{APR} = V_{DIRECTRS} - V_{SITER} \quad (13)$$

Pour une validation de l'emplacement à 3 m, une hauteur d'au moins 4 m au-dessus du sol doit être utilisée pour la paire d'antennes, ce qui constitue une caractéristique type des mâts d'antenne contrôlables à distance qui sont utilisés pour le mesurage des perturbations provenant d'un EUT. Dans ce cas, des absorbants électromagnétiques doivent être placés sur le sol entre les antennes, l'ensemble des absorbants s'étendant sur une zone minimale au-delà des antennes dans toutes les directions, et la démonstration doit être faite que la condition de quasi espace libre est respectée (à savoir des résultats de mesure de SA à  $\pm 1$  dB de la réponse idéale à toute fréquence). Pour la validation de l'emplacement avec  $d > 3$  m, l'équation  $h > d \times 8/3$  est utilisée pour déterminer la configuration du montage ou un autre montage dont il a été démontré qu'il satisfaisait au SA de référence de  $\pm 1$  dB.





**Légende**

- $d_{\text{nominal}}$  distance de validation
- $h$  hauteur de l'antenne au-dessus d'un plan de sol ou au-dessus du niveau du sol
- $C_T, C_R$  câbles d'alimentation coaxiaux pour antennes d'émission et de réception orientées horizontalement à l'arrière des antennes pour une distance physiquement aussi proche que possible de 2 m. Dans une FAR, placer les câbles horizontalement dans la mesure du possible, de préférence droits à travers un trou dans la paroi de la chambre ou utiliser une fibre optique connectée à une liaison optique RF sur la sortie de l'antenne.

NOTE Le SA de référence est obtenu séparément pour toutes les géométries de la Figure 17.

| Anglais              | Français                  |
|----------------------|---------------------------|
| transmit             | antenne d'émission        |
| receive (antennas)   | antenne de réception      |
| vertically polarized | en polarisation verticale |
| non-metallic mast    | mât non métallique        |
| network analyzer     | analyseur de réseau       |

**Figure 17 – Montage de mesure du SA de référence  
type pour un emplacement d'essai en quasi espace libre**

**6.10.3 Méthode du NSA pour les sites FAR**

Le présent paragraphe décrit la méthode du NSA appliquée aux FAR. La géométrie d'antenne est donnée en 6.10.1. L'affaiblissement de l'emplacement (SA;  $A_s$  en tant que grandeur en dB) est la perte de transmission mesurée entre les connecteurs de deux antennes sur un site particulier. Pour les sites en espace libre, aucun balayage en hauteur d'antenne n'est appliqué, ce qui est indiqué par l'expression "perte d'insertion de l'emplacement" (voir 3.1.26).

Pour un environnement en espace libre,  $A_s$  (en dB) peut être approché en utilisant l'Equation (14) [13]:

$$A_s = 20 \lg \left( \frac{5Z_0}{2\pi} \times \frac{d}{\sqrt{1 - \frac{1}{(\beta d)^2} + \frac{1}{(\beta d)^4}}} \right) - 20 \lg(f_M) + F_{aR} + F_{aT} \quad (14)$$

où

$F_{aR}$ ,  $F_{aT}$  sont les facteurs d'antenne pour l'antenne d'émission et l'antenne de réception, en dB(m<sup>-1</sup>);

$d$  est la distance entre les centres de phase des deux antennes, en m;

$Z_0$  est l'impédance du système (c'est-à-dire 50 Ω);

$\beta$  est défini comme correspondant à  $2\pi/\lambda$ ; et

$f_M$  est la fréquence en MHz.

Le NSA théorique ( $A_{N \text{ theo}}$ ) en dB(m<sup>2</sup>) se définit comme un SA auquel ont été soustraits les facteurs d'antenne, ainsi l'Equation (14) est réécrite en Equation (15):

$$A_{N \text{ theo}} = 20 \lg \left( \frac{5Z_0}{2\pi} \times \frac{d}{\sqrt{1 - \frac{1}{(\beta d)^2} + \frac{1}{(\beta d)^4}}} \right) - 20 \lg(f_M) \quad (15)$$

A des valeurs inférieures à 60 MHz pour une distance de 5 m ou inférieures à 110 MHz pour une distance de 3 m, il est nécessaire d'appliquer des facteurs de correction de champ proche pour chacune des positions de mesure exigées du Tableau 5, pour faire les comparaisons avec les valeurs théoriques du NSA de la Figure 18 et de l'Equation (15). Les facteurs de correction de champ proche sont spécifiques aux antennes, à la distance d'essai et au volume d'essai utilisés; ces facteurs peuvent être obtenus en utilisant un code de modélisation numérique tel que le NEC [3], mais les incertitudes obtenues avec l'Equation (15) sont suffisamment faibles. En variante, la RSM du 6.10.2 prévoit l'annulation des termes de champ proche si les mêmes antennes et les mêmes fréquences sont utilisées à la fois pour la mesure de SA de référence et pour la validation de la FAR qui suit.

Pour des distances de mesure de 10 m et de 30 m, les termes de champ proche de l'Equation (15) peuvent être omis; l'équation est simplifiée à l'Equation (16):

$$A_{N \text{ theo}} = 20 \lg \left( \frac{5Z_0 d}{2\pi} \right) - 20 \lg(f_M) \quad (16)$$

Si l'Equation simplifiée (16) est utilisée à la place de l'Equation (15), l'erreur introduite est inférieure à 0,1 dB aux fréquences supérieures à 60 MHz pour une distance de 5 m et supérieures à 110 MHz pour une distance de 3 m. L'erreur est supérieure à 0,1 dB à des fréquences inférieures, en raison des effets de champ proche. Pour une distance de 3 m, l'erreur maximale est de 1 dB à 30 MHz. Il convient alors d'utiliser l'Equation (15) pour réduire cette erreur à une valeur inférieure à ± 0,3 dB.

NOTE 1 Les fréquences inférieures à 110 MHz pour des distances de mesure de 3 m et inférieures à 60 MHz pour des distances de mesure de 5 m incluent les effets de champ proche. Ceux-ci sont calculés séparément pour chaque emplacement d'essai.

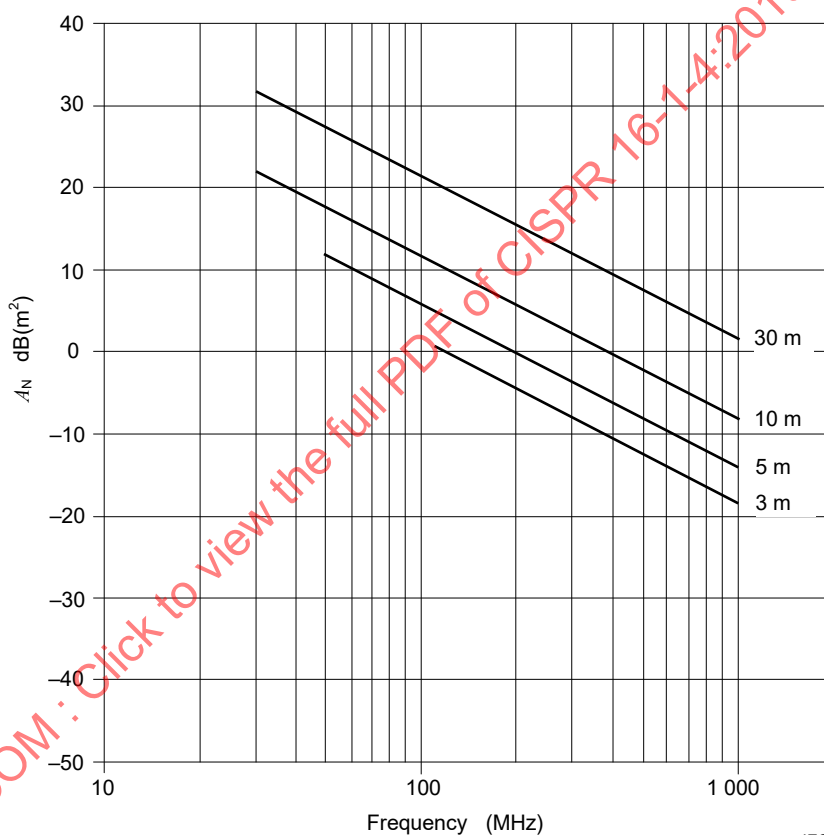
Les facteurs d'antenne en espace libre pour l'antenne d'émission et l'antenne de réception sont exigés pour cette procédure. La validation de l'emplacement pour chaque position de mesure doit être réalisée en trois étapes, comme suit:

- $V_{\text{DIRECT}}$  est le niveau de référence mesuré par le récepteur avec les câbles directement raccordés entre eux;
- $V_{\text{SITE}}$  est le niveau mesuré par le récepteur avec les antennes en place;
- l'écart de SA ( $\Delta A_s$ ) est calculé en dB en utilisant l'Equation (17):

$$\Delta A_s = V_{\text{DIRECT}} - V_{\text{SITE}} - A_{\text{N theo}} - F_{\text{aT}} - F_{\text{aR}} \quad (17)$$

où  $A_{\text{N theo}}$  est calculé à l'aide de l'Equation (16) et le résultat est comparé au critère applicable, comme spécifié en 6.10.4.

NOTE 2 La distance  $d$  entre les points de référence des antennes d'émission et de réception (définie pendant l'étalonnage des antennes) est utilisée comme  $d_{\text{nominal}}$ . La distance effective entre les antennes varie avec la fréquence en fonction des positions des centres de phase des antennes. La perte de transmission peut être compensée par le rapport entre la distance effective et  $d_{\text{nominal}}$ . Puisqu'il n'est pas défini d'étalonnage d'antenne pour la distance d'essai nominale, la variation de la distance de mesure effective due à la variation de la position des centres de phase lorsqu'on utilise des antennes LPDA peut être appliquée comme une correction. L'incertitude supplémentaire due à cette correction et à tout couplage mutuel des antennes peut être évitée en utilisant la RSM.



IEC 1088/12

| Anglais   | Français  |
|-----------|-----------|
| Frequency | Fréquence |

**Figure 18 – NSA théorique en espace libre en fonction de la fréquence pour différentes distances de mesure [voir Equation (16)]**

#### 6.10.4 Critère de validation de l'emplacement pour les sites FAR

L'écart de SA  $\Delta A_s$  doit être inférieur à  $\pm 4$  dB pour les polarisations horizontale et verticale et pour chaque position de mesure et gamme de fréquences de mesure.

## 6.11 Évaluation de la table d'essai et du pylône d'antenne

### 6.11.1 Généralités

Une table d'essai décrite en D.5 positionne l'EUT de façon type pour des mesures d'intensité de champ. La forme, les éléments de construction et la permittivité du matériau de la table d'essai peuvent influencer les résultats de mesure de l'intensité de champ (voir [2], [5], [6], [8]). Le paragraphe 6.11.2 décrit une procédure pour déterminer l'influence de la table d'essai pour la gamme de fréquences de 30 MHz à 18 GHz et pour estimer sa contribution aux incertitudes sur les mesures d'intensité de champ. Une évaluation doit être réalisée pour toute table d'essai dont la hauteur dépasse 0,15 m.

NOTE Seule la polarisation horizontale d'une antenne d'émission située au-dessus de la table d'essai est utilisée pour l'évaluation. La polarisation horizontale, plutôt que la polarisation verticale, prend en compte les effets les plus défavorables de la table.

Le pylône d'antenne n'exige aucune évaluation supplémentaire car tous les effets de perturbation sont inclus dans la mesure de validation de l'emplacement (voir 6.4) et dans la mesure de  $S_{VSWR}$  (voir 7.3).

### 6.11.2 Procédure d'évaluation de l'influence de la table d'essai

Pour évaluer l'influence de la table d'essai, deux mesures de transmissions sont effectuées, l'une avec la table d'essai présente et l'autre sans la table d'essai. Pendant les deux mesures, une antenne d'émission est maintenue dans une disposition spécifique. La différence entre les résultats de mesure, avec et sans la table d'essai, fournit une estimation de l'influence causée par la table d'essai. La procédure de mesure est la suivante.

La table d'essai doit être placée dans une position type sur l'emplacement d'essai avec la dimension la plus grande (c'est-à-dire la diagonale pour une table d'essai avec un dessus rectangulaire, ou le rayon pour une table avec un dessus circulaire) orientée dans la direction de l'antenne de réception (voir Figure 19).

Pour les fréquences allant jusqu'à 1 GHz, une petite antenne biconique dont la longueur totale est inférieure à 0,40 m doit être utilisée. Pour les fréquences supérieures à 1 GHz, une antenne conforme à 7.4.2 doit être utilisée (par exemple un doublet à large bande).

Voir Figure 19 et la Figure 20 pour le placement de l'antenne d'émission. L'antenne doit être placée au-dessus de la table d'essai en polarisation horizontale en respectant une distance de 0,1 m entre la surface de la table et le point de référence de l'antenne (symétriseur). L'antenne doit être positionnée avec son point de référence à mi-chemin entre le centre et le bord du dessus de la table d'essai, dans la direction de l'antenne de réception. Un générateur de signal doit alimenter l'antenne. L'antenne d'émission et l'antenne de réception doivent être alignées, les éléments des antennes étant parallèles les uns par rapport aux autres et perpendiculaires à l'axe de mesure. Pendant la mesure, les échelons de fréquence doivent être inférieurs ou égaux à 0,5 % de la plus haute fréquence utilisée. La tension de l'antenne de réception doit se situer au moins à 20 dB au-dessus du niveau de bruit de l'équipement de mesure. L'influence du câblage peut être réduite le plus possible en utilisant des câbles de grande longueur ou en utilisant des tubes de ferrite. Le placement des câbles horizontalement vers l'arrière à 2 m au minimum est généralement suffisant. D'une manière ou d'une autre, l'influence doit être définie comme négligeable si la tension de réception ne varie pas de plus de 0,3 dB lorsque l'emplacement du câble est décalé de plus de 0,5 m par rapport à sa position initiale.

EXEMPLE Un câble avec tubes de ferrite est placé horizontalement sur une distance de 1,6 m. Pour vérifier l'influence du câble, le câble est remplacé pour tomber de manière verticale d'un point situé à 2,1 m de la connexion à l'antenne. L'intensité du champ est ensuite à nouveau mesurée pour déterminer si l'influence n'est pas supérieure à 0,3 dB.

Le but est qu'il n'y ait pas de modifications dans le montage de mesure sauf concernant la présence ou l'absence de la table. L'antenne d'émission et son câble assurant la connexion avec le générateur de signal doivent être maintenus de telle manière qu'ils conservent des

positions identiques dans l'espace avec et sans la table. Un mât, un trépied ou un pylône doit être utilisé pour soutenir l'antenne d'émission et le câble, comme pendant les mesures de NSA/RSM (voir 6.4) ou de  $S_{VSWR}$  (voir 7.3).

Les hauteurs d'antenne et les distances doivent être comme suit:

- Pour toutes les fréquences, la distance entre l'antenne de réception et l'antenne d'émission doit être comme exigé pour la mesure des perturbations rayonnées.
- À 1 GHz ou à une valeur inférieure, les mesures doivent être réalisées de 200 MHz au minimum jusqu'à 1 GHz. Dans un OATS ou une SAC, la hauteur de l'antenne de réception doit être balayée comme exigé dans la mesure des perturbations rayonnées (généralement entre 1 m et 4 m). Dans une FAR, l'antenne de réception doit être fixée à la hauteur exigée pour la mesure des perturbations rayonnées.

NOTE Lorsqu'on applique cette procédure de vérification, l'influence de la table d'essai est négligeable en dessous de 200 MHz.

- Au-dessus de 1 GHz, des mesures doivent être réalisées sur la même gamme de fréquences (par exemple, de 1 GHz à 18 GHz) et la hauteur d'antenne doit être réglée comme exigé pour la mesure des perturbations rayonnées (par exemple, de 1 m à 4 m).

L'amplitude de la différence entre les deux résultats de mesure à chaque fréquence, indiquée comme  $\Delta(f)$  et exprimée en dB, doit être calculée en utilisant l'Equation (18).

$$\Delta(f) = |V_{R,with}(f) - V_{R,without}(f)| \quad (18)$$

où

$V_{R,with}(f)$  est la tension maximale au niveau de l'antenne de réception à une fréquence spécifique, exprimée en dB( $\mu$ V), mesurée en présence de la table d'essai;

$V_{R,without}(f)$  est la tension maximale au niveau de l'antenne de réception à une fréquence spécifique, exprimée en dB( $\mu$ V), mesurée en l'absence de la table d'essai.

L'amplitude maximale de la différence entre les deux résultats de mesure enregistrés sur la gamme de fréquences, écrite sous la forme  $\Delta_{max}$  et exprimée en dB, doit être utilisée comme écart maximal estimé. Le calcul doit être effectué selon l'Equation (19).

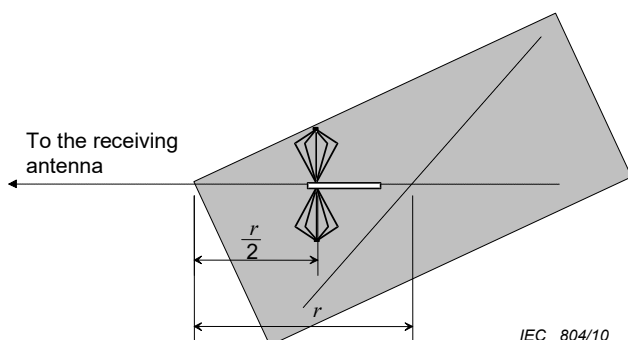
$$\Delta_{max} = \max |V_{R,with}(f) - V_{R,without}(f)| \quad (19)$$

L'incertitude type  $u_{table}$  induite par la table d'essai est estimée en retenant l'hypothèse d'une distribution rectangulaire pour la différence maximale mesurée  $\Delta_{max}$ . Ainsi,  $u_{table}$  (en dB) peut être calculée en utilisant l'Equation (20).

$$u_{table} = \frac{1}{\sqrt{3}} \Delta_{max} \quad (20)$$

La valeur  $u_{table}$  doit être mesurée et prise en compte dans le bilan d'incertitude (voir la CISPR 16-4-2) dans les gammes de fréquences suivantes:

- 200 MHz à 1 GHz;
- 1 GHz à 6 GHz;
- 6 GHz à 18 GHz.



| Anglais                  | Français                    |
|--------------------------|-----------------------------|
| To the receiving antenna | Vers l'antenne de réception |

**Figure 19 – Position de l'antenne par rapport au bord au-dessus d'une table d'essai rectangulaire (vue de dessus)**

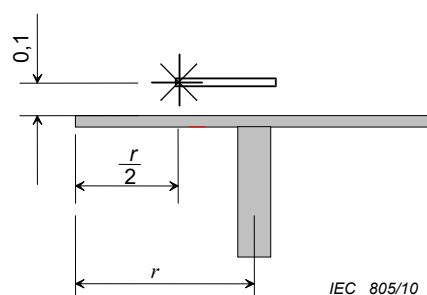


**Figure 20 – Position de l'antenne au-dessus de la table d'essai (vue de côté)**

NOTE La construction et les types de matériaux utilisés pour la table d'essai varient d'un laboratoire d'essai à l'autre. Il suffit de déterminer la valeur la plus défavorable de  $\Delta$  (ou  $V_{R,with}$ ) dans la détermination de  $u_{table}$ .

## 7 Emplacements d'essai pour la mesure des champs radioélectriques perturbateurs dans la gamme de fréquences de 1 GHz à 18 GHz

### 7.1 Généralités

L'emplacement d'essai doit correspondre à des conditions d'absence de réflexions: il peut être nécessaire d'utiliser des matériaux absorbants et/ou d'augmenter la hauteur de l'EUT pour atteindre ces conditions d'espace libre.

NOTE Dans le cas d'appareils en essai destinés à reposer sur le sol, il se peut que les conditions d'absence de réflexion ne soient pas respectées près du sol.

### 7.2 Emplacement d'essai de référence

L'emplacement d'essai de référence doit être un emplacement d'essai en zone dégagée en espace libre (FSOATS) avec des précautions pour s'assurer que les réflexions n'influencent pas les résultats de la mesure.

NOTE Le FSOATS constitue le concept de l'emplacement d'essai. Une approximation pratique en est une FAR satisfaisant aux exigences de validation indiquées en 7.3.

### 7.3 Validation des emplacements d'essai

#### 7.3.1 Généralités

Un emplacement d'essai doit être réputé acceptable pour des mesures de perturbations rayonnées dans la gamme comprise entre 1 GHz et 18 GHz, s'il satisfait au critère donné en 7.3.2. Deux options sont fournies pour la procédure de validation de l'emplacement: la procédure d'essai normalisée avec le  $S_{VSWR}$  (voir 7.6), et la procédure d'essai inverse avec le  $S_{VSWR}$  (voir 7.7). Dans l'objectif de réaliser des essais par rapport aux normes du CISPR, les mesures de validation d'emplacement doivent être réalisées depuis 1 GHz jusqu'à la fréquence maximale utilisée dans l'installation d'essai; la fréquence maximale doit être au moins de 2 GHz.

Les emplacements d'essai utilisés pour les mesures dans la gamme de 1 GHz à 18 GHz doivent avoir une conception qui réduit le plus possible l'influence des réflexions sur le signal reçu, par exemple une chambre anéchoïque. Si l'emplacement d'essai n'est pas conçu pour

fournir des conditions totalement anéchoïques, par exemple une chambre semi-anéchoïque, l'utilisation d'un matériau absorbant pour couvrir une partie du plan de sol métallique est exigée, comme décrit aux alinéas suivants.

Dans les cas pour lesquels le volume d'essai s'étend depuis le sol conducteur de l'installation jusqu'au-dessus de l'EUT, comme cela peut être le cas pour les installations destinées à soumettre aux essais des EUT posés au sol, des absorbants doivent être placés dans le volume d'essai pour la mesure de validation, selon les besoins aux fins de la validation. Pour satisfaire aux essais d'équipements posés au sol, qui ne peuvent pas être positionnés au-dessus du plan de sol, l'éclairage du volume d'essai sur une hauteur allant jusqu'à 30 cm peut être occulté par des absorbants placés sur le plan de sol.

Lors de la mesure des perturbations d'un EUT de dimension inférieure au diamètre validé, le diamètre du volume d'essai validé s'applique par hypothèse. Dans ce cas, la position de l'antenne est ajustée de telle sorte que la distance entre l'EUT et le point de référence de l'antenne corresponde à la distance utilisée pour la mesure de validation par le  $S_{VSWR}$ .

NOTE 1 Dans le cas des EUT de dimension inférieure au volume d'essai validé, la justification implique que la position de l'antenne RX par rapport à l'avant de l'EUT soit ajustée afin de maintenir une distance utilisée dans la validation de  $S_{VSWR}$ . Par hypothèse, un EUT de dimension inférieure reste dans l'ouverture de faisceau à mi-puissance de l'antenne RX et dans la mesure où la chambre a été validée pour l'EUT de dimension supérieure et donc pour le faisceau le plus large de l'antenne RX, les exigences spécifiées en 7.6.6.1 de la CISPR 16-2-3:2010 sont respectées.

Pendant la mesure des perturbations d'un EUT posé au sol, les absorbants de sol utilisés pendant la validation de l'emplacement peuvent être retirés dans la proximité immédiate (empreinte au sol) de l'EUT, et jusqu'à 10 cm autour de l'empreinte au sol de l'EUT.

Dans les installations pour lesquelles le volume d'essai est au-dessus de la hauteur de l'absorbant, comme cela est le cas des installations utilisées pour soumettre aux essais des équipements placés sur table, l'absorbant peut être placé sous le volume d'essai à la fois pour la validation de l'emplacement et les essais des équipements. Des photographies montrant la configuration des absorbants et l'emplacement et la localisation de l'antenne d'émission et de l'antenne de réception doivent être incluses dans le rapport de validation d'emplacement.

La validation de l'emplacement est réalisée par des mesures du  $S_{VSWR}$ . La méthode de validation d'emplacement évalue un volume d'essai donné pour une combinaison spécifique d'emplacement, d'antenne de réception, de distance d'essai (décrite dans la CISPR 16-2-3), et du matériau absorbant placé si nécessaire sur le plan de sol afin de satisfaire au critère de 7.3.2.

Les influences du mat de l'antenne de réception, disposé de la même manière que pour les essais de validation d'emplacement, ainsi que les objets fixés de manière permanente dans le volume d'essai (tels qu'une table tournante installée à demeure), sont déterminées par la présente procédure de validation d'emplacement et incluses dans celle-ci. Il n'est pas exigé que les objets amovibles tels qu'une table d'essai amovible soient présents pendant les essais de validation de l'emplacement, si leur influence est à déterminer séparément par les procédures supplémentaires du 6.11 du présent document.

La CISPR 16-2-3 fournit une description de la méthode de mesure de l'EUT utilisée pour les essais à des fréquences comprises entre 1 GHz et 18 GHz. Le but de la procédure de mesure du  $S_{VSWR}$  est de vérifier l'influence des réflexions incidentes potentielles sur un EUT, de dimensions et de forme arbitraires, placé dans le volume d'essai, et déterminée en utilisant cette procédure.

Le  $S_{VSWR}$  est le rapport entre le signal maximal reçu et le signal minimal reçu, dû à l'interférence entre les signaux directs (intentionnels, souhaités) et les signaux réfléchis (indésirables), ou donnés par l'Equation (21):



$$S_{VSWR} = \frac{E_{\max}}{E_{\min}} = \frac{V_{\max}}{V_{\min}} \quad (21)$$

où

$E_{\max}$  et  $E_{\min}$  sont les signaux maximaux et minimaux reçus, et

$V_{\max}$  et  $V_{\min}$  sont les tensions mesurées correspondantes lorsqu'un récepteur ou un analyseur de spectres est utilisé pour la réception.

Dans les procédures qui suivent, les grandeurs exprimées en décibels (dB) sont généralement utilisées pour les mesures et les calculs. Dans ce cas,  $S_{VSWR}$  est donné par l'Equation (22):

$$S_{VSWR,dB} = 20 \lg \left( \frac{V_{\max}}{V_{\min}} \right) = 20 \lg \left( \frac{E_{\max}}{E_{\min}} \right) = V_{\max,dB} - V_{\min,dB} = E_{\max,dB} - E_{\min,dB} \quad (22)$$

NOTE 2 Lorsqu'on utilise des décibels,  $S_{VSWR,dB}$  peut être pris comme la différence entre les signaux reçus maximaux et minimaux, exprimés en dBm, dB(μV), ou dB(μV/m), selon l'appareil ou le détecteur de signal utilisé.

NOTE 3 La valeur du  $S_{VSWR}$  ou du  $S_{VSWR,dB}$  est calculée séparément à partir des signaux maximaux et minimaux obtenus à chaque fréquence et polarisation, pour un jeu de six mesures, comme décrit en 7.6 ou en 7.7.

### 7.3.2 Critère d'acceptation pour la validation de l'emplacement

Le  $S_{VSWR}$  est directement lié aux influences des réflexions indésirables. Le critère d'acceptation pour la validation d'emplacement de 1 GHz à 18 GHz est:

$$S_{VSWR} \leq 2:1, \text{ ou } S_{VSWR,dB} \leq 6,0 \text{ dB},$$

pour  $S_{VSWR}$  mesuré conformément aux procédures de 7.6 ou de 7.7.

## 7.4 Exigences relatives à l'antenne pour la procédure d'essai normalisée avec le $S_{VSWR}$

### 7.4.1 Généralités

Pour éclairer toutes les surfaces réfléchissantes pendant cet essai, et pour simuler d'éventuels diagrammes de rayonnement faiblement directionnelles, comme cela se présente avec de nombreux EUT, ce paragraphe spécifie les caractéristiques de l'équipement utilisé pendant l'essai de  $S_{VSWR}$ . Dans ce cadre, des antennes RX et TX sont utilisées.

Les paragraphes suivants définissent les critères de performance pour les antennes TX dans le cadre de l'essai de  $S_{VSWR}$ ; voir 4.6.2 pour connaître les critères de performance pour les antennes RX. Les résultats d'essais de type fournis par le fabricant peuvent être utilisés pour prouver que les critères de performance de l'antenne ont été respectés.

Les diagrammes TX et RX doivent être mesurés selon les procédures de l'Annexe I de la CISPR 16-1-6:2014/AMD1:2016.

Pour les antennes TX comme pour les antennes RX, une ou plusieurs antennes peuvent être utilisées pour couvrir l'ensemble de la plage de fréquences dans le cadre de l'essai de  $S_{VSWR}$ .

NOTE Par hypothèse, les deux antennes satisfont également aux exigences des critères de performance à toutes les fréquences utilisées pour l'essai de  $S_{VSWR}$ .



## 7.4.2 Antenne d'émission

### 7.4.2.1 Généralités

L'antenne utilisée comme source d'émission doit être polarisée linéairement et doit avoir un diagramme de rayonnement présentant les caractéristiques détaillées suivantes. Les données du diagramme de rayonnement doivent être disponibles avec un pas de fréquence inférieur ou égal à 1 GHz.

Différents pas de fréquences sont exigés en raison de la variation du diagramme de rayonnement en fonction de la fréquence. À l'inverse de certains diagrammes de rayonnement d'antennes RX LPDA, les diagrammes de rayonnement types des antennes TX ne varient pas rapidement en fonction de la fréquence.

### 7.4.2.2 Diagramme de rayonnement dans le plan E de l'antenne d'émission

Un diagramme de rayonnement dans le plan E pour une antenne avec une polarisation linéaire simple peut être mesuré à l'un des multiples plans de coupe possibles (angle azimutal constant) autour de la sphère de rayonnement. Le plan de coupe pour les mesures du diagramme doit être choisi par le fabricant de l'antenne et doit être décrit dans le rapport de caractérisation de l'antenne. Un choix pratique est généralement le plan contenant le connecteur et le cheminement du câble.

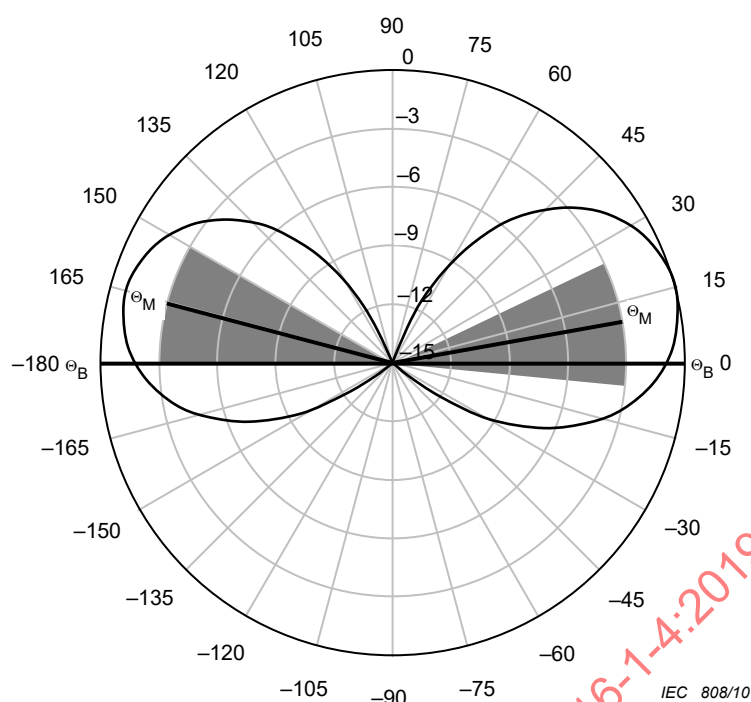
- a) Choisir une direction de lobe principal, désignée par  $\Theta_M$ , pour le côté droit et le côté gauche de chaque tracé du diagramme.  $\Theta_M$  doit être respectivement compris entre  $0^\circ \pm 15^\circ$  et  $180^\circ \pm 15^\circ$ .
- b) Dessiner la zone réputée interdite symétrique par rapport aux directions des lobes principaux des deux côtés du diagramme<sup>2</sup> où l'amplitude est  $\leq -3$  dB pour  $\pm 15^\circ$ .

NOTE Cette limite garantit un diagramme régulier dans la région de la ligne de visée, ainsi qu'un comportement omnidirectionnel acceptable.

- c) Le diagramme dans le plan E ne doit pas entrer dans la zone interdite.

La Figure 21 montre un exemple de diagramme de rayonnement qui satisfait aux exigences précédentes du plan E.

<sup>2</sup> Cette limite garantit un diagramme régulier dans la région de la ligne de visée, ainsi qu'un comportement omnidirectionnel acceptable.



NOTE Le tracé exemple est pour une antenne qui satisfait aux exigences du plan E du présent paragraphe. Les directions des lobes principaux,  $\theta_M$ , pour le côté droit et le côté gauche de chaque tracé du diagramme sont respectivement comprises entre  $0^\circ \pm 15^\circ$  et  $180^\circ \pm 15^\circ$ . Les zones grisées représentent les "zones interdites" où l'amplitude serait  $\leq 3$  dB pour  $\pm 15^\circ$  de chacun des lobes principaux. Le diagramme d'antenne ne pénètre pas dans la zone interdite.

**Figure 21 – Exemple de diagramme de rayonnement dans le plan E d'une antenne d'émission (à titre informatif uniquement)**

#### 7.4.2.3 Diagramme de rayonnement dans le plan H de l'antenne d'émission

Un seul plan permet de mesurer le diagramme dans le plan H d'une antenne doublet: le plan orthogonal à l'axe du doublet qui passe par le centre du doublet. Ce plan peut inclure un symétriseur, un connecteur d'entrée et le câble d'entrée, selon qu'on utilise un câble métallique ou une fibre optique. Le fabricant de l'antenne doit décrire le montage utilisé pour mesurer les diagrammes de rayonnement dans le compte rendu d'essais de l'antenne, y compris les positions du câble d'alimentation et du connecteur.

- Moyenner les données du diagramme de rayonnement (en dB) au-dessus de la plage de  $\pm 135^\circ$  ( $0^\circ$  est l'angle de la ligne de visée,  $\theta_B$ ). La taille maximale d'incrément pour les données de ce diagramme est de  $5^\circ$  dans la gamme de fréquences de 1 GHz à 6 GHz et de  $1^\circ$  de 6 GHz à 18 GHz.
- Le diagramme ne doit pas s'écarter de plus des valeurs suivantes par rapport à la valeur moyennée de  $\pm 135^\circ$ :

| Plage d'angle                                             | 1 GHz à 6 GHz | 6 GHz à 18 GHz |
|-----------------------------------------------------------|---------------|----------------|
| $-60^\circ$ to $+60^\circ$                                | $\pm 2$ dB    | $\pm 3$ dB     |
| $-60^\circ$ à $-135^\circ$ , $+60^\circ$ à $+135^\circ$   | $\pm 3$ dB    | $\pm 4$ dB     |
| $-135^\circ$ à $-180^\circ$ , $+135^\circ$ à $+180^\circ$ | $< +3$ dB     | $< +4$ dB      |

NOTE Bien qu'aucune limite inférieure du diagramme dans le plan H à l'extérieur de  $\pm 135^\circ$  ne soit spécifiée, il est souhaitable que celui-ci ne présente pas de zéro à  $\pm 180^\circ$ , mais soit le plus omnidirectionnel possible. Le cas échéant, les recommandations données par le fabricant d'antennes relatives au cheminement du câble d'alimentation et au positionnement du mât de l'antenne, serviront réduire le plus possible l'influence éventuelle de ces éléments sur le diagramme dans le plan H, à l'extérieur de  $\pm 135^\circ$ .

La Figure 22 montre un exemple de tracé du diagramme de rayonnement satisfaisant aux exigences précédentes relatives au diagramme dans le plan H.

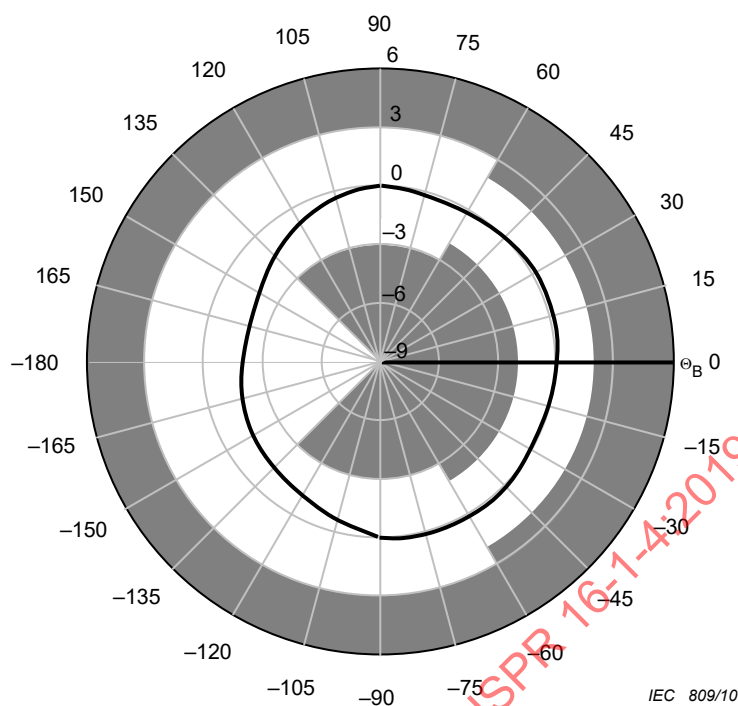


Figure 22a – Diagramme de rayonnement dans le plan H d'une antenne d'émission – 1 GHz à 6 GHz

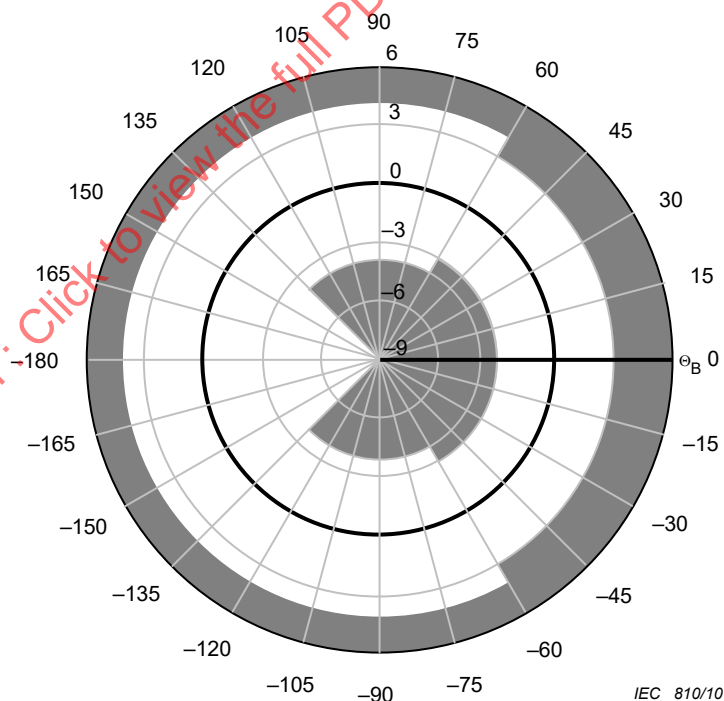


Figure 22b – Diagramme de rayonnement dans le plan H d'une antenne d'émission – 6 GHz à 18 GHz

NOTE L'exemple de tracé concerne une antenne satisfaisant aux exigences relatives au plan H. Les zones grisées représentent les écarts maximaux admis indiqués dans le présent paragraphe. Cet exemple d'antenne satisfait aux exigences parce que le diagramme n'entre pas dans les régions grisées.

Figure 22 – Diagramme de rayonnement dans le plan H d'une antenne d'émission  
(exemple donné à titre informatif uniquement)

### 7.4.3 Antennes et équipement d'essai pour la procédure d'essai inverse avec le $S_{VSWR}$

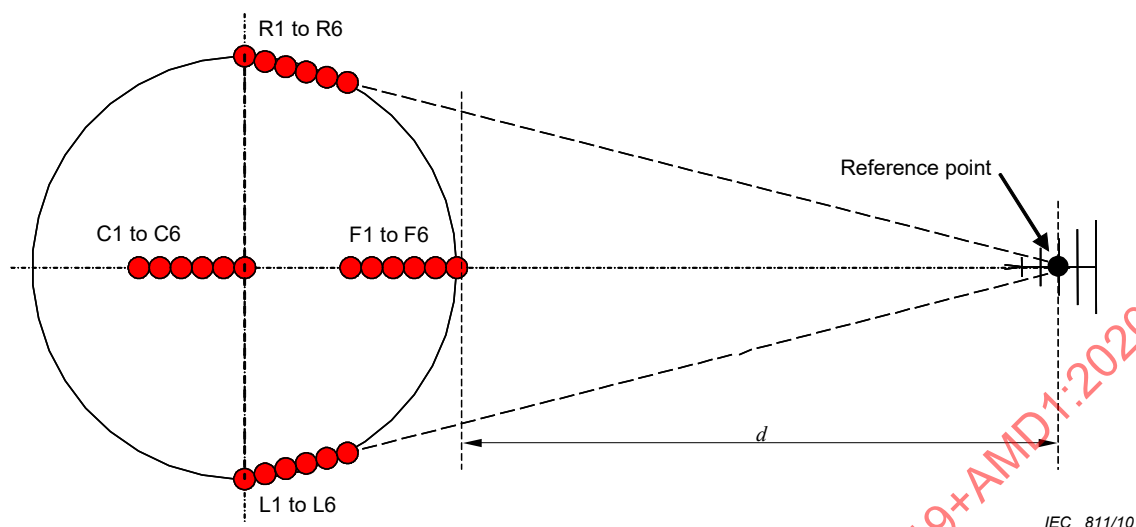
Pour la procédure d'essai inverse avec le  $S_{VSWR}$  (voir 7.7), l'antenne utilisée pour émettre vers le volume d'essai doit être du même type que celle utilisée ultérieurement pour les mesurages des perturbations rayonnées provenant des EUT et doit satisfaire aux exigences de 4.6.2. La sonde de champ isotrope utilisée doit être omnidirectionnelle avec une anisotropie ne dépassant pas 3 dB.

## 7.5 Positions exigées pour l'essai de validation de l'emplacement

### 7.5.1 Généralités

Les essais de validation de l'emplacement doivent être effectués à l'intérieur d'un volume de forme cylindrique. Le fond du cylindre est constitué par la surface utilisée pour supporter l'EUT. Le haut du cylindre est choisi en fonction de la hauteur maximale qu'un EUT et celle que son câblage pourra occuper à la verticale. Le diamètre du cylindre est le plus grand diamètre exigé pour recevoir un EUT avec ses câbles. Pour déterminer les dimensions du volume des câbles sortant du volume d'essai, l'hypothèse d'une section de 30 cm de ces câbles doit être retenue. Pour s'adapter à des équipements placés au sol qui ne peuvent pas être surélevés par rapport à la surface sur laquelle ils reposent, il est admis que l'éclairage du volume d'essai sur une hauteur pouvant atteindre 30 cm à partir du bas du volume d'essai soit obstrué par des absorbants placés sur le plan de sol. Pour la procédure d'essai normalisée de 7.6, le  $S_{VSWR}$  est déterminé en plaçant l'antenne de réception dans la position dans laquelle le volume doit être validé et en déplaçant la source d'émission le long des positions définies. En variante, en utilisant la procédure d'essai inverse avec le  $S_{VSWR}$  de 7.7, les positions décrites dans ce paragraphe sont utilisées pour le placement de la sonde de champ dans le volume d'essai.

Les emplacements exigés pour effectuer les mesures de  $S_{VSWR}$  dépendent des dimensions du volume d'essai. Les détails des exigences concernant la position conditionnelle des mesures sont donnés en 7.8. Le  $S_{VSWR}$  est estimé à chaque emplacement exigé et pour chaque polarisation exigée au moyen d'une série de six mesures sur une ligne allant jusqu'au point de référence de l'antenne de réception. Tous les emplacements possibles exigés sont représentés aux Figures 23 et 24, y compris les emplacements conditionnels décrits en 7.8. Les séries de six mesures sur les lignes allant jusqu'à l'antenne de réception sont indiquées sur ces figures par des points.



#### Légende

$d$  distance d'essai

| Anglais         | Français           |
|-----------------|--------------------|
| R1 to R6        | R1 à R6            |
| C1 to C6        | C1 à C6            |
| F1 to F6        | F1 à F6            |
| L1 to L6        | L1 à L6            |
| Reference point | Point de référence |

**Figure 23 – Positions de mesure de  $S_{VSWR}$  dans un plan horizontal (voir description en 7.5.2)**

#### 7.5.2 Description des positions de mesure de $S_{VSWR}$ dans un plan horizontal (Figure 23)

Ce paragraphe décrit comment les positions de mesure  $S_{VSWR}$  se situent dans un plan horizontal représenté à la Figure 23.

- a) Positions avant 1 à 6 (F1 à F6). Les positions avant sont sur une ligne allant du centre du volume d'essai au point de référence de l'antenne de réception. Pour localiser ces positions, localiser d'abord F6 qui est le plus en avant du volume d'essai sur l'axe de mesure, espacé du point de référence de l'antenne de réception de la distance d'essai,  $d$ .

F5 à F1 sont mesurées par rapport à F6 comme suit, en s'éloignant de l'antenne de réception:

- 1) F5 = F6 + 2 cm en s'éloignant de l'antenne de réception
- 2) F4 = F6 + 10 cm en s'éloignant de l'antenne de réception
- 3) F3 = F6 + 18 cm en s'éloignant de l'antenne de réception
- 4) F2 = F6 + 30 cm en s'éloignant de l'antenne de réception
- 5) F1 = F6 + 40 cm en s'éloignant de l'antenne de réception

- b) Positions à droite 1 à 6 (R1 à R6): Ces positions sont localisées par rapport à la position R6. R6 est trouvée en déterminant l'extrémité de droite du volume d'essai (position R1), puis en se déplaçant jusqu'à 40 cm sur une ligne en direction du point de référence de l'antenne de réception (voir Figure 23).

Les positions R5 à R1 sont mesurées par rapport à R6 comme suit, en s'éloignant de l'antenne de réception:

- 1)  $R5 = R6 + 2$  cm en s'éloignant de l'antenne de réception
  - 2)  $R4 = R6 + 10$  cm en s'éloignant de l'antenne de réception
  - 3)  $R3 = R6 + 18$  cm en s'éloignant de l'antenne de réception
  - 4)  $R2 = R6 + 30$  cm en s'éloignant de l'antenne de réception
  - 5)  $R1 = R6 + 40$  cm en s'éloignant de l'antenne de réception
- c) Positions à gauche 1 à 6 (L1 à L6): Ces positions sont localisées par rapport à la position L6. L6 est trouvée en déterminant l'extrémité de gauche du volume d'essai (position L1), puis en se déplaçant jusqu'à 40 cm sur une ligne en direction du point de référence de l'antenne de réception (voir Figure 23).

Les positions L5 à L1 sont mesurées par rapport à L6 comme suit, en s'éloignant de l'antenne de réception:

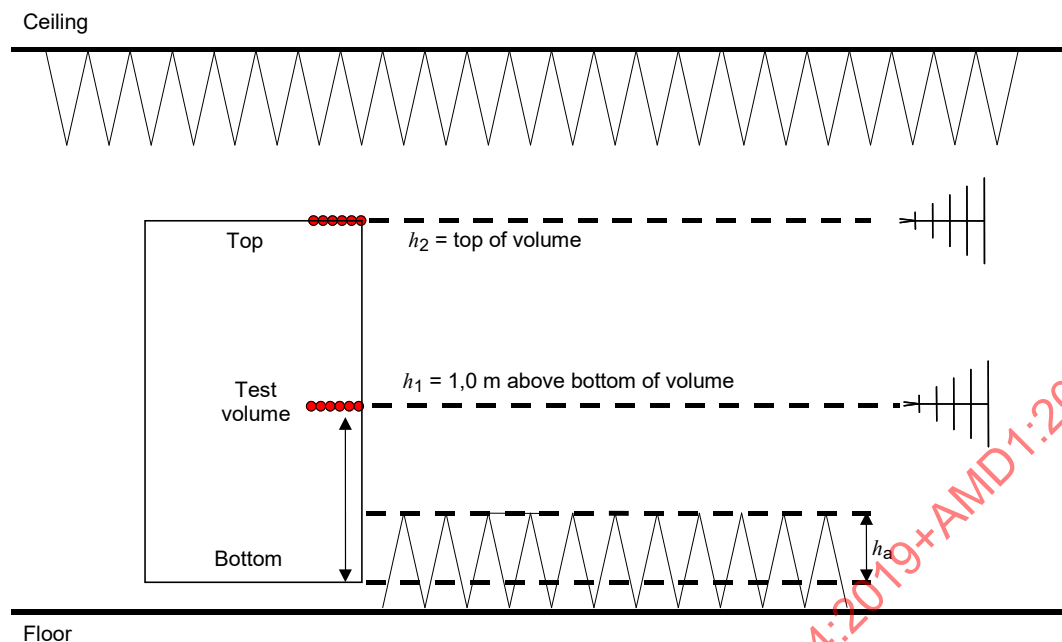
- 1)  $L5 = L6 + 2$  cm en s'éloignant de l'antenne de réception
  - 2)  $L4 = L6 + 10$  cm en s'éloignant de l'antenne de réception
  - 3)  $L3 = L6 + 18$  cm en s'éloignant de l'antenne de réception
  - 4)  $L2 = L6 + 30$  cm en s'éloignant de l'antenne de réception
  - 5)  $L1 = L6 + 40$  cm en s'éloignant de l'antenne de réception
- d) Positions centrales 1 à 6 (C1 à C6): Ces positions sont localisées par rapport à la position C6. La position C6 est au centre du volume d'essai. Les positions C1 à C6 sont exigées pour les essais lorsque le volume d'essai a un diamètre supérieur à 1,5 m (voir 7.8).

C5 à C1 sont mesurées par rapport à C6 en s'éloignant de l'antenne de réception, de la manière suivante:

- 1)  $C5 = C6 + 2$  cm en s'éloignant de l'antenne de réception
- 2)  $C4 = C6 + 10$  cm en s'éloignant de l'antenne de réception
- 3)  $C3 = C6 + 18$  cm en s'éloignant de l'antenne de réception
- 4)  $C2 = C6 + 30$  cm en s'éloignant de l'antenne de réception
- 5)  $C1 = C6 + 40$  cm en s'éloignant de l'antenne de réception

### 7.5.3 Description des positions supplémentaires de mesure de $S_{VSWR}$ (Figure 24)

Outre les emplacements indiqués à la Figure 23, un plan d'essai additionnel de  $S_{VSWR}$  au sommet du volume d'essai peut être exigé en fonction de la hauteur du volume d'essai. La Figure 24 présente l'exigence supplémentaire de hauteur pour les mesures de  $S_{VSWR}$ . L'essai à la deuxième hauteur doit être réalisé sur la position avant uniquement.



IEC 812/10

| Anglais                                  | Français                                 |
|------------------------------------------|------------------------------------------|
| Ceiling                                  | Plafond                                  |
| Top                                      | Haut                                     |
| $h_2$ = top of volume                    | $h_2$ = sommet du volume                 |
| Test volume                              | Volume d'essai                           |
| $h_1$ = 1,0 m above the bottom of volume | $h_1$ = 1,0 m au-dessus du bas du volume |
| Bottom                                   | Bas                                      |
| Floor                                    | Sol                                      |

#### Légende

- $h_a$  partie du volume d'essai occultée par un matériau absorbant placé sur le sol (30 cm maximum)
- $h_1$  hauteur au milieu du volume d'essai, ou à 1,0 m au-dessus du bas du volume d'essai, en prenant la plus faible de ces deux valeurs
- $h_2$  hauteur au sommet du volume d'essai exigée pour faire des mesures si  $h_2$  est distante d'au moins 0,5 m de  $h_1$  (voir 7.8 pour les détails)

**Figure 24 – Positions de  $S_{VSWR}$  (exigences de hauteur)**

#### 7.5.4 Récapitulatif des positions de mesure de $S_{VSWR}$

Le Tableau 7 fournit un récapitulatif des positions de mesure de  $S_{VSWR}$ . Dans le Tableau 7, les positions sont regroupées en fonction de la hauteur ( $h_1$ ,  $h_2$ ) et de l'emplacement (avant, gauche, droite, centre). Pour chaque emplacement, une position de référence utilisée dans les calculs exigés par l'Equation (23) est définie (voir 7.6). Les positions sont désignées par  $P_{mnopq}$ , où les indices correspondent aux noms des positions énumérées dans la première colonne du Tableau 7.

**Tableau 7 – Désignations des positions de mesure de  $S_{VSWR}$  (1 de 3)**

| Nom de la position                                                                                  | Emplacement | Hauteur | Polarisation | Position de référence pour $d_{ref}$ [voir Equation (23)] | Emplacement par rapport à la position de référence |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|---------|--------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| <b>Positions avant (Avant, <math>h_1</math>) à la première hauteur</b>                              |             |         |              |                                                           |                                                    |
| F1h1H                                                                                               | Avant       | $h_1$   | Horizontale  | F6h1                                                      | +40 cm en s'éloignant de l'antenne de réception    |
| F1h1V                                                                                               | Avant       | $h_1$   | Verticale    | F6h1                                                      | +40 cm en s'éloignant de l'antenne de réception    |
| F2h1H                                                                                               | Avant       | $h_1$   | Horizontale  | F6h1                                                      | +30 cm en s'éloignant de l'antenne de réception    |
| F2h1V                                                                                               | Avant       | $h_1$   | Verticale    | F6h1                                                      | +30 cm en s'éloignant de l'antenne de réception    |
| F3h1H                                                                                               | Avant       | $h_1$   | Horizontale  | F6h1                                                      | +18 cm en s'éloignant de l'antenne de réception    |
| F3h1V                                                                                               | Avant       | $h_1$   | Verticale    | F6h1                                                      | +18 cm en s'éloignant de l'antenne de réception    |
| F4h1H                                                                                               | Avant       | $h_1$   | Horizontale  | F6h1                                                      | +10 cm en s'éloignant de l'antenne de réception    |
| F4h1V                                                                                               | Avant       | $h_1$   | Verticale    | F6h1                                                      | +10 cm en s'éloignant de l'antenne de réception    |
| F5h1H                                                                                               | Avant       | $h_1$   | Horizontale  | F6h1                                                      | +2 cm en s'éloignant de l'antenne de réception     |
| F5h1V                                                                                               | Avant       | $h_1$   | Verticale    | F6h1                                                      | +2 cm en s'éloignant de l'antenne de réception     |
| F6h1H                                                                                               | Avant       | $h_1$   | Horizontale  | F6h1                                                      | = Position de référence (Avant, $h_1$ )            |
| F6h1V                                                                                               | Avant       | $h_1$   | Verticale    | F6h1                                                      | = Position de référence (Avant, $h_1$ )            |
| <b>Positions au centre (Centre, <math>h_1</math>) à la première hauteur (si exigées – voir 7.8)</b> |             |         |              |                                                           |                                                    |
| C1h1H                                                                                               | Centre      | $h_1$   | Horizontale  | C6h1                                                      | +40 cm en s'éloignant de l'antenne de réception    |
| C1h1V                                                                                               | Centre      | $h_1$   | Verticale    | C6h1                                                      | +40 cm en s'éloignant de l'antenne de réception    |
| C2h1H                                                                                               | Centre      | $h_1$   | Horizontale  | C6h1                                                      | +30 cm en s'éloignant de l'antenne de réception    |
| C2h1V                                                                                               | Centre      | $h_1$   | Verticale    | C6h1                                                      | +30 cm en s'éloignant de l'antenne de réception    |
| C3h1H                                                                                               | Centre      | $h_1$   | Horizontale  | C6h1                                                      | +18 cm en s'éloignant de l'antenne de réception    |
| C3h1V                                                                                               | Centre      | $h_1$   | Verticale    | C6h1                                                      | +18 cm en s'éloignant de l'antenne de réception    |
| C4h1H                                                                                               | Centre      | $h_1$   | Horizontale  | C6h1                                                      | +10 cm en s'éloignant de l'antenne de réception    |
| C4h1V                                                                                               | Centre      | $h_1$   | Verticale    | C6h1                                                      | +10 cm en s'éloignant de l'antenne de réception    |
| C5h1H                                                                                               | Centre      | $h_1$   | Horizontale  | C6h1                                                      | +2 cm en s'éloignant de l'antenne de réception     |
| C5h1V                                                                                               | Centre      | $h_1$   | Verticale    | C6h1                                                      | +2 cm en s'éloignant de l'antenne de réception     |
| C6h1H                                                                                               | Centre      | $h_1$   | Horizontale  | C6h1                                                      | = Position de référence (centre, $h_1$ )           |
| C6h1V                                                                                               | Centre      | $h_1$   | Verticale    | C6h1                                                      | = Position de référence (centre, $h_1$ )           |



Tableau 7 (2 de 3)

| Nom de la position                              | Emplacement | Hauteur | Polarisation | Position de référence pour $d_{ref}$ [voir Equation (23)] | Emplacement par rapport à la position de référence                             |
|-------------------------------------------------|-------------|---------|--------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Positions à droite à la première hauteur</b> |             |         |              |                                                           |                                                                                |
| R1h1H                                           | Droite      | $h_1$   | Horizontale  | R6h1                                                      | +40 cm en s'éloignant de l'antenne de réception à l'extrémité droite du volume |
| R1h1V                                           | Droite      | $h_1$   | Verticale    | R6h1                                                      | +40 cm en s'éloignant de l'antenne de réception à l'extrémité droite du volume |
| R2h1H                                           | Droite      | $h_1$   | Horizontale  | R6h1                                                      | +30 cm en s'éloignant de l'antenne de réception                                |
| R2h1V                                           | Droite      | $h_1$   | Verticale    | R6h1                                                      | +30 cm en s'éloignant de l'antenne de réception                                |
| R3h1H                                           | Droite      | $h_1$   | Horizontale  | R6h1                                                      | +18 cm en s'éloignant de l'antenne de réception                                |
| R3h1V                                           | Droite      | $h_1$   | Verticale    | R6h1                                                      | +18 cm en s'éloignant de l'antenne de réception                                |
| R4h1H                                           | Droite      | $h_1$   | Horizontale  | R6h1                                                      | +10 cm en s'éloignant de l'antenne de réception                                |
| R4h1V                                           | Droite      | $h_1$   | Verticale    | R6h1                                                      | +10 cm en s'éloignant de l'antenne de réception                                |
| R5h1H                                           | Droite      | $h_1$   | Horizontale  | R6h1                                                      | +2 cm en s'éloignant de l'antenne de réception                                 |
| R5h1V                                           | Droite      | $h_1$   | Verticale    | R6h1                                                      | +2 cm en s'éloignant de l'antenne de réception                                 |
| R6h1H                                           | Droite      | $h_1$   | Horizontale  | R6h1                                                      | = Position de référence (Droite, $h_1$ )                                       |
| R6h1V                                           | Droite      | $h_1$   | Verticale    | R6h1                                                      | = Position de référence (Droite, $h_1$ )                                       |
| <b>Positions à gauche à la première hauteur</b> |             |         |              |                                                           |                                                                                |
| L1h1H                                           | Gauche      | $h_1$   | Horizontale  | L6h1                                                      | +40 cm en s'éloignant de l'antenne de réception à l'extrémité gauche du volume |
| L1h1V                                           | Gauche      | $h_1$   | Verticale    | L6h1                                                      | +40 cm en s'éloignant de l'antenne de réception à l'extrémité gauche du volume |
| L2h1H                                           | Gauche      | $h_1$   | Horizontale  | L6h1                                                      | +30 cm en s'éloignant de l'antenne de réception                                |
| L2h1V                                           | Gauche      | $h_1$   | Verticale    | L6h1                                                      | +30 cm en s'éloignant de l'antenne de réception                                |
| L3h1H                                           | Gauche      | $h_1$   | Horizontale  | L6h1                                                      | +18 cm en s'éloignant de l'antenne de réception                                |
| L3h1V                                           | Gauche      | $h_1$   | Verticale    | L6h1                                                      | +18 cm en s'éloignant de l'antenne de réception                                |
| L4h1H                                           | Gauche      | $h_1$   | Horizontale  | L6h1                                                      | +10 cm en s'éloignant de l'antenne de réception                                |
| L4h1V                                           | Gauche      | $h_1$   | Verticale    | L6h1                                                      | +10 cm en s'éloignant de l'antenne de réception                                |
| L5h1H                                           | Gauche      | $h_1$   | Horizontale  | L6h1                                                      | +2 cm en s'éloignant de l'antenne de réception                                 |
| L5h1V                                           | Gauche      | $h_1$   | Verticale    | L6h1                                                      | +2 cm en s'éloignant de l'antenne de réception                                 |
| L6h1H                                           | Gauche      | $h_1$   | Horizontale  | L6h1                                                      | = Position de référence (Gauche, $h_1$ )                                       |
| L6h1V                                           | Gauche      | $h_1$   | Verticale    | L6h1                                                      | = Position de référence (Gauche, $h_1$ )                                       |

**Tableau 7 (3 de 3)**

| Nom de la position                                                                | Emplacement | Hauteur | Polarisation | Position de référence pour $d_{ref}$ [voir Equation (23)] | Emplacement par rapport à la position de référence |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------|---------|--------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| <b>Positions en avant à la deuxième hauteur (si exigées – voir 7.8)</b>           |             |         |              |                                                           |                                                    |
| F1h2H                                                                             | Avant       | $h_2$   | Horizontale  | F6h2                                                      | +40 cm en s'éloignant de l'antenne de réception    |
| F1h2V                                                                             | Avant       | $h_2$   | Verticale    | F6h2                                                      | +40 cm en s'éloignant de l'antenne de réception    |
| F2h2H                                                                             | Avant       | $h_2$   | Horizontale  | F6h2                                                      | +30 cm en s'éloignant de l'antenne de réception    |
| F2h2V                                                                             | Avant       | $h_2$   | Verticale    | F6h2                                                      | +30 cm en s'éloignant de l'antenne de réception    |
| F3h2H                                                                             | Avant       | $h_2$   | Horizontale  | F6h2                                                      | +18 cm en s'éloignant de l'antenne de réception    |
| F3h2V                                                                             | Avant       | $h_2$   | Verticale    | F6h2                                                      | +18 cm en s'éloignant de l'antenne de réception    |
| F4h2H                                                                             | Avant       | $h_2$   | Horizontale  | F6h2                                                      | +10 cm en s'éloignant de l'antenne de réception    |
| F4h2V                                                                             | Avant       | $h_2$   | Verticale    | F6h2                                                      | +10 cm en s'éloignant de l'antenne de réception    |
| F5h2H                                                                             | Avant       | $h_2$   | Horizontale  | F6h2                                                      | +2 cm en s'éloignant de l'antenne de réception     |
| F5h2V                                                                             | Avant       | $h_2$   | Verticale    | F6h2                                                      | +2 cm en s'éloignant de l'antenne de réception     |
| F6h2H                                                                             | Avant       | $h_2$   | Horizontale  | F6h2                                                      | = Position de référence (Avant, $h_2$ )            |
| F6h2V                                                                             | Avant       | $h_2$   | Verticale    | F6h2                                                      | = Position de référence (Avant, $h_2$ )            |
| NOTE Ces mesures de $S_{VSWR}$ peuvent être effectuées dans n'importe quel ordre. |             |         |              |                                                           |                                                    |

## 7.6 Validation de l'emplacement de $S_{VSWR}$ – procédure d'essai normalisée

Dans la procédure suivante, les positions sont désignées par  $P_{mnpq}$ , où les indices correspondent aux noms des positions énumérées dans la première colonne du Tableau 7. Le signal mesuré,  $M$ , est le champ électrique reçu ou la mesure de tension dans chaque position, et il est désigné de la même manière par des indices, par exemple  $M_{mnpq}$ .  $P_{F1h1H}$  par exemple est la position F1, à la hauteur 1, en polarisation horizontale et son signal mesuré (en dB) est dénommé  $M_{F1h1H}$ .

- Placer la source d'émission avec son point de référence dans la position avant 6, hauteur 1, en polarisation horizontale ( $P_{F6h1H}$ ). Placer l'antenne de réception également en polarisation horizontale à la distance d'essai  $d$ , mesurée à partir de la source jusqu'au point de référence de l'antenne de réception. Noter que la hauteur de l'antenne de réception doit être la même hauteur que celle de la source d'émission, pour toutes les mesures.
- Vérifier que le signal reçu affiché est supérieur au bruit ambiant d'au moins 20 dB et supérieur au bruit affiché par le récepteur de mesure ou l'analyseur de spectre sur toute la gamme des fréquences à mesurer. Si ce n'est pas le cas, il peut être nécessaire d'utiliser des équipements différents (antennes, câbles, générateur de signal, préamplificateur) et/ou d'utiliser, le cas échéant, des plages de fréquences partielles pour maintenir le signal à 20 dB au-dessus du plancher de bruit affiché.

- c) Enregistrer le niveau de signal mesuré,  $M_{F6h1H}$  à chaque fréquence. Les mesures peuvent être effectuées par balayage ou par incréments de fréquence par pas. Si l'on utilise des incréments par pas, l'incrément de fréquence doit être inférieur ou égal à 50 MHz.
- d) Répéter les étapes b) et c), la source d'émission se trouvant dans les cinq autres positions indiquées dans le Tableau 8 (voir 6.9) pour les conditions avant, hauteur 1, polarisation horizontale. Il y a au total six mesures pour avant, hauteur 1, polarisation horizontale (de  $M_{F1h1H}$  à  $M_{F6h1H}$ ) qui diffèrent par la distance de séparation par rapport à l'antenne de réception, des incréments indiqués dans le Tableau 7.
- e) Faire varier la polarisation de la source d'émission et de l'antenne de réception en une polarisation verticale, puis répéter la procédure ci-dessus pour les positions  $P_{F1h1V}$  à  $P_{F1h6V}$ , afin d'obtenir  $M_{F1h1V}$  à  $M_{F1h6V}$ .
- f) Pour l'ensemble des mesures, normaliser le champ électrique mesuré ou les données de tension mesurées à la distance de la position de référence indiquée dans le Tableau 7 en utilisant l'Equation (23):

$$M'_{mnopq} = M_{mnopq} + 20 \lg \left( \frac{d_{mnopq}}{d_{ref}} \right) \text{ dB} \quad (23)$$

où

|              |                                                                                                                                                                                                                                                     |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $d_{mnopq}$  | est la distance réelle de séparation pour l'emplacement de mesure;                                                                                                                                                                                  |
| $d_{ref}$    | est la distance de séparation mesurée par rapport à la position de référence;                                                                                                                                                                       |
| $M_{mnopq}$  | est le signal mesuré (intensité du champ électrique ou tension du récepteur) en dB. Noter que chaque emplacement de mesure a une position de référence différente correspondant à la position 6, comme indiqué dans le Tableau 7 pour $P_{mnopq}$ ; |
| $M'_{mnopq}$ | est l'intensité du champ électrique mesuré normalisé ou les données de tension par rapport à la distance de la position de référence indiquée dans le Tableau 7.                                                                                    |

- g) En utilisant l'Equation (21) ou l'Equation (22) (voir 7.3.1), calculer le  $S_{VSWR}$  pour la polarisation horizontale. En utilisant l'Equation (22),  $S_{VSWR,dB}$  peut être obtenu en soustrayant le signal minimal reçu,  $M_{min,dB}$ , du signal maximal reçu,  $M_{max,dB}$ , après avoir appliqué les corrections de distance [c'est-à-dire l'étape f) du 7.6], pour les six positions. Répéter le calcul pour les résultats obtenus en utilisant la polarisation verticale.
- h) Le  $S_{VSWR}$  pour chacune des polarisations doit satisfaire aux critères d'acceptation de 7.3.2.
- i) Répéter les étapes a) à h) pour les positions à gauche et à droite du volume d'essai. Noter que lorsque l'antenne d'émission source est déplacée à gauche ou à droite, sa ligne de visée doit être dirigée vers l'antenne de réception. Cependant, l'antenne de réception doit continuer à faire face au centre (non dirigée vers les positions latérales), dans la même direction que celle qu'elle aura ultérieurement pendant les mesures effectuées sur les EUT.
- j) Si 7.8 l'exige, répéter la procédure ci-dessus pour les mesures dans la position centrale, et pour les mesures demandées à la deuxième hauteur. Lorsque les mesures sont effectuées à la deuxième hauteur, l'antenne de réception doit être à la même hauteur que l'antenne d'émission.

## 7.7 Validation d'emplacement de $S_{VSWR}$ – procédure d'essai inverse utilisant une sonde de champ isotrope

Pour les installations blindées (c'est-à-dire une chambre complètement anéchoïque ou une chambre semi-anéchoïque), il est admis de déterminer le  $S_{VSWR}$  au moyen d'une sonde de champ isotrope placée aux emplacements exigés du Tableau 7 et en illuminant le volume d'essai avec la même antenne que celle qui sera utilisée ultérieurement comme antenne de réception, pour les mesurages des perturbations rayonnées provenant des EUT. Pour les besoins du présent document, cette méthode est appelée méthode «inverse» de validation

d'emplacement avec le  $S_{VSWR}$ . Dans cette procédure d'essai inverse avec le  $S_{VSWR}$ , l'antenne à utiliser ultérieurement comme antenne de réception pour les mesurages des perturbations rayonnées provenant des EUT est appelée antenne "d'émission" car elle sera utilisée pour émettre en direction d'une sonde située dans le volume d'essai. La sonde de champ isotrope est exigée pour satisfaire aux spécifications de diagramme de rayonnement de 7.4.2. La sonde doit pouvoir être alignée avec la polarisation de l'antenne d'émission, c'est-à-dire que l'emplacement et l'orientation des éléments détecteurs de la sonde doivent être connus.

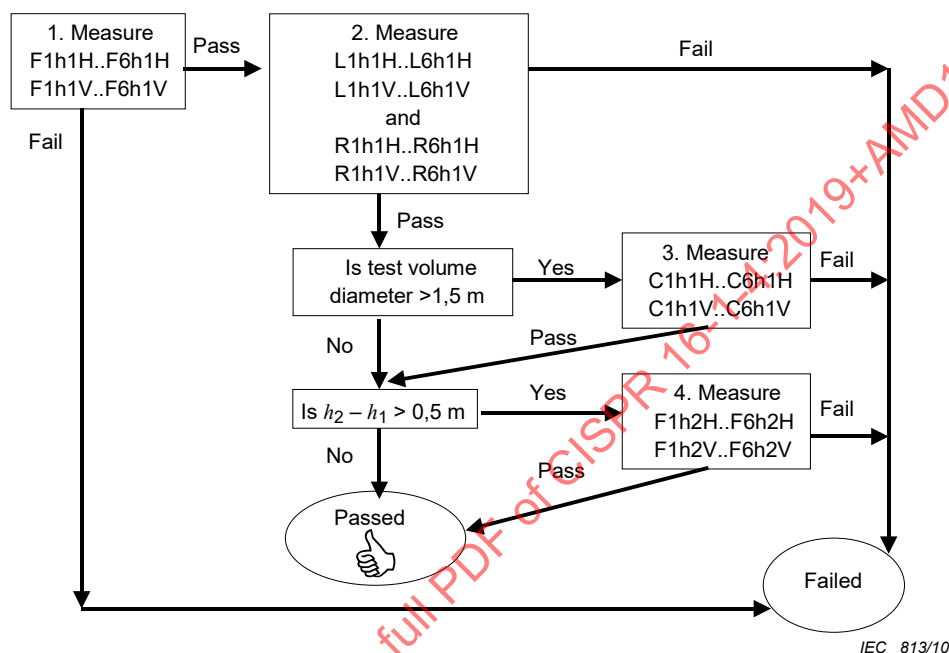
La procédure d'essai inverse de validation d'emplacement avec le  $S_{VSWR}$  utilisant une sonde de champ isotrope est la suivante.

- a) Placer la sonde de champ dans la position avant 6, hauteur 1, en polarisation horizontale ( $P_{F6h1H}$ ). Placer l'antenne d'émission à la distance d'essai  $d$  mesurée, du périmètre du volume d'essai jusqu'au point de référence de l'antenne. La hauteur de l'antenne d'émission doit être la même que celle de la sonde, pour toutes les positions.
- b) Vérifier que l'amplitude du champ est suffisante pour permettre le bon fonctionnement de la sonde. Pour les recommandations concernant les équipements et les procédures nécessaires à la détermination des intensités de champ appropriées, se référer aux spécifications d'utilisation des constructeurs pour la sonde (sensibilité et incertitude de mesure adéquates). De plus, il convient de vérifier la linéarité du système de transmission et de la sonde, et les harmoniques doivent être supprimées jusqu'à un niveau d'au moins 15 dB en dessous du signal primaire. L'utilisation d'un coupleur directif est recommandée pour surveiller la puissance incidente pendant l'essai, car des variations de niveau de la puissance de sortie entraînent des variations des résultats de l'essai. Il est important de fournir des signaux de sortie stables, car toute variation de signal due à une instabilité de la source de signal (par exemple mauvais raccordements des câbles, variations dues au temps de préchauffage du amplificateur de puissance, etc.) peut générer des variations supplémentaires des résultats (c'est-à-dire des résultats de  $S_{VSWR}$  artificiellement élevés).
- c) Enregistrer le niveau de signal mesuré,  $M_{F6h1H}$ , à chaque fréquence. Les mesures peuvent être effectuées par balayage ou par incréments de fréquence par pas. Si l'on utilise des incréments par pas, l'incrément de fréquence doit être inférieur ou égal à 50 MHz.
- d) Répéter les étapes b) et c), la sonde de champ se trouvant dans les cinq autres positions indiquées dans le Tableau 8 (voir 7.9) pour les conditions avant, hauteur 1, polarisation horizontale. Il y a au total six mesures pour avant, hauteur 1, polarisation horizontale (de  $M_{F1h1H}$  à  $M_{F6h1H}$ ) qui diffèrent par la distance de séparation par rapport à l'antenne de réception, des incréments indiqués dans le Tableau 7.
- e) Faire varier la polarisation de la sonde de champ et de l'antenne en une polarisation verticale et répéter la procédure ci-dessus pour les positions  $P_{F1h1V}$  à  $P_{F6h1V}$ , afin d'obtenir  $M_{F1h1V}$  à  $M_{F6h1V}$ .
- f) Pour toutes les mesures, normaliser les données obtenues en utilisant l'Equation (23).
- g) En utilisant l'Equation (21) ou l'Equation (22) (voir 7.3.1), calculer le  $S_{VSWR}$  pour la polarisation horizontale. En utilisant l'Equation (22),  $S_{VSWR, dB}$  peut être obtenu en soustrayant le signal minimal reçu,  $M_{min, dB}$ , du signal maximal reçu,  $M_{max, dB}$ , après avoir appliqué les corrections de distance [c'est-à-dire l'étape f) du 7.7], pour les six positions. Répéter les calculs pour les résultats obtenus en utilisant la polarisation verticale.
- h) Le  $S_{VSWR}$  pour les deux polarisations doit satisfaire aux critères d'acceptation de 7.3.2.
- i) Répéter la procédure ci-dessus pour les parties gauche et droite du volume d'essai. Noter que pour la procédure  $S_{VSWR}$  inverse, la sonde peut être réglée pour conserver une direction constante vers le point de référence de l'antenne d'émission. Cependant, l'antenne d'émission doit rester pointée vers le centre du volume (non dirigée vers les positions latérales), dans la même direction que celle qu'elle aura pendant les mesures effectuées ultérieurement sur les EUT.
- j) Si 7.8 l'exige, répéter la procédure ci-dessus pour les mesures dans la position centrale, et pour toutes les mesures demandées à la deuxième hauteur. Lorsque les mesures sont effectuées à la deuxième hauteur, la sonde doit être à la même hauteur que l'antenne d'émission.

## 7.8 Exigences concernant la position conditionnelle des mesures de $S_{VSWR}$

Comme indiqué par la Figure 23, la Figure 24 et le Tableau 7, des mesures dans des positions supplémentaires sont demandées en fonction des dimensions du volume d'essai. La Figure 25 présente un organigramme spécifiant le moment où ces mesures supplémentaires sont exigées.

Lorsque des positions de mesure supplémentaires sont exigées, le  $S_{VSWR}$  doit être déterminé à chaque fréquence d'essai de chaque groupe de six mesures, indépendamment pour la polarisation horizontale et verticale, en utilisant les procédures de 7.6 ou 7.7.



| Anglais                         | Français                             |
|---------------------------------|--------------------------------------|
| 1. Measure                      | 1. Mesurer                           |
| Pass                            | Réussite                             |
| Fail                            | Echec                                |
| 2. Measure<br>and               | 2. Mesurer<br>et                     |
| Pass                            | Réussite                             |
| Fail                            | Echec                                |
| Is test volume diameter > 1,5 m | Diamètre du volume d'essai > 1,5 m ? |
| Yes                             | Oui                                  |
| No                              | Non                                  |
| 3. Measure                      | 3. Mesurer                           |
| Pass                            | Réussite                             |
| Fail                            | Echec                                |
| Is $h_2 - h_1 > 0,5$ m          | $h_2 - h_1 > 0,5$ m ?                |
| Yes                             | Oui                                  |
| No                              | Non                                  |
| 4. Measure                      | 4. Mesurer                           |
| Pass                            | Réussite                             |
| Fail                            | Echec                                |
| Passed                          | Réussite                             |
| Failed                          | Echec                                |

NOTE Il n'est pas exigé d'effectuer les mesures dans l'ordre énoncé, et celles-ci peuvent être effectuées dans n'importe quel ordre permettant d'obtenir l'ensemble des données exigées.

Figure 25 – Exigences concernant la position conditionnelle des mesures de  $S_{VSWR}$

## 7.9 Rapport d'essai de validation d'emplacement $S_{VSWR}$

Le Tableau 8 fournit un résumé de toutes les mesures et calculs possibles de  $S_{VSWR}$  exigés (normalisés), y compris les résultats relatifs aux positions exigées et aux positions conditionnelles de 7.8. Les calculs de  $S_{VSWR}$  ci-dessus et les exigences liées au rapport s'appliquent à chaque fréquence d'essai.

**Tableau 8 – Exigences concernant les rapports de  $S_{VSWR}$**

| Emplacement | Hauteur | Polarisation | Type         | $S_{VSWR}$<br>dB                                                                        |
|-------------|---------|--------------|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| Avant       | $h_1$   | Horizontale  | Exigé        | $= \text{Max} (M'_{F1h1H} \dots M'_{F6h1H}) - \text{Min} (M'_{F1h1H} \dots M'_{F6h1H})$ |
| Avant       | $h_1$   | Verticale    | Exigé        | $= \text{Max} (M'_{F1h1V} \dots M'_{F6h1V}) - \text{Min} (M'_{F1h1V} \dots M'_{F6h1V})$ |
| Droite      | $h_1$   | Horizontale  | Exigé        | $= \text{Max} (M'_{R1h1H} \dots M'_{R6h1H}) - \text{Min} (M'_{R1h1H} \dots M'_{R6h1H})$ |
| Droite      | $h_1$   | Verticale    | Exigé        | $= \text{Max} (M'_{R1h1V} \dots M'_{R6h1V}) - \text{Min} (M'_{R1h1V} \dots M'_{R6h1V})$ |
| Gauche      | $h_1$   | Horizontale  | Exigé        | $= \text{Max} (M'_{L1h1H} \dots M'_{L6h1H}) - \text{Min} (M'_{L1h1H} \dots M'_{L6h1H})$ |
| Gauche      | $h_1$   | Verticale    | Exigé        | $= \text{Max} (M'_{L1h1V} \dots M'_{L6h1V}) - \text{Min} (M'_{L1h1V} \dots M'_{L6h1V})$ |
| Centre      | $h_1$   | Horizontale  | Conditionnel | $= \text{Max} (M'_{C1h1H} \dots M'_{C6h1H}) - \text{Min} (M'_{C1h1H} \dots M'_{C6h1H})$ |
| Centre      | $h_1$   | Verticale    | Conditionnel | $= \text{Max} (M'_{C1h1V} \dots M'_{C6h1V}) - \text{Min} (M'_{C1h1V} \dots M'_{C6h1V})$ |
| Avant       | $h_2$   | Horizontale  | Conditionnel | $= \text{Max} (M'_{F1h2H} \dots M'_{F6h2H}) - \text{Min} (M'_{F1h2H} \dots M'_{F6h2H})$ |
| Avant       | $h_2$   | Verticale    | Conditionnel | $= \text{Max} (M'_{F1h2V} \dots M'_{F6h2V}) - \text{Min} (M'_{F1h2V} \dots M'_{F6h2V})$ |

## 7.10 Limites de la méthode de validation d'emplacement de $S_{VSWR}$

Les points de mesure choisis pour 7.5 et contenus dans les procédures précédentes ont pour objet de fournir une mesure d'ensemble du  $S_{VSWR}$  de l'emplacement d'essai pour toute la gamme de fréquences de 1 GHz à 18 GHz. Noter cependant que le  $S_{VSWR}$  maximal ne peut pas toujours être obtenu par les procédures de 7.6 ou 7.7, à une fréquence spécifique  $f$  quelconque. Par conséquent, il convient d'éviter les énoncés de conformité de  $S_{VSWR}$  basés sur des mesures à une fréquence unique. Cependant, le maximum trouvé par les procédures ci-dessus, dans des octaves de fréquence adjacentes ( $0,5f$  à  $2f$ ), est en général représentatif du  $S_{VSWR}$  le plus défavorable relatif à toutes les fréquences incluses dans la bande.

Dans les cas une meilleure précision des résultats de  $S_{VSWR}$  à une seule fréquence est souhaitée, la méthode ci-dessus peut être améliorée en effectuant la mesure à plus de six positions le long des lignes indiquées sur la Figure 23 et la Figure 24. Il convient d'espacer de manière inégale les points supplémentaires de collecte de données, et de les choisir en se basant sur un déplacement en distance de l'antenne source (ou de la sonde de champ pour la méthode de  $S_{VSWR}$  inverse) en utilisant des échelons d'un quart de longueur d'onde à la fréquence concernée.

## 7.11 Autres emplacements d'essai

Tout emplacement d'essai qui satisfait aux conditions d'espace libre est un autre emplacement d'essai possible.

## 8 Dispositifs d'absorption en mode commun

### 8.1 Généralités

Les CMAD (dispositifs d'absorption en mode commun) sont appliqués sur les câbles à leur sortie du volume d'essai au cours d'une mesure de perturbation rayonnée. Les CMAD sont utilisés dans les mesures des perturbations rayonnées pour réduire les variations des résultats de mesure entre différents emplacements d'essai, dues à de possibles différences de valeurs d'impédance de mode commun et de symétrie au point où les câbles quittent l'emplacement d'essai (par exemple au centre d'une table tournante). Les caractéristiques fondamentales des CMAD peuvent être exprimées en paramètres  $S$ . Les valeurs de performance déduites telles que la perte d'insertion ou le coefficient de réflexion peuvent être déterminées à partir de ces paramètres  $S$ . Cet article spécifie les méthodes de mesure pour la vérification des paramètres  $S$  d'un CMAD.

### 8.2 Mesures des paramètres $S$ d'un CMAD

Les paramètres  $S$  mesurés dans un montage d'essai, comme cela est décrit en 8.3, sont utilisés pour caractériser les propriétés d'un CMAD. Les valeurs des paramètres  $S$  complexes sont évaluées au niveau des plans de référence indiqués à la Figure 26. La méthode de référence pour la mesure des paramètres  $S$  avec la précision la plus élevée possible utilise un analyseur de réseau vectoriel (VNA) et la méthode d'étalonnage TRL décrite en 8.4.

### 8.3 Montage d'essai de CMAD

Un montage d'essai utilisé pour la mesure des paramètres  $S$  d'un CMAD en essai doit comporter une tige métallique cylindrique au-dessus d'un plan de sol métallique comme cela est représenté à la Figure 26. La tige métallique entre les flasques verticaux du montage d'essai se compose de trois sections: une section formant une ligne de transmission dans le montage entre les deux plans de référence et deux sections d'adaptation entre les plans de référence et les accès d'adaptateur.

Les effets sur les résultats de mesure d'un CMAD dus aux sections d'adaptation et aux accès d'adaptateur peuvent être éliminés en utilisant la méthode d'étalonnage TRL décrite en 8.4, ce qui permet d'obtenir une incertitude faible pour les mesures finales. Tout type d'adaptateur peut être utilisé pour les mesures de 8.4. Des exemples d'adaptateurs sont représentés aux Figures 29 à 31 (voir 8.6).

Le diamètre  $d$  de la tige cylindrique doit être de 4 mm. La hauteur au-dessus du plan de masse,  $h$ , est définie par les dimensions du CMAD. Les valeurs types sont 30 mm, 65 mm et 90 mm. La mesure doit être réalisée à la hauteur définie par la conception du CMAD. La distance entre le plan de référence et le flasque vertical du montage (section d'adaptation),  $L_A$ , doit être d'au moins  $2h$  (voir Figure 26). Il convient que les distances entre les plans de référence et les extrémités du CMAD,  $D_A$  et  $D_B$ , soient aussi faibles que possible, mais qu'elles ne dépassent pas  $h$ . Le plan de masse métallique du montage d'essai doit avoir une longueur supérieure à  $(L_{\text{jig}} + 4h)$  et une largeur supérieure à  $4h$ .

L'impédance caractéristique,  $Z_{\text{ref}}$ , est donnée par le diamètre interne de la ligne,  $d$  (définie à 4 mm), et par la hauteur du centre de la tige au-dessus du plan de sol,  $h$ :

$$Z_{\text{ref}} = \frac{Z_0}{2\pi} \cosh^{-1} \left( \frac{2h}{d} \right) \text{ en } \Omega \quad (24)$$

où

$Z_0$  est l'impédance d'espace libre en W (à savoir  $120\pi$ ) en  $\Omega$ ;

$d$  est le diamètre du conducteur d'essai, défini à 4 mm;



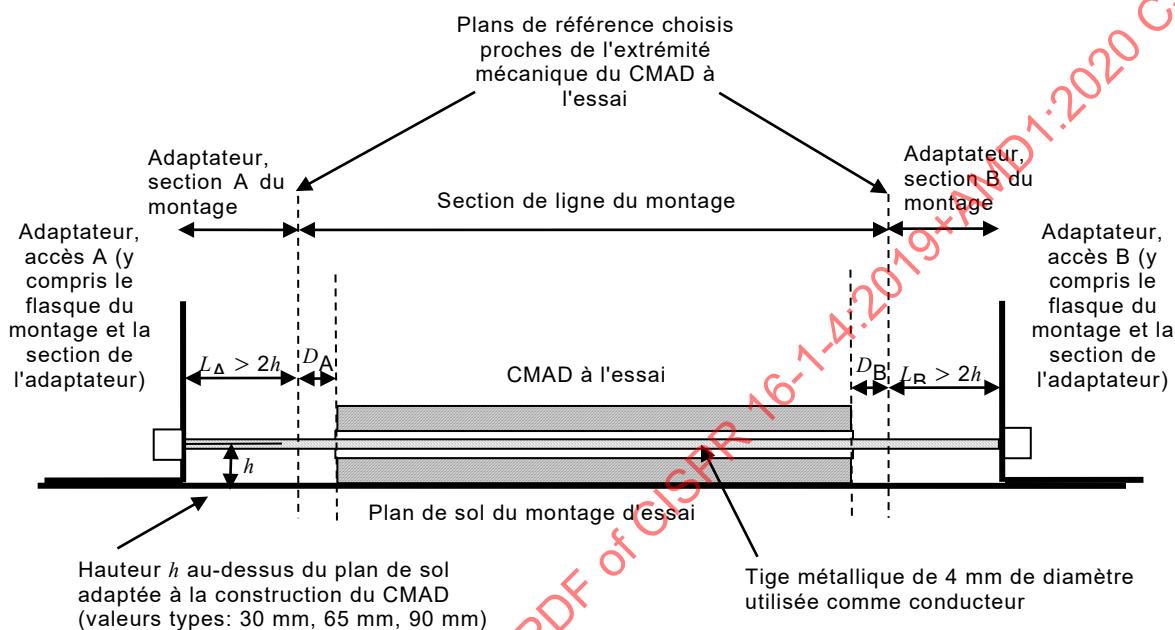
$h$  est la hauteur du centre du conducteur d'essai au-dessus du plan de masse.

EXEMPLE Les valeurs types de  $Z_{\text{ref}}$  pour différentes hauteurs  $h$  sont:

$$h = 30 \text{ mm} \rightarrow Z_{\text{ref}} = 204 \Omega$$

$$h = 65 \text{ mm} \rightarrow Z_{\text{ref}} = 248 \Omega$$

$$h = 90 \text{ mm} \rightarrow Z_{\text{ref}} = 270 \Omega$$



IEC 814/10

Figure 26 – Définition des plans de référence à l'intérieur du montage d'essai

#### 8.4 Méthode de mesure utilisant l'étalonnage TRL

La méthode d'étalonnage «through-reflect-line» (TRL) est recommandée pour mesurer les paramètres  $S$ - des CMAD. L'utilisation de cette procédure d'étalonnage permet de choisir le plan de référence à l'intérieur du montage d'essai de manière à ce qu'il soit très proche de l'emplacement où le CMAD en essai sera placé, ce qui permet de réduire le plus possible les distances  $D_A$  et  $D_B$  (voir Figure 26). L'étalonnage nécessite une tige métallique (appelée "ligne") de même diamètre et à la même hauteur que la section de ligne de transmission du montage. L'impédance et la longueur caractéristiques de la section de ligne doivent être connues exactement et elles sont introduites dans les données d'étalonnage utilisées par le micrologiciel du VNA ou par les calculs de correction externes.

La longueur de la section de ligne, utilisée pour un processus d'étalonnage TRL, détermine la gamme de fréquences dans laquelle l'étalonnage TRL peut être réalisé. Cette limitation de fréquence résulte de la procédure mathématique utilisée dans la méthode d'étalonnage TRL lorsqu'à certaines fréquences, une condition de division par zéro (ou par des valeurs très faibles) est possible et doit être évitée.

Si la longueur de la "ligne" de référence est  $L$ , la gamme de fréquences doit être limitée à une valeur comprise entre la fréquence inférieure  $f_L$  et la fréquence supérieure  $f_H$  comme suit:

$$f_L = 0,05 \frac{c}{L} \quad (25)$$



$$f_H = 0,45 \frac{c}{L} \quad (26)$$

où  $c$  est égal à  $3 \times 10^8$  m/s. Une longueur de "ligne" de 0,6 m est appropriée pour l'étalonnage dans la gamme de fréquences comprise entre 30 MHz et 200 MHz. Si la mesure doit être étendue à des fréquences supérieures, un deuxième étalonnage de "ligne" est nécessaire. Un deuxième étalonnage avec une longueur de "ligne" de 0,12 m serait approprié pour la gamme de fréquences de 150 MHz à 1 000 MHz.

Quatre configurations d'étalonnage sont nécessaires pour la méthode d'étalonnage TRL:

- "réflexion" (accès A): Mesure de la valeur complexe  $S_{11}$  de la section d'adaptation et de l'adaptateur sans autre connexion (simulant une condition de circuit ouvert) [Figure 27a];
- "réflexion" (accès B): Mesure de la valeur complexe  $S_{22}$  de la section d'adaptation et de l'adaptateur sans autre connexion (simulant une condition de circuit ouvert) [Figure 27b];
- "connexion directe": Mesure des valeurs complexes  $S_{11}$ ,  $S_{12}$ ,  $S_{21}$ ,  $S_{22}$  avec les deux sections d'adaptation directement connectées ensemble (sans la section de ligne intercalée) [Figure 27c];
- "ligne": Mesure des valeurs complexes  $S_{11}$ ,  $S_{12}$ ,  $S_{21}$ ,  $S_{22}$  avec introduction de la section de ligne [Figure 27d].

Ces mesures d'étalonnage donnent 10 nombres complexes pour chaque point de fréquence. Si le VNA contient un micrologiciel pour l'étalonnage TRL, il utilise ces mesures de référence pour calculer les corrections voulues pour la mesure de TRL. Si le VNA ne prend pas en charge l'étalonnage TRL, les corrections nécessaires peuvent être effectuées indépendamment du VNA conformément à la procédure décrite dans la CISPR TR 16-3.

Les propriétés des sections d'adaptation et des accès d'adaptateurs à l'extérieur des plans d'étalonnage n'ont pas besoin d'être connues pour l'étalonnage TRL; elles sont en fait mesurées dans la procédure d'étalonnage et elles sont compensées correctement par l'étalonnage TRL. Différents types d'adaptateurs peuvent être utilisés. Il est recommandé d'utiliser le même type d'adaptateur et la même longueur de section d'adaptation aux deux extrémités du montage d'essai. Il est également recommandé que les deux sections d'adaptation soient de même longueur, à savoir que  $L_A = L_B$ .

Après étalonnage, le CMAD en essai est introduit dans la section de ligne du montage d'essai. Les sections d'adaptation et les adaptateurs doivent être exactement les mêmes que ceux utilisés pour l'étalonnage. La longueur de la tige métallique peut être différente de la longueur de la "ligne" utilisée pour l'étalonnage mais le diamètre (4 mm) et la hauteur au-dessus du plan de masse doivent être les mêmes que ceux utilisés pour l'étalonnage. Il convient que la tige métallique à l'intérieur du CMAD soit positionnée aussi précisément que possible au centre de l'ouverture du CMAD. La longueur de la tige métallique peut être choisie de manière à ce que le plan de référence corresponde aux extrémités physiques du CMAD (à savoir  $D_A$  aussi faible que possible). Les CMAD types ont une longueur de 0,6 m. Dans ce cas, la section de ligne de 4 mm peut être utilisée pour l'étalonnage dans la gamme de fréquences de 30 MHz à 200 MHz, ainsi que pour la mesure du CMAD (incluant également la gamme de fréquences supérieure à 200 MHz, étalonnée par une section de ligne plus courte). Les résultats de la mesure pour un CMAD en essai utilisant la mesure d'un VNA corrigée par l'étalonnage TRL sont constitués d'un ensemble de quatre paramètres  $S$ -référéncés par rapport à l'impédance caractéristique de la section de ligne de transmission (montage vide),  $Z_{0,jig}$ .



Figure 27a – Configuration pour la mesure d'étalonnage "accès de réflexion A"

IEC 815/10

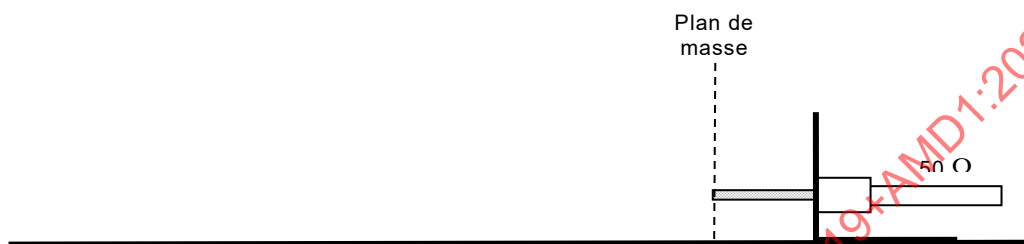


Figure 27b – Configuration pour la mesure d'étalonnage "accès de réflexion"

IEC 816/10

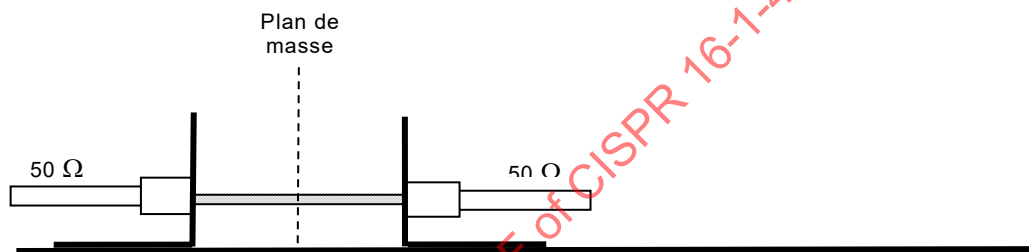


Figure 27c – Configuration pour la mesure d'étalonnage "connexion directe"

IEC 817/10

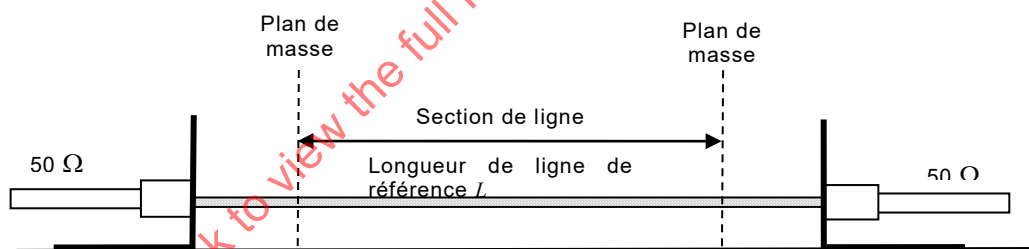


Figure 27d – Configuration pour la mesure d'étalonnage "ligne"

IEC 818/10

NOTE La longueur  $L$  de la ligne de référence pour l'étalonnage peut ne pas être la même que la longueur utilisée pour la mesure du CMAD. La longueur de la ligne de référence pour la procédure d'étalonnage est choisie en fonction de la gamme de fréquences nécessaire.

Figure 27 – Les quatre configurations pour l'étalonnage TRL

### 8.5 Spécification d'un CMAD du type à pince en ferrite

Les CMAD du type à pince en ferrite sont utilisés au cours des mesures de perturbations rayonnées au-dessous de 1 GHz afin de réduire l'incertitude de conformité. Les caractéristiques d'un CMAD sont mesurées selon les dispositions des Paragraphes 8.1 à 8.3 en faisant référence à l'impédance caractéristique du montage vide  $Z_{0,jig}$ .

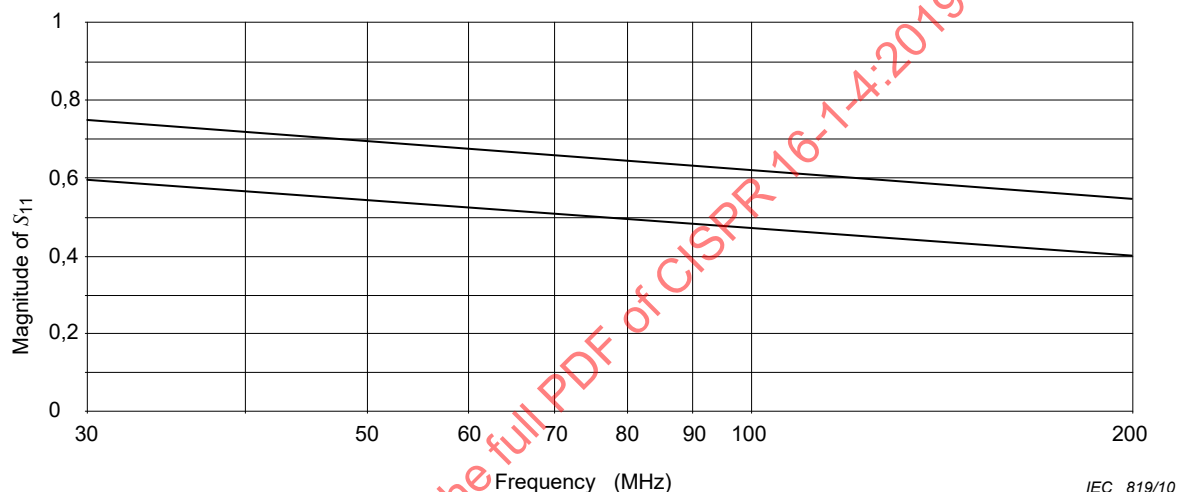
Une comparaison entre les CMAD du type à pince en ferrite existants a montré qu'une amplitude de  $S_{21}$  inférieure à 0,25 est exigée pour assurer un découplage suffisant. Ces valeurs peuvent être obtenues avec des CMAD ayant une amplitude de  $S_{11}$  comme représenté à la Figure 28.

Les CMAD à pince en ferrite doivent satisfaire aux spécifications suivantes:

- a) l'amplitude de  $S_{21}$  doit être inférieure à 0,25 dans la gamme de fréquences allant de 30 MHz à 200 MHz;
- b) l'amplitude de  $S_{11}$  doit se situer dans les limites suivantes dans la gamme de fréquences de 30 MHz à 200 MHz:
  - limite supérieure 0,75 à 30 MHz et 0,55 à 200 MHz (décroissant de manière linéaire avec le logarithme de la fréquence);
  - limite inférieure 0,6 à 30 MHz et 0,4 à 200 MHz (décroissant de manière linéaire avec le logarithme de la fréquence).

Aucune spécification dans la gamme de fréquences de 200 MHz à 1 000 MHz n'est exigée puisque les mesures des perturbations rayonnées ne sont pas affectées de manière importante par les conditions d'extrémité de câble à ces fréquences.

Une justification de l'utilisation des paramètres  $S$  pour la spécification des CMAD du type à ferrite est donnée dans la CISPR TR 16-3.



| Anglais               | Français              |
|-----------------------|-----------------------|
| Magnitude of $S_{11}$ | Amplitude de $S_{11}$ |
| Frequency             | Fréquence             |

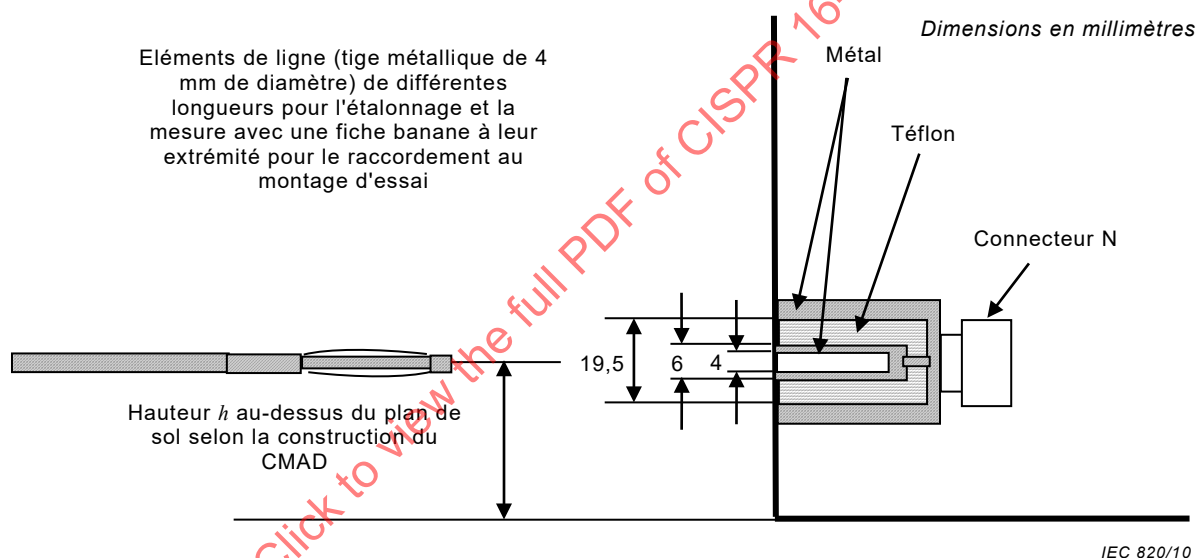
**Figure 28 – Limites pour l'amplitude de  $S_{11}$ , mesurée selon les dispositions de 8.1 à 8.3**

### 8.6 Vérification de la performance (dégradation) des CMAD en utilisant un analyseur de spectre et un générateur de poursuite

Les paramètres  $S$  complexes d'un CMAD ne peuvent pas être mesurés sans utiliser de VNA. Toutefois, des appareils tels que des VNA peuvent ne pas être disponibles dans tous les laboratoires d'essai de CEM. Pour les laboratoires qui n'ont pas accès à des appareils VNA, une méthode plus simple pour vérifier le fonctionnement d'un CMAD est définie dans ce paragraphe en utilisant un analyseur de spectre avec un générateur de poursuite. Ce montage d'appareils mesure seulement l'amplitude de la perte d'insertion, mais cette valeur mesurée n'est pas directement liée aux paramètres  $S$  mesurés au niveau des plans de référence représentés à la Figure 26. Néanmoins, un laboratoire de CEM peut répéter périodiquement la même mesure de perte d'insertion avec son montage d'essai propre en utilisant exactement les mêmes conditions (impédance et géométrie du montage d'essai), puis enregistrer et comparer l'historique des résultats pour décider si le CMAD présente toujours des propriétés acceptables. Cette approche permet de détecter la dégradation des performances des CMAD. Si une dégradation apparaît, une mesure de référence doit être réalisée en utilisant un VNA avec la méthode d'étalonnage TRL de 8.4.

Une construction quelconque d'adaptateur peut être utilisée pour cette vérification de performance/dégradation (Figures 26 et 27, Figures 29 à 31). Pour éviter des effets de résonance dans les câbles entre le montage d'essai et l'instrument de mesure, il est nécessaire d'inclure deux atténuateurs de 10 dB près de la connexion du montage d'essai au cours de cette vérification de performance.

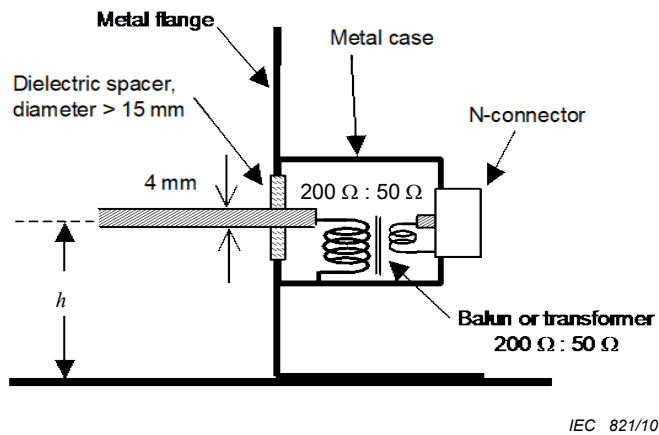
- a) Lorsque des adaptateurs à  $50 \Omega$  sont utilisés (Figure 29), la mesure de la perte d'insertion pour la vérification de performance/dégradation est la différence en dB entre les mesures d'affaiblissement pour les deux configurations suivantes:
  - 1) configuration 1: connexion directe des deux atténuateurs sans le montage d'essai;
  - 2) configuration 2: les deux atténuateurs connectés au montage d'essai avec le CMAD inclus.
- b) Si des adaptateurs d'impédance (Figure 30 ou Figure 31) sont utilisés, la mesure de la perte d'insertion pour la vérification de la dégradation est la différence entre l'affaiblissement mesuré pour les deux configurations suivantes:
  - 1) configuration 1: les deux atténuateurs connectés au montage d'essai sans le CMAD (montage vide);
  - 2) configuration 2: les deux atténuateurs connectés au montage d'essai avec le CMAD inclus.



Dimensions en mm

NOTE Les côtés inférieurs du flasque vertical sont reliés électriquement au plan de sol métallique.

**Figure 29 – Exemple de conception d'adaptateur  $50 \Omega$  dans le flasque vertical du montage**



| Anglais                             | Français                                  |
|-------------------------------------|-------------------------------------------|
| Metal flange                        | Flasque métallique                        |
| Metal case                          | Boîtier métallique                        |
| Dielectric spacer, diameter > 15 mm | Entretoise diélectrique, diamètre > 15 mm |
| N-conductor                         | Conducteur N                              |
| Balun or transformer 200 Ω: 50 Ω    | Symétriseur ou transformateur 200 Ω: 50 Ω |

NOTE Si la prise centrale de l'accès symétrique est reliée au boîtier du symétriseur, il convient de la déconnecter.

Figure 30 – Exemple d'adaptateur avec symétriseur ou transformateur

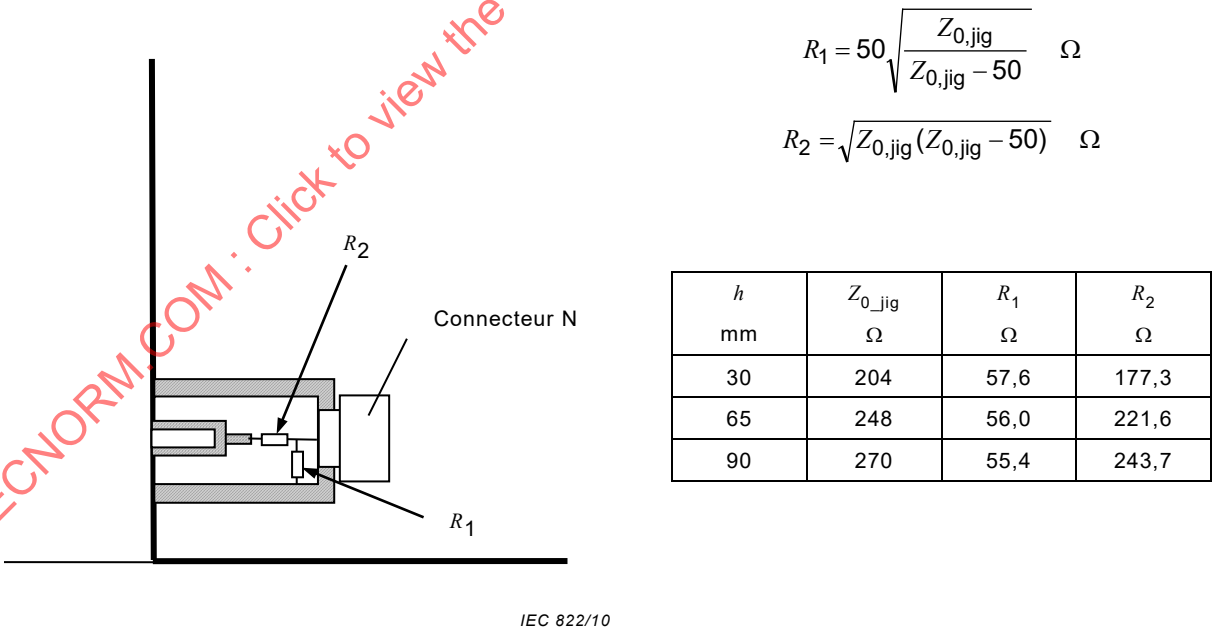


Figure 31 – Exemple d'adaptateur avec réseau d'adaptation résistif

## 9 Chambre de réverbération pour la mesure de la puissance totale rayonnée

### 9.1 Généralités

La mesure de la puissance rayonnée totale est un paramètre réputé significatif pour la maîtrise des perturbations de certains types d'appareils fonctionnant dans la gamme des hyperfréquences, en raison de l'existence de diagrammes de rayonnement tridimensionnels complexes qui dépendent des conditions de fonctionnement et d'environnement de l'appareil. Elle peut être mesurée en plaçant l'appareil dans une chambre adaptée, à parois métalliques. Des agitateurs rotatifs (aubes, syntoniseurs) sont installés pour éviter des effets d'ondes stationnaires qui pourraient dans le cas contraire produire une distribution non uniforme de la densité d'énergie par rapport à la position dans la chambre. La densité d'énergie dans une position quelconque de la chambre, sous réserve de forme, position et dimensions convenables, varie de manière aléatoire en phase, amplitude et polarisation selon une loi de distribution statistique constante.

### 9.2 Chambre

#### 9.2.1 Dimensions et forme de la chambre

Les dimensions linéaires de la chambre doivent être importantes par rapport à la longueur d'onde de la plus basse fréquence concernée. La chambre doit également être suffisamment grande pour recevoir l'appareil en essai, l'agitateur ou les agitateurs et les antennes de mesure. Les dimensions d'un appareil hyperfréquence varient de celles des petits fours de table ayant un volume d'environ 0,2 m<sup>3</sup> à celles de grands appareils de 1,7 m de hauteur sur une base de 760 mm. La chambre peut avoir n'importe quelle forme, à condition que ses trois dimensions soient du même ordre de grandeur. Il convient que ces trois dimensions soient, de préférence, différentes. Si la fréquence la plus basse est de 1 GHz, la chambre doit avoir un volume d'au moins 8 m<sup>3</sup>. Les dimensions réelles dépendent des caractéristiques physiques de la chambre. Voir 9.2.4 pour les méthodes d'essais d'aptitude de la chambre.

Les murs et les agitateurs doivent être métalliques. Les joints entre les éléments métalliques doivent être robustes et avoir une faible résistance électrique sur toute leur longueur, et doivent être exempts de corrosion superficielle. Aucun matériau absorbant, tel que du bois, ne doit être placé dans la chambre.

#### 9.2.2 Porte, ouvertures dans les parois et équerres de montage

La porte de l'enceinte doit être suffisamment grande pour permettre le passage des opérateurs et des appareils. Elle doit s'ouvrir vers l'extérieur et fermer convenablement pour réduire le plus possible les pertes d'énergie. Pour faciliter le montage de l'antenne d'émission et de l'antenne de réception à l'intérieur de la chambre, des équerres de montage peuvent être fixées aux murs.

#### 9.2.3 Agitateurs

##### 9.2.3.1 Généralités

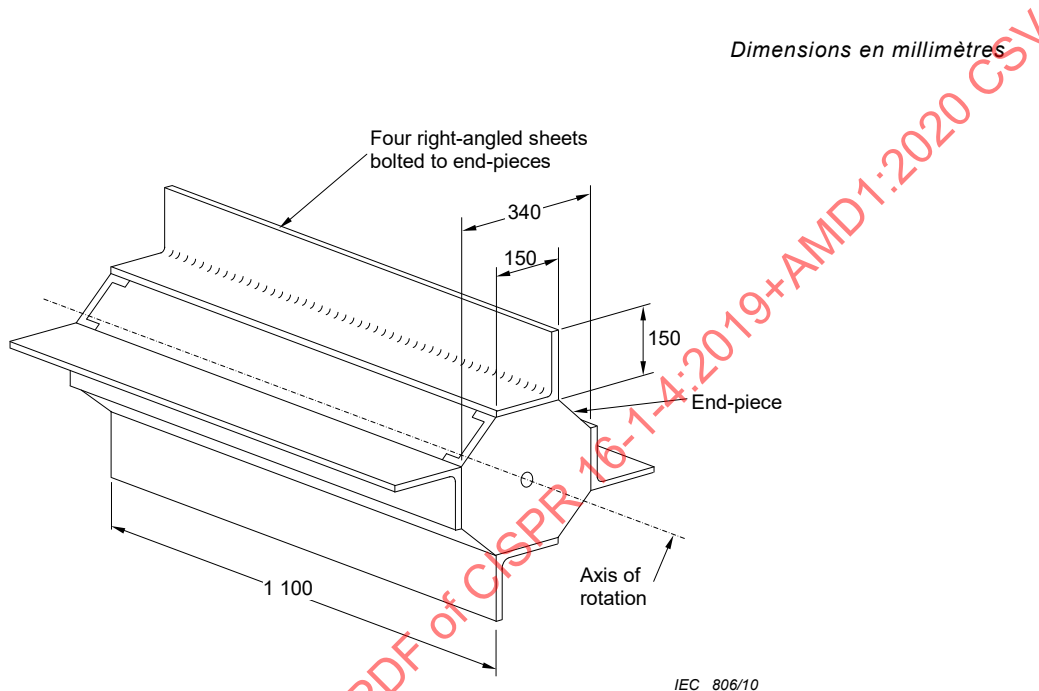
Deux exemples d'agitateurs sont ici décrits. D'autres formes sont admises à condition que l'efficacité d'agitation satisfasse aux critères de 9.2.4.

##### 9.2.3.2 Pales tournantes

Si des pales tournantes sont utilisées, deux d'entre elles sont placées sur des parois adjacentes de la chambre et séparées des parois d'au moins 1/4 de la longueur d'onde maximale utilisée et sont d'une épaisseur suffisante pour être rigides. Elles doivent avoir la longueur maximale admise compte tenu des dimensions des parois et leur largeur doit être d'environ 1/5 de leur longueur.

### 9.2.3.3 Aubes tournantes

Si des aubes tournantes sont utilisées, deux ou trois aubes sont montées sur les parois de la chambre. Les aubes doivent être à angle droit les unes par rapport aux autres. Elles peuvent avoir la forme représentée à la Figure 32, et tourner autour d'un axe parallèle à leur longueur. Le diamètre de l'espace cylindrique balayé doit être au moins égal à la longueur d'onde maximale utilisée, et les longueurs doivent avoir la valeur maximale admise compte tenu des dimensions des parois. Leur structure doit être rigide.



| Anglais                                       | Français                                           |
|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Four right-angled sheets bolted to end-pieces | Quatre tôles à angle droit, boulonnées aux embouts |
| End-piece                                     | Embout                                             |
| Axis of rotation                              | Axe de rotation                                    |

**Figure 32 – Exemple d'agitateur à aubes type**

### 9.2.3.4 Vitesse de rotation

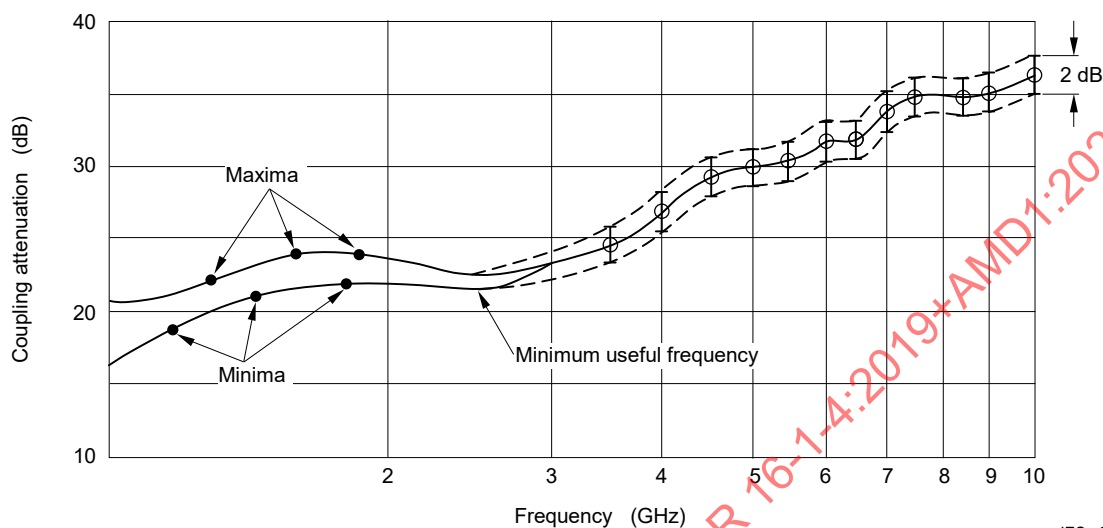
La vitesse de rotation de chaque agitateur doit être différente. La durée maximale de chaque rotation des agitateurs doit être inférieure à 1/5 du temps d'intégration de l'appareil de mesure. Une vitesse convenable pour l'appareil de mesure décrit en 9.2.5 est de 50 r/min à 200 r/min. Il convient que les moteurs utilisés pour faire tourner les agitateurs, ainsi que leurs réducteurs, soient de préférence situés à l'extérieur des parois de la chambre.

### 9.2.4 Essai de rendement des agitateurs

La distribution uniforme de l'énergie souhaitée dans la chambre est indiquée par la régularité de la variation de l'affaiblissement de couplage (décrit en 9.2.5) en fonction de la fréquence. Aux basses fréquences, en raison des longueurs d'onde plus grandes, il est plus difficile d'obtenir cette uniformité et il existe des minimums et maximums prononcés. Plus l'efficacité des agitateurs est grande, plus l'écart entre ces minimums et maximums est faible, et donc plus la fréquence utilisable est basse.

L'affaiblissement de couplage est mesuré sur toute la gamme de fréquences utile de la chambre. Aux fréquences basses auxquelles les maximums et les minimums peuvent être observés, les valeurs doivent être mesurées à des intervalles d'environ 100 MHz. L'antenne de réception reste alors fixe, l'antenne d'émission tourne par intervalles de 45° et l'essai est

répété pour chaque position et chaque fréquence. L'essai complet doit être de nouveau répété, l'antenne de réception étant tournée de 90°. Les agitateurs sont réputés satisfaisants lorsque: (1) l'enveloppe de la courbe des minimums et maximums ne dépasse pas 2 dB pour n'importe quelle position de l'antenne d'émission, et lorsque (2) la moyenne des quatre courbes est comprise dans une enveloppe de 2 dB ou moins. Un résultat type est représenté à la Figure 33.



IEC 807/10

| Anglais                   | Français                         |
|---------------------------|----------------------------------|
| Coupling attenuation (dB) | Affaiblissement de couplage (dB) |
| Maxima                    | Maxima                           |
| Minima                    | Minima                           |
| Minimum useful frequency  | Fréquence utile minimale         |
| Frequency                 | Fréquence                        |

NOTE Il convient que tous les points mesurés se situent dans l'enveloppe de 2 dB marquée en tirets.

**Figure 33 – Gamme d'affaiblissement de couplage en fonction de la fréquence pour une chambre utilisant l'agitateur de la Figure 32**

### 9.2.5 Affaiblissement de couplage

L'affaiblissement de couplage de la chambre est la perte d'insertion mesurée entre les bornes de l'antenne de réception et de l'antenne d'émission de la chambre. Un générateur de mesure étalonné dont la puissance de sortie peut être mesurée avec précision est utilisé pour alimenter une antenne d'émission à faible perte (par exemple une antenne cornet) située dans la chambre ou sur une paroi de la chambre. Une antenne de réception peut être placée en n'importe quel point de la chambre, à condition qu'elle soit au moins à 1/4 de longueur d'onde des murs et qu'elle ne soit pas dirigée vers l'antenne d'émission, ou vers la paroi de la chambre la plus proche, ou alignée sur l'un des axes de la chambre.

Un amplificateur RF à faible bruit est connecté à l'antenne de réception par l'intermédiaire d'un filtre passe-haut; sa sortie est connectée à un détecteur à diode par l'intermédiaire d'un filtre passe-bande. Le filtre passe-bande doit être accordé à la fréquence concernée et avoir la largeur de bande spécifiée. La sortie du détecteur est connectée à un voltmètre de crête à temps de maintien de crête spécifié (ce temps de maintien dépend de l'appareil mesuré). Un analyseur de spectre peut également être utilisé pour cette mesure. La puissance  $P$  fournie à l'antenne d'émission est notée. Le générateur de signal est ensuite connecté à l'entrée de l'amplificateur à faible bruit et sa puissance de sortie,  $p$ , est réglée afin d'indiquer la même



lecture sur le voltmètre. La puissance fournie à l'amplificateur à faible bruit est notée. L'affaiblissement de couplage est donné par  $10 \lg (P/p)$  dB.

## 10 Cellules TEM pour les mesures d'immunité aux perturbations rayonnées

Les mesures d'immunité aux rayonnements peuvent être effectuées dans des guides d'onde TEM en utilisant les méthodes spécifiées dans l'IEC 61000-4-20 [22].

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of CISPR 16-1-4:2019+AMD1:2020 CSV

## **Annexe A** (normative)

### **Paramètres des antennes**

#### **A.1 Généralités**

Différentes publications du CISPR spécifient l'utilisation d'antennes particulières pour la réalisation des mesures; d'autres types d'antennes peuvent être utilisés si les résultats sont équivalents à ceux obtenus avec l'antenne spécifiée. La comparaison de ces antennes avec les antennes spécifiées sera facilitée par l'établissement des paramètres appropriés. Ces paramètres doivent être spécifiés comme partie intégrante de toute acceptation par le CISPR d'un nouveau type d'antenne. Les fabricants d'antennes doivent également utiliser cette information comme une recommandation pour la spécification des aspects les plus utiles des antennes utilisées pour les mesures de perturbations rayonnées.

Il est demandé aux fabricants de fournir des informations génériques sur chaque modèle d'antenne, y compris les paramètres suivants:

- le facteur d'antenne en espace libre dans un système à 50  $\Omega$ ;
- l'affaiblissement de réflexion ou le VSWR;
- les diagrammes de rayonnement, selon des incréments de fréquence suffisants pour indiquer des modifications significatives (y compris les informations d'ouverture de faisceau);
- les valeurs d'incertitude de mesure en fonction de la fréquence pour les polarisations horizontale et verticale, tenant compte de l'écart avec le facteur d'antenne en espace libre causé par le couplage mutuel vers un plan de masse, lorsque l'antenne est balayée à une hauteur comprise entre 1 m et 4 m;
- la conversion DM/CM du symétriseur, en particulier pour les antennes biconiques et hybrides; et
- l'XPR, en particulier pour les antennes LPDA et hybrides.

#### **A.2 Antennes préférentielles**

##### **A.2.1 Généralités**

En présence d'une non-conformité présumée à la limite d'intensité du champ électrique, la valeur mesurée par une antenne à faible incertitude est préférable. Une antenne à faible incertitude est une antenne pour laquelle le champ peut être mesuré sur un montage d'essai du CISPR avec une incertitude inférieure à celle qui est exigée pour d'autres antennes, et qui satisfait au critère de précision de champ de 4.21. Les antennes à faible incertitude sont décrites en A.2.3.

##### **A.2.2 Antenne calculable**

Une antenne doublet calculable normale atteint l'incertitude la plus faible pour les mesures d'intensité du champ électrique. Le facteur d'antenne d'un doublet calculable peut être calculé pour l'espace libre et à toutes hauteurs et polarisations au-dessus d'un plan de sol bien défini. Les principes du doublet calculable normal est décrit dans la CISPR 16-1-5 où seules les conditions résonantes du doublet sont décrites. Toutefois, en utilisant une modélisation électromagnétique numérique largement disponible, le facteur d'antenne peut être calculé pour une longueur de doublet unique sur une large bande de fréquences avec des incertitudes inférieures à  $\pm 0,3$  dB. Par exemple, pour une mesure à 30 MHz, un doublet qui est résonant à 80 MHz peut être utilisé. Le principe de facteur d'antenne obtenu à partir d'un modèle peut également être étendu à des antennes multifilaires qui couvrent une largeur de bande encore plus grande.

### A.2.3 Antennes à faible incertitude

Les antennes à faible incertitude sont des antennes biconiques et LPDA dont les paramètres et caractéristiques de base sont décrites dans le présent paragraphe. Elles sont à large bande et ont une sensibilité raisonnable, c'est-à-dire que leurs facteurs d'antenne ne sont pas trop élevés. Les doublets calculables peuvent être utilisés et ont potentiellement l'incertitude la plus faible. La XPR doit satisfaire aux exigences de 4.5.5 et tout symétriseur doit satisfaire aux exigences énoncées en 4.5.4. Le facteur d'antenne doit être déterminé par un laboratoire d'étalonnage qui fournit la traçabilité avec les normes nationales, et il est choisi pour réduire le plus possible l'incertitude de la détermination du facteur d'antenne.

Les types d'antennes à faible incertitude acceptables sont les antennes biconiques utilisées sur la gamme de fréquences de 30 MHz à 250 MHz et les antennes LPDA sur la gamme de fréquences de 250 MHz à 1 GHz. Les raisons de cette fréquence de convergence sont les suivantes: une antenne LPDA a une erreur de centre de phase due à sa longueur qui est réduite à partir de 250 MHz et la plupart des antennes biconiques sont affectées par une résonance au-delà de 290 MHz et présentent une distorsion du diagramme de rayonnement au-delà de 260 MHz sauf si des éléments à structure ouverte (portables ou démontables) sont utilisés. La fréquence de convergence réelle entre antennes biconiques et LPDA peut être comprise entre 200 MHz et 250 MHz avec une légère augmentation de l'incertitude de centre de phase associée aux antennes LPDA en dessous de 250 MHz; voir A.4.2 de la CISPR 16-1-6:2014. Les antennes hybrides, qui couvrent toute la bande de fréquences entre 30 MHz et 1 000 MHz, ne font pas partie des types préférentiels parce que les incertitudes sont supérieures à celles des antennes biconiques et LPDA distinctes, essentiellement en raison de la longueur supérieure d'une antenne hybride, en particulier lors d'une utilisation à 3 m de la source (plutôt qu'à la distance normale de 10 m).

L'antenne biconique à faible incertitude a une longueur d'extrémité à extrémité d'élément d'environ  $1,35 \text{ m} \pm 0,03 \text{ m}$  (en fonction de la largeur du symétriseur), six éléments filaires formant un cône, le diamètre le plus important étant d'environ 0,52 m. Le symétriseur doit être de  $200 \Omega$  (rapport de transformateur ( $200 \Omega$  sur  $50 \Omega$ )), ce qui garantit une meilleure sensibilité à 30 MHz et un plus faible couplage mutuel avec l'environnement.

NOTE L'antenne biconique à faible incertitude est basée sur le modèle original de la norme MIL-STD-461A [7], conçu pour fonctionner de 20 MHz à 200 MHz. Les conceptions d'antennes biconiques avec élément démontable donnent de meilleures performances que les conceptions avec élément "cage" au-delà de 250 MHz.

La LPDA à faible incertitude est conçue pour avoir une fréquence de 200 MHz comme valeur la plus faible (c'est-à-dire que l'élément le plus long résonne à 200 MHz, environ 0,75 m) et une longueur de  $0,75 \text{ m} \pm 0,12 \text{ m}$ , entre les éléments le plus long et le plus court, ces derniers résonant au-delà de 1 GHz. La raison pour laquelle il n'y a pas d'élément le plus long à 250 MHz est qu'il n'est pas limité par les autres éléments du réseau, et que le diagramme de rayonnement est par conséquent déformé. La longueur d'antenne de 0,75 m la distingue des autres conceptions de LPDA de deux fois cette longueur, qui atteignent un gain plus élevé mais présentent une erreur de centre de phase plus élevée, et des LPDA de moins de 0,6 m de longueur qui ne sont pas susceptibles d'avoir un facteur d'antenne qui augmente progressivement et de manière régulière avec la fréquence (toute augmentation brutale du facteur d'antenne ne s'écartant pas de plus de 1,5 dB d'une ligne de régression sur toute la gamme de fréquences). Les erreurs de centre de phase obtenues avec les LPDA peuvent être réduites le plus possible en appliquant une correction à l'intensité du champ mesuré en tenant compte de la distance qui sépare l'antenne et l'EUT; voir 7.3.1 de la CISPR 16-2-3:2016.

## A.3 Antennes doublets simples

### A.3.1 Généralités

Si un laboratoire ne peut pas faire étalonner une antenne, une alternative consiste à utiliser un doublet, soit sous la forme d'un doublet calculable, soit sous la forme d'un doublet accordé. Un doublet accordé est relativement simple à construire et donne une faible incertitude pour la mesure du champ comparable aux antennes décrites en A.2. Les facteurs

d'antenne d'un doublet accordé doivent être mesurés soit par un laboratoire assurant la traçabilité par rapport aux normes nationales et qui essaie de réduire le plus possible l'incertitude de la détermination du facteur d'antenne, soit par une mesure de la perte d'insertion de l'emplacement entre deux doublets similaires au-dessus d'un plan de sol (en conformité avec l'Annexe D) et en le comparant au couplage calculé, autorisant l'affaiblissement des symétriseurs – voir Annexe C de la CISPR 16-1-5). Un inconvénient du doublet accordé est sa grande longueur à l'extrémité inférieure de la gamme de fréquences, il a par exemple une longueur de 4,8 m à 30 MHz, ce qui à une distance de mesure de 3 m donne des erreurs causées par les gradients d'amplitude et de phase. Un doublet est aussi très sensible à son environnement lorsqu'il est accordé de manière telle que l'impédance mutuelle avec son image dans le plan de sol puisse faire varier le facteur d'antenne jusqu'à 6 dB pour un doublet à 30 MHz polarisé horizontalement exploré à une hauteur entre 1 m et 4 m du plan de sol. Pour cette raison, un doublet court accordé à 80 MHz est recommandé pour une utilisation en dessous de 80 MHz.

### A.3.2 Doublet accordé

Une conception pratique et simple d'un doublet accordé comprend un doublet résonant à une demi-longueur d'onde avec un tronçon symétriseur coaxial série-parallèle. Les longueurs des doublets d'extrémité à extrémité sont d'environ 0,48 longueur d'onde en fonction du rayon de l'élément du doublet. Les facteurs d'antenne en espace libre peuvent être calculés d'après l'équation suivante qui donne le facteur en décibels. Celle-ci n'inclut pas l'affaiblissement du symétriseur, pour lequel une valeur moyennée de 0,5 dB peut être ajoutée au facteur d'antenne; ce facteur d'affaiblissement doit être vérifié. Le facteur d'antenne est le suivant:

$$F_a = 20 \lg(f_M) - 31,4$$

où  $F_a$  est le FA en dB(m<sup>-1</sup>) et  $f_M$  est la fréquence en MHz.

Comme le doublet accordé est plus sensible à son environnement qu'une antenne à large bande (sauf à sa fréquence de résonance, à l'exclusion des LPDA), il est improbable que l'incertitude globale d'utilisation d'un doublet accordé soit inférieure à celle des antennes de faible incertitude de 4.5.2.

### A.3.3 Doublet raccourci

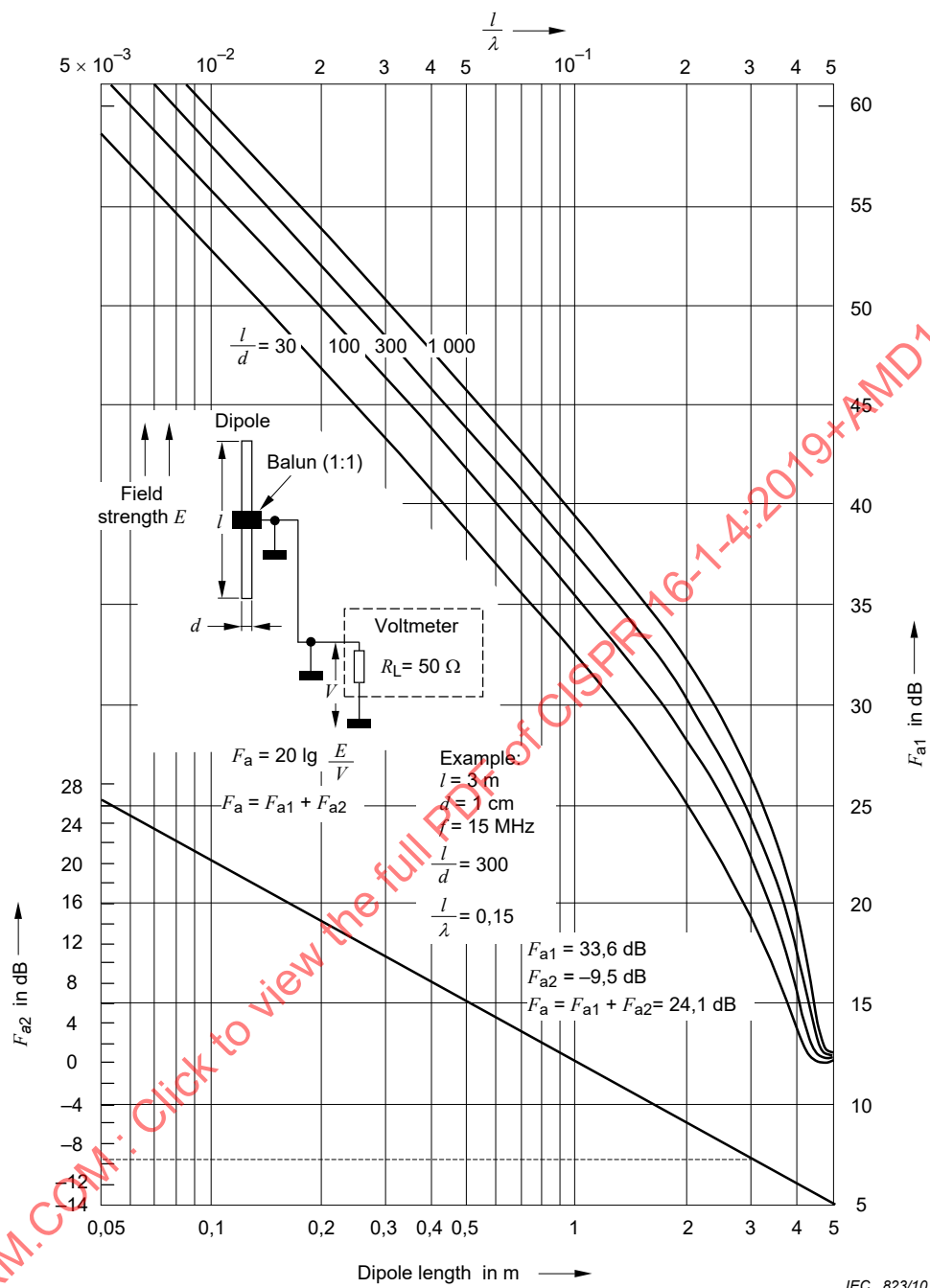
Un doublet plus court qu'une demi-longueur d'onde peut être employé à condition:

- a) que la longueur totale soit supérieure à 1/10 de la longueur d'onde à la fréquence de mesure;
- b) qu'il soit raccourci à un câble suffisamment bien adapté au récepteur pour assurer un affaiblissement de réflexion à l'entrée du câble d'une valeur supérieure à 10 dB. L'étalonnage doit tenir compte de l'affaiblissement de réflexion;
- c) qu'il ait une discrimination de polarisation équivalente à celle d'un doublet accordé (voir 4.5.3). Pour ce faire, un symétriseur satisfaisant à l'essai de déséquilibre du symétriseur en 4.5.4 est nécessaire.
- d) que, pour la détermination du champ mesuré, une courbe d'étalonnage (facteur d'antenne) soit définie et utilisée pour la distance de mesure spécifiée (c'est-à-dire à une distance au moins égale à trois fois la longueur du doublet);

NOTE Il convient que les facteurs d'antenne ainsi obtenus permettent de satisfaire à l'exigence de mesure de champs sinusoïdaux uniformes avec une précision d'au moins  $\pm 3$  dB. Des exemples de courbes d'étalonnage sont donnés à la Figure A.1, ils montrent la relation théorique entre le champ et la tension d'entrée du récepteur pour une impédance d'entrée de récepteur de 50  $\Omega$  et pour différents rapports  $l/d$ . Sur cette figure, le symétriseur est un transformateur de rapport 1:1 réputé idéal. Toutefois, ces courbes ne tiennent pas compte des pertes du symétriseur, du câble et des désadaptations éventuelles entre le câble et le récepteur.

- e) qu'en dépit de la réduction de sensibilité du mesureur de champ, à cause d'un facteur d'antenne élevé attribué à la longueur réduite du doublet, la limite de mesure du mesureur

de champ (déterminée, par exemple, par le niveau de bruit du récepteur et le FA du doublet) doit rester inférieure d'au moins 10 dB à la limite de perturbation.



NOTE Voir NOTE de A.3.3 point d).

| Anglais            | Français                 |
|--------------------|--------------------------|
| $F_{a2}$ in dB     | $F_{a2}$ en dB           |
| Field strength E   | Champ électrique E       |
| Dipole             | Doublet                  |
| Balun (1:1)        | Symétriseur (1:1)        |
| Voltmeter          | Voltmètre                |
| Example:           | Exemple:                 |
| Dipole length in m | Longueur du doublet en m |

Figure A.1 – Facteurs d'antenne des doublets courts pour  $R_L = 50 \Omega$

## **A.4 Paramètres des antennes à large bande**

### **A.4.1 Généralités**

Les antennes à large bande utilisées pour les mesures du CISPR sont les antennes qui sont polarisées linéairement et qui sont destinées à être utilisées sur une large gamme de fréquences. Cela n'empêche pas d'utiliser des antennes avec réglage de longueur limité ou addition de sections d'éléments d'antenne. L'impédance d'entrée de telles antennes est généralement une grandeur complexe. Les autres paramètres qui peuvent être spécifiés sont donnés ci-dessous.

### **A.4.2 Type d'antenne**

#### **A.4.2.1 Généralités**

Les Paragraphes A.4.2.2 à A.4.2.7 décrivent les paramètres physiques des antennes à large bande qu'il convient de fournir. Noter que certains paramètres peuvent ne pas s'appliquer à chaque antenne.

#### **A.4.2.2 Type d'antenne de longueur ou diamètre fixe ou variable**

Si l'antenne a une longueur variable, spécifier le nombre de sections ajoutées ou retirées afin de modifier la longueur fixe de base.

NOTE Les antennes entièrement accordables ne sont pas prises en compte comme des antennes à large bande et, par conséquent, ne sont pas abordées en A.4. De plus, le diamètre d'une antenne cadre n'est généralement pas variable.

#### **A.4.2.3 Rapport largeur-profondeur ou diamètre du cadre**

Donner les dimensions en mètres. Pour un LPDA par exemple, la longueur du bras dans l'axe de mesure et la largeur du plus grand élément seraient fournies.

#### **A.4.2.4 Antenne active ou passive**

Une antenne à large bande est réputée active si elle comporte des amplificateurs, des préamplificateurs et d'autres dispositifs actifs non linéaires qui amplifient le signal ou corrigent la réponse en fréquence, ou les deux.

#### **A.4.2.5 Disposition de montage**

Donner toute exigence spéciale de montage en plus de celles qui peuvent être remplies à l'aide d'un trépied type ou d'un positionneur d'antenne.

#### **A.4.2.6 Type de connecteur**

Spécifier le type: BNC, N, SMA, etc., selon le cas. Spécifier la tolérance de profondeur de la broche et indiquer qu'il convient de la vérifier avec un calibre de profondeur de broche.

#### **A.4.2.7 Type de symétriseur**

Spécifier si le symétriseur est discret, distribué, accordable, etc. Spécifier le rapport de transformateur du symétriseur.

### **A.4.3 Spécification de l'antenne**

#### **A.4.3.1 Plage de fréquences**

Spécifier la gamme de fréquences, en mégahertz ou en kilohertz, dans laquelle l'antenne fonctionne avec les caractéristiques données. Spécifier également la caractéristique de décroissance, si elle existe, à chaque extrémité de la gamme (en décibels par octave).

#### **A.4.3.2 Gain et facteur d'antenne**

##### **A.4.3.2.1 Gain**

Spécifier le gain type ou le gain réel, en décibels par rapport à l'antenne isotrope (dBi).

##### **A.4.3.2.2 Facteur d'antenne**

Spécifier chaque FA en dB(m<sup>-1</sup>). Pour les procédures d'étalonnage d'antennes, se reporter à la CISPR 16-1-6.

#### **A.4.3.3 Directivité et diagramme de rayonnement pour la polarisation linéaire**

Spécifier le diagramme d'antenne et la directivité en degrés, par un tracé en coordonnées polaires pour le plan E et le plan H à un nombre suffisant de fréquences qui montre toute modification significative avec la fréquence. Pour les antennes ayant une directivité relativement faible (par exemple inférieure à 6 dBi), spécifier le rapport avant-arrière en décibels. Si le diagramme est omnidirectionnel, par exemple un diagramme de doublet hertzien, l'indiquer.

#### **A.4.3.4 ROS (rapport d'ondes stationnaires en tension) et impédance**

Indiquer l'affaiblissement de réflexion minimal et l'impédance d'entrée nominale en ohms. De plus, l'affaiblissement de réflexion minimal peut être exprimé en tant que ROS maximal.

#### **A.4.3.5 Caractéristiques des antennes actives**

Pour les antennes avec amplificateur, spécifier les niveaux des produits d'intermodulation, le niveau d'immunité aux champs électriques et magnétiques extérieurs et toute(s) vérification(s) appropriée(s) permettant de déterminer une surcharge ou un fonctionnement anormal.

#### **A.4.3.6 Puissance maximale**

Pour l'utilisation en émission en essai d'immunité, spécifier la puissance maximale permanente et transitoire en watts.

#### **A.4.3.7 Autres conditions**

Spécifier les gammes de température et d'humidité dans lesquelles l'antenne fonctionne ainsi que toutes les précautions nécessaires pour une utilisation en espace non protégé exposé aux conditions météorologiques.

### **A.4.4 Etalonnage de l'antenne**

Les méthodes d'étalonnage d'antennes sont données dans la CISPR 16-1-6.

### **A.4.5 Informations pour les utilisateurs de l'antenne**

#### **A.4.5.1 Utilisation de l'antenne**

Fournir une description de l'utilisation de l'antenne. S'assurer que toutes les précautions ou les limitations spécifiques sont mentionnées afin de réduire les risques d'une mauvaise utilisation.

#### A.4.5.2 Limitations physiques

Indiquer s'il existe de quelconques limitations physiques pour l'utilisation de l'antenne, telles que les suivantes:

- a) hauteur minimale au-dessus du plan de sol;
- b) polarisation préférentielle par rapport au plan de sol;
- c) utilisation spéciale, c'est-à-dire utilisation en antenne de réception ou en antenne d'émission uniquement. Cela est normalement limité à la puissance maximale admissible du symétriseur pour les antennes passives ou les caractéristiques non bidirectionnelles des antennes actives. Indiquer si la puissance est limitée par des arcs traversant les raccordements d'éléments d'antenne non soudés;
- d) simple vérification ohmique pour déterminer l'intégrité de la continuité électrique de l'antenne;
- e) distance minimale entre l'EUT mesuré et l'élément de l'antenne le plus proche.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of CISPR 16-1-4:2019+AMD1:2020 CSV



**Annexe B**  
(xxx)

**(Vide)**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of CISPR 16-1-4:2019+AMD1:2020 CSV

## **Annexe C** (normative)

### **Système d'antennes de grand diamètre pour les mesures du courant induit par un champ magnétique dans la gamme de fréquences de 9 kHz à 30 MHz**

#### **C.1 Généralités**

La présente annexe contient des renseignements et des données relatifs à la mesure du courant induit dans un système d'antennes de grand diamètre (LLAS) par le champ magnétique émis par un seul EUT placé en son centre, dans la gamme de fréquences comprise entre 9 kHz et 30 MHz. Le Paragraphe 4.7 du présent document, et la CISPR 16-2-3, traitent de l'utilisation de ce LLAS; voir également [9].

Une description LLAS est donnée dans la présente annexe, ainsi que la méthode de validation de chaque antenne-cadre constituant le LLAS. Des facteurs de conversion sont donnés afin d'établir la relation entre les données relatives au courant induit par le champ magnétique et les données du champ magnétique qui auraient été obtenues si les mesures avaient été effectuées sur le même EUT en utilisant une antenne cadre à champ magnétique à boucle unique, placée à une distance déterminée de l'EUT.

#### **C.2 Construction d'un LLAS**

Le LLAS (voir Figure C.1) est constitué de trois antennes de grand diamètre occupant des plans mutuellement perpendiculaires, décrites en l'Article C.3. Le LLAS complet est monté sur un support non métallique.

Le câble coaxial de  $50\ \Omega$  qui relie la sonde de courant de chaque LLA au commutateur coaxial d'une part, et ce commutateur à l'appareil de mesure d'autre part, doit présenter une impédance de transfert de surface inférieure à  $10\ \text{m}\Omega/\text{m}$  à 100 kHz, et inférieure à  $1\ \text{m}\Omega/\text{m}$  à 10 MHz. Cette exigence est satisfaite par exemple en utilisant un câble coaxial à double tresse RG-223/U.

Tous les connecteurs doivent présenter une impédance de transfert de surface comparable à celle du câble coaxial. Cette exigence est satisfaite si l'on utilise, par exemple, des connecteurs du type BNC à baïonnette de verrouillage de bonne qualité (voir [1]).

Tous les câbles doivent être munis d'absorbeurs en ferrite, (étiquette F à la Figure C.1), procurant une résistance série en mode commun  $R_s > 100\ \Omega$  à 10 MHz. Cette exigence est satisfaite en construisant l'absorbeur en ferrite avec, par exemple, douze bagues (tores) de type 3E1 de Ferroxcube (dimensions minimales: diamètre extérieur 29 mm, diamètre intérieur 19 mm, hauteur 7,5 mm).

#### **C.3 Construction d'une antenne de grand diamètre (LLA)**

Chaque LLA du LLAS est constituée d'un câble coaxial dont l'impédance de transfert de surface respecte les spécifications en C.2). De plus, la résistance de l'âme de chaque LLA doit être suffisamment faible (voir NOTE 1). Ces deux exigences sont satisfaites si l'on utilise, par exemple, un câble coaxial à double tresse RG-223/U.

Dans l'exemple représenté à la Figure C.2, pour maintenir la forme circulaire de chaque boucle LLA et pour protéger les fentes, le câble est introduit dans un tube non métallique à paroi fine, de diamètre intérieur d'environ 25 mm. D'autres constructions non métalliques remplissant les mêmes fonctions peuvent également être employées.

Le diamètre normalisé de chaque LLA est défini comme étant égal à  $D = 2$  m (c'est-à-dire le diamètre de référence). Si nécessaire, ~~notamment~~ par exemple dans le cas d'un EUT de grandes dimensions, la valeur de  $D$  peut être augmentée. Toutefois, dans la ~~gamme des~~ plage de fréquences allant jusqu'à 30 MHz, le diamètre maximal admissible est de 4 m. Une augmentation supplémentaire du diamètre peut ~~générer~~ avoir pour conséquence des résonances non reproductibles de la réponse ~~de la~~ du LLAS à l'extrémité haute fréquence de ~~la gamme~~ l'étendue de mesure. La méthode de validation spécifiée en C.4 s'applique aux boucles des LLAS de diamètre égal à 2 m, 3 m ou 4 m.

Noter que l'augmentation du diamètre de la LLA s'accompagne d'une augmentation inversement proportionnelle de sa sensibilité au bruit ambiant, et d'une réduction de sa sensibilité aux signaux utiles proportionnelle au carré du diamètre.

Chaque LLA comporte deux fentes opposées, positionnées symétriquement par rapport à la sonde de courant de chaque LLA (voir Figure C.2). La largeur de ces fentes, ménagées dans le conducteur extérieur du câble coaxial d'antenne (voir Figure C.3), doit être inférieure à 7 mm. La fente est pontée par deux ensembles parallèles de résistances de 100  $\Omega$  montées en série. Le centre de chacun de ces circuits série est relié à l'âme du câble coaxial d'antenne.

De part et d'autre de la fente, le conducteur extérieur du câble coaxial d'antenne peut être relié à une bande de circuit imprimé comportant deux rectangles en cuivre, séparés d'au moins 5 mm, destinés à obtenir une construction rigide de la fente (voir Figure C.4).

La sonde de courant placée autour de l'âme du câble coaxial de la LLA doit avoir une sensibilité de 1 V/A dans la gamme de fréquences allant de 9 kHz à 30 MHz. ~~La perte d'insertion de la sonde de courant doit être suffisamment faible (voir NOTE 1).~~ Il convient que l'impédance d'insertion de la sonde de courant soit suffisamment faible (voir NOTE).

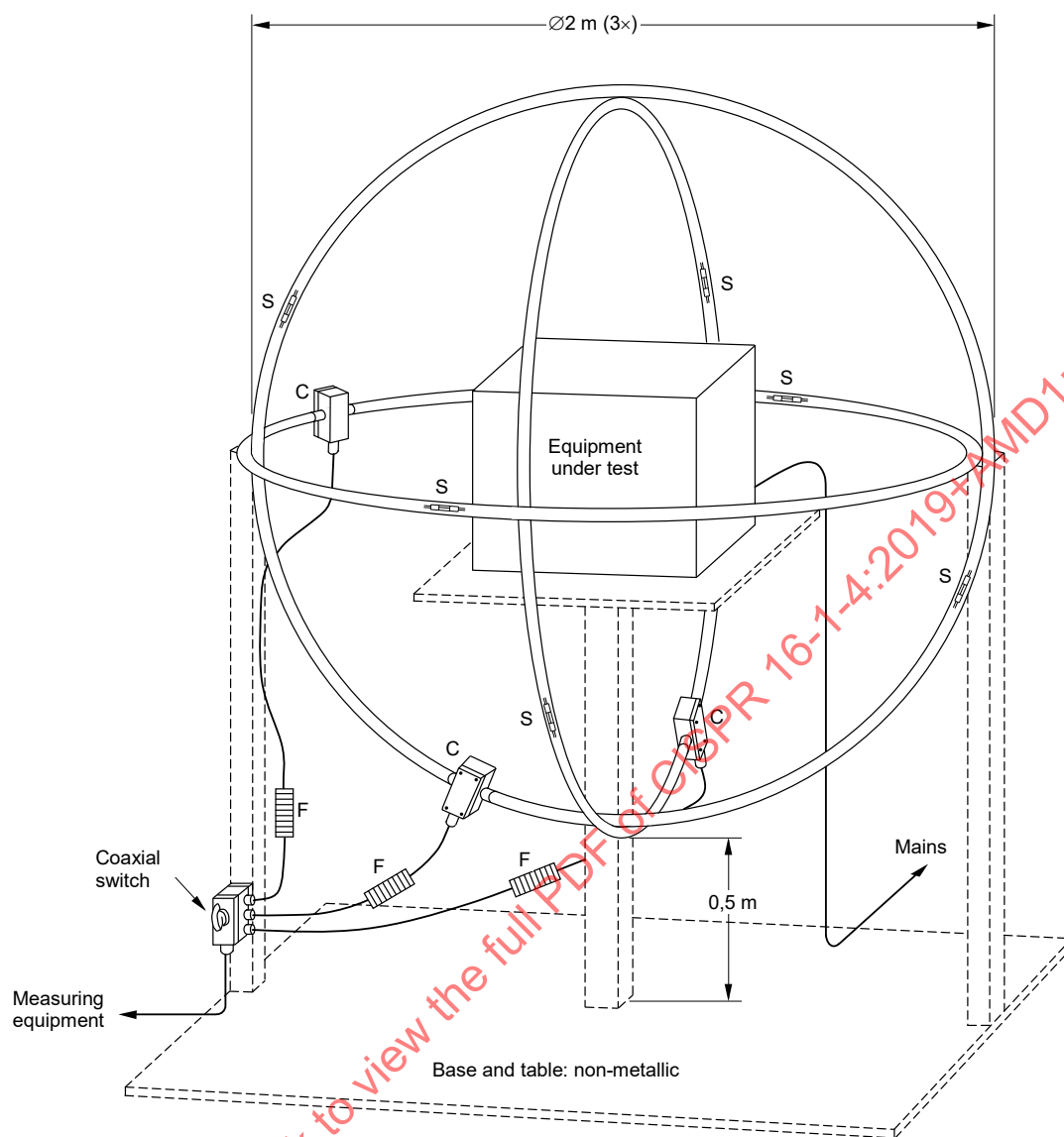
NOTE Pour obtenir une courbe de fréquence plate de chaque LLA à l'extrémité inférieure de la plage de fréquences de 9 kHz à 30 MHz, la partie résistive de l'impédance d'insertion,  $R_c$ , de la sonde de courant est conçue pour être bien inférieure à  $2\pi f L_c$  à  $f = 9$  kHz, où  $L_c$  représente l'inductance de la sonde de courant. De plus,  $R_c + R_i$  doit être inférieur ou égal à  $X_i/10 = (2\pi f L)/10$  à 9 kHz, où  $R_i$  est la résistance de l'âme du câble de l'antenne-cadre et  $L$  l'inductance de la boucle. Cette inductance a une valeur d'environ 1,5  $\mu$ H/m le long de la circonférence; ainsi pour chaque LLA normalisée dont le diamètre est de 2 m,  $X_i \approx 0,5 \Omega$  à  $f = 9$  kHz.

Le conducteur extérieur du câble de la LLA doit être relié au boîtier métallique contenant la sonde de courant (voir Figure C.5). Les dimensions maximales de ce boîtier sont les suivantes: 80 mm de largeur, 120 mm de longueur et 80 mm de hauteur.

~~NOTE 1 Pour obtenir une courbe de réponse plate de chaque LLA à l'extrémité inférieure de la gamme de fréquences de 9 kHz à 30 MHz, la perte d'insertion  $R_c$  de la sonde de courant est conçue pour être très inférieure à  $2\pi f L_c$  à  $f = 9$  kHz, où  $L_c$  représente l'inductance de la sonde de courant. De plus,  $(R_c + R_i) \ll X_i = 2\pi f L$  à 9 kHz, où  $R_i$  est la résistance de l'âme du câble de l'antenne-cadre et  $L$  l'inductance de la boucle. Cette inductance a une circonférence d'environ 1,5  $\mu$ H par mètre; ainsi pour chaque LLA normale,  $X_i \approx 0,5 \Omega$  à  $f = 9$  kHz.~~

~~NOTE 2 Pour éviter les couplages capacitifs indésirables entre l'EUT et la LLA, il convient que la distance entre l'EUT et les composants de chaque LLA soit d'au moins 0,10 fois le diamètre de la boucle. Il convient de prêter une attention particulière aux conducteurs de l'EUT. Il convient que les câbles cheminent ensemble et sortent du volume de la boucle dans le même octant du LLAS, et à une distance supérieure à 0,4 m de l'une des LLA (voir Figure C.6).~~

Pour éviter tout couplage capacitif indésirable entre l'EUT et le LLAS, la distance entre l'EUT et les composants du LLAS doit être d'au moins 0,10 fois le diamètre de la boucle. Il convient de prêter une attention particulière aux conducteurs d'un EUT. Les câbles doivent cheminer ensemble et sortir du volume d'essai dans le même octant du LLAS, et à une distance supérieure ou égale à 0,4 m de chacune des boucles du LLAS (voir Figure C.6).



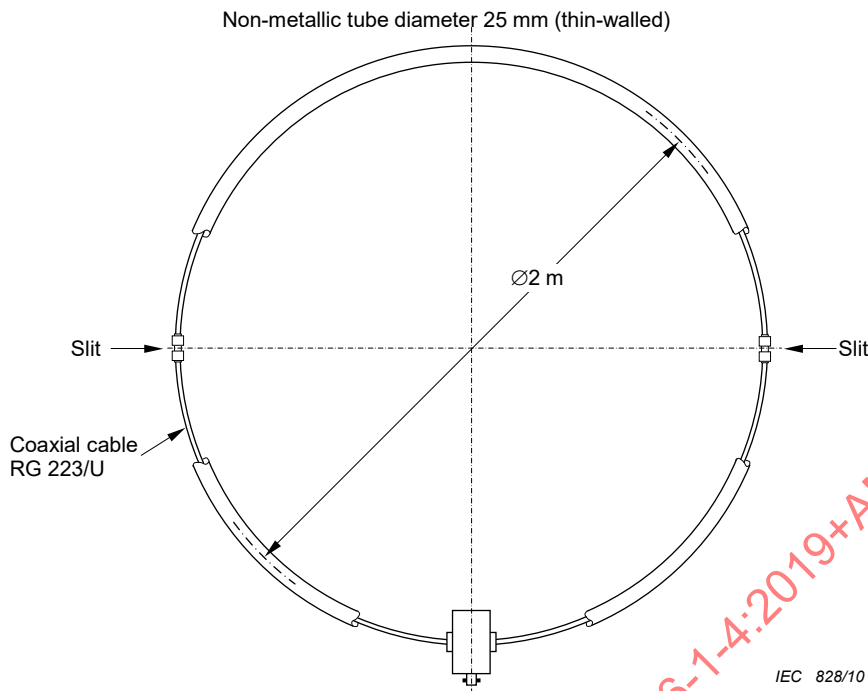
IEC 827/10

| Anglais                      | Français                       |
|------------------------------|--------------------------------|
| Equipment under test         | Équipement en essai            |
| Coaxial switch               | Commutateur coaxial            |
| Measuring equipment          | Équipement de mesure           |
| Mains                        | Alimentation électrique        |
| Base and table: non-metallic | Base et table: non métalliques |

#### Composants

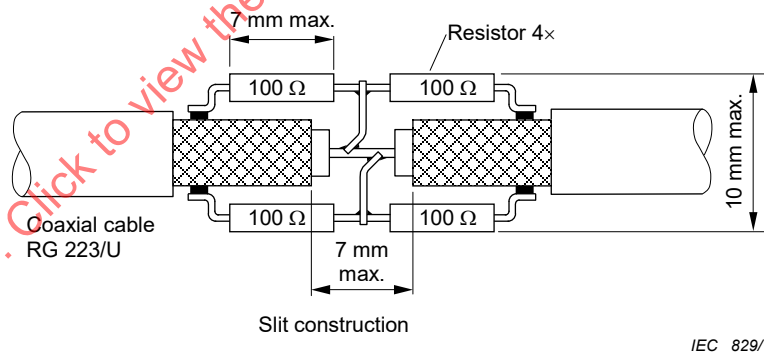
- S fente de l'antenne
- C sonde de courant
- F absorbeur en ferrite

**Figure C.1 – LLAS constitué de trois antennes de grand diamètre mutuellement perpendiculaires**



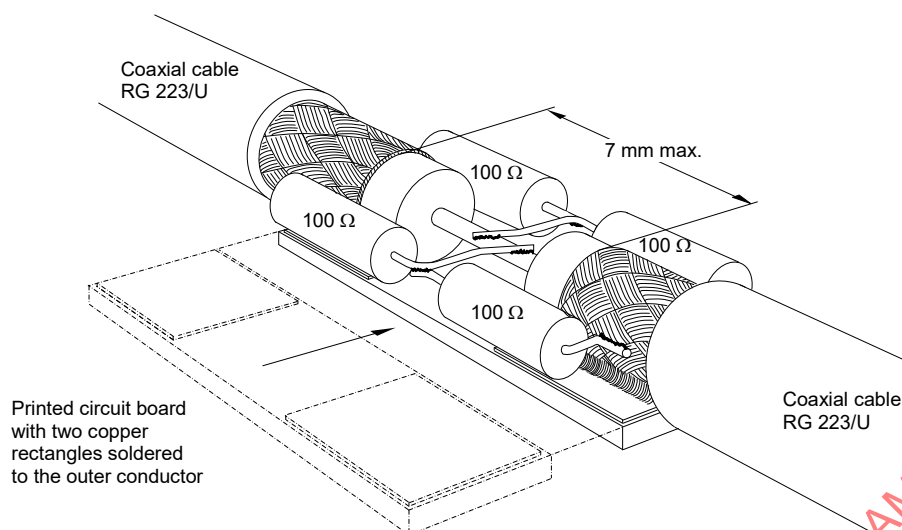
| Anglais                                        | Français                                           |
|------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Non-metallic tube diameter 25 mm (thin-walled) | Tube non métallique de 25 mm diamètre (paroi fine) |
| Slit                                           | Fente                                              |
| Coaxial cable RG 223/U                         | Câble coaxial RG 223/U                             |

Figure C.2 – LLA comportant deux fentes opposées, positionnées symétriquement par rapport à la sonde de courant



| Anglais                | Français                 |
|------------------------|--------------------------|
| 7 mm max.              | 7 mm maxi.               |
| Resistor 4x            | 4 résistances            |
| Coaxial cable RG 223/U | Câble coaxial RG 223/U   |
| Slit construction      | Construction de la fente |
| 7 mm max.              | 7 mm maxi.               |
| 10 mm max.             | 10 mm maxi.              |

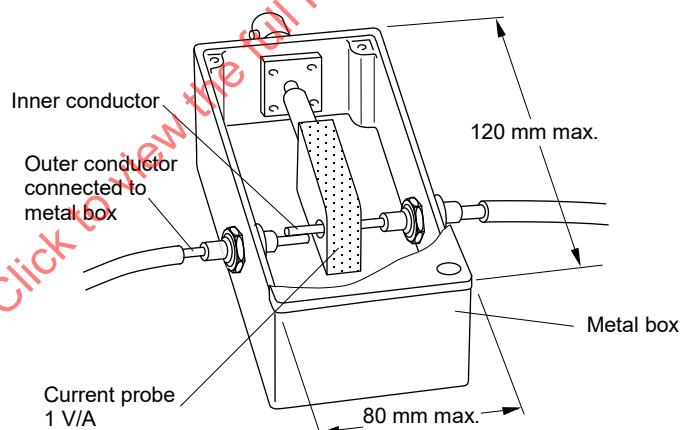
Figure C.3 – Construction de la fente de LLA



IEC 830/10

| Anglais                                                                          | Français                                                                                     |
|----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Coaxial cable RG 223/U                                                           | Câble coaxial RG 223/U                                                                       |
| 7 mm max.                                                                        | 7 mm maxi.                                                                                   |
| Coaxial cable RG 223/U                                                           | Câble coaxial RG 223/U                                                                       |
| Printed circuit board with two copper rectangles soldered to the outer conductor | Bande de circuit imprimé comportant deux rectangles en cuivre soudés au conducteur extérieur |

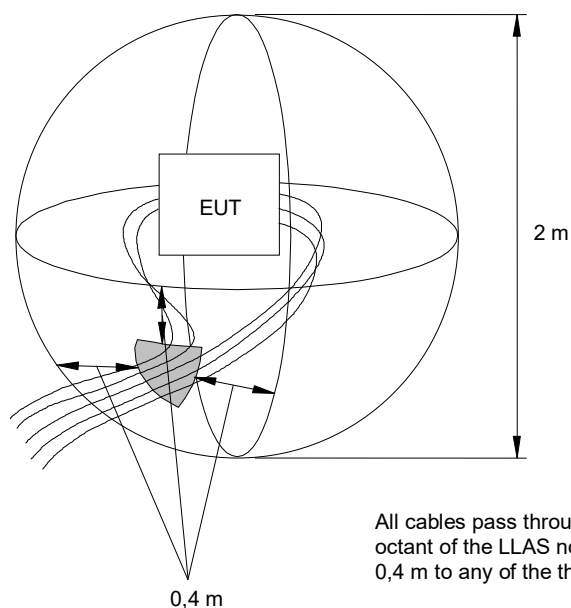
**Figure C.4 – Exemple de construction de fente de LLA utilisant une bande de circuit imprimé pour obtenir une construction rigide**



IEC 831/10

| Anglais                                    | Français                                         |
|--------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Inner conductor                            | Ame du conducteur                                |
| Outer conductor connected to the metal box | Conducteur extérieur relié au boîtier métallique |
| 120 mm max.                                | 120 mm maxi.                                     |
| Metal box                                  | Boîtier métallique                               |
| Current probe 1 V/A                        | Sonde de courant 1 V/A                           |
| 80 mm max.                                 | 80 mm maxi.                                      |

**Figure C.5 – Construction du boîtier métallique renfermant la sonde de courant**



IEC 832/10

| Anglais                                                                                            | Français                                                                                                                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| All cables pass through a single octant of the LLAS no closer than 0,4 m to any of the three loops | Tous les câbles traversent le même octant du LLAS, à une distance supérieure à 0,4 m de chacun des trois cadres du LLAS |

**Figure C.6 – Exemple montrant le cheminement de plusieurs câbles de l'EUT afin de réduire le plus possible le couplage capacitif entre les conducteurs et le LLAS**

#### C.4 Validation d'une du LLAS

~~La validation et l'étalonnage de chaque LLA d'un LLAS s'effectuent par mesure du courant induit dans la LLA par l'antenne doublet de vérification du LLAS reliée à un générateur RF à 50  $\Omega$ , décrit en C.5. Le champ magnétique émis par ce doublet permet de vérifier la sensibilité d'une LLA au champ magnétique. Le champ électrique émis par le l'antenne doublet de vérification du LLAS montre que la sensibilité de la LLA au champ électrique est suffisamment faible.~~

La validation du LLAS doit s'effectuer par mesure du courant induit dans chacune des trois LLA par le doublet de vérification du LLAS relié à un générateur RF à 50  $\Omega$ , comme cela est décrit en C.5. Le champ magnétique émis par le doublet permet de vérifier la sensibilité du LLAS audit champ. Le champ électrique émis par le doublet de vérification du LLAS est destiné à vérifier que la sensibilité du LLAS au champ électrique est suffisamment faible.

La validation d'un LLAS doit être effectuée sur le site habituel de réalisation des mesurages du LLAS. Cette procédure permet de tenir compte des effets du sol, des parois et d'objets similaires ou de surfaces dans l'environnement spécifique du LLAS.

Les mesurages de validation doivent être effectués au moins aux fréquences suivantes: 9 kHz, 100 kHz, 1 MHz, 2 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz, 20 MHz, 25 MHz et 30 MHz.

Le courant induit doit être mesuré en fonction de la fréquence dans la ~~gamme~~ plage allant de 9 kHz à 30 MHz pour les huit positions ~~de l'antenne~~ du doublet de vérification du LLAS représentées à la Figure C.7. Pendant ~~cette mesure~~ ce mesurage, ~~l'antenne~~ le doublet de vérification du LLAS doit se trouver dans le plan de la LLA en essai.

~~Pour chacune des huit positions, le facteur de validation  $[20 \lg(V_{go}/I_l)]$  exprimé en dB( $\Omega$ ) de la tension en circuit ouvert du générateur RF ( $V_{go}$ ) et du courant mesuré ( $I_l$ ) ne doit pas s'écarter de plus de  $\pm 2$  dB du facteur de validation indiqué à la Figure C.8.~~

Pour chacune des huit positions, le facteur de validation mesuré, exprimé en dB ( $\Omega$ ) puisque  $20 \lg(V_{go}/I_l)$ , où  $V_{go}$  est la tension en circuit ouvert du générateur RF et  $I_l$  est le courant mesuré, ne doit pas s'écarter de plus de  $\pm 3$  dB du facteur de validation de référence applicable donné à la Figure C.8 et dans le Tableau C.1.

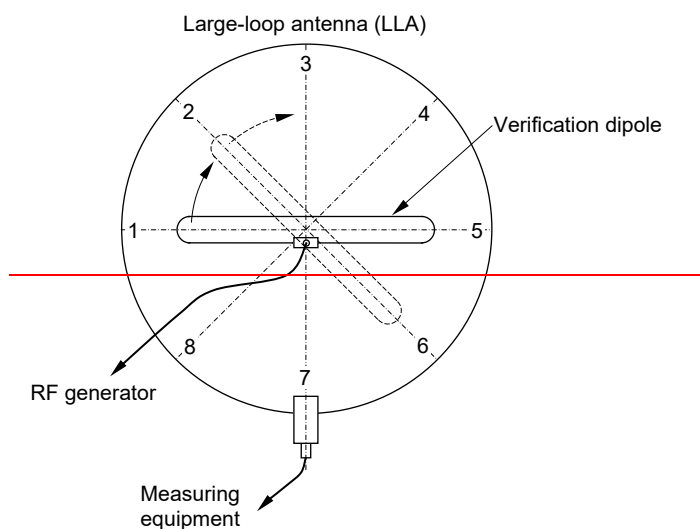
~~Le facteur de validation indiqué à la Figure C.8 s'applique à une LLA circulaire de diamètre normal  $D = 2$  m. Si le diamètre d'une LLA circulaire est différent de  $D = 2$  m, le facteur de validation de la LLA non normale peut être déduit des données indiquées sur la Figure C.8 et la Figure C.11 (voir C.6).~~

Les facteurs de validation de référence indiqués à la Figure C.8 et dans le Tableau C.1 s'appliquent à un LLAS ayant des boucles circulaires de diamètre  $D = 2$  m, 3 m ou 4 m.

Les valeurs tabulaires des courbes de la Figure C.8 sont données dans le Tableau C.1. Ces valeurs tabulaires doivent être utilisées pour la validation du LLAS.

La documentation de référence et les équations de calcul des facteurs de validation de référence sont données dans la CISPR TR 16-3:2020 [23].





IEC 833/10

| Anglais                  | Français                        |
|--------------------------|---------------------------------|
| Large-loop Antenna (LLA) | Antenne de grand diamètre (LLA) |
| Verification dipole      | Doulet de vérification          |
| RF-generator             | Générateur RF                   |
| Measuring equipment      | Equipement de mesure            |

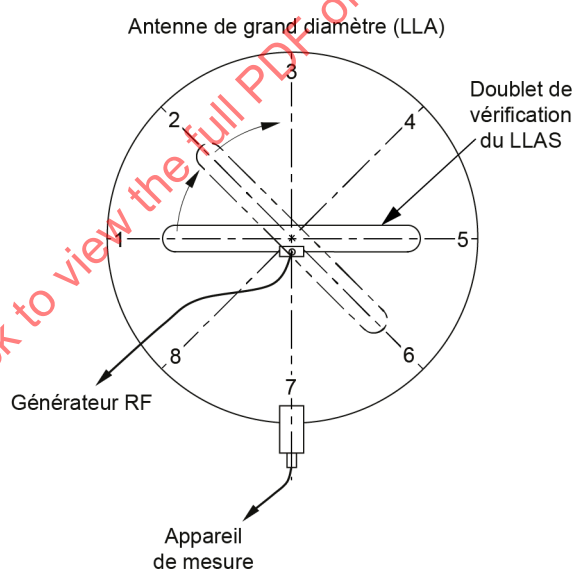
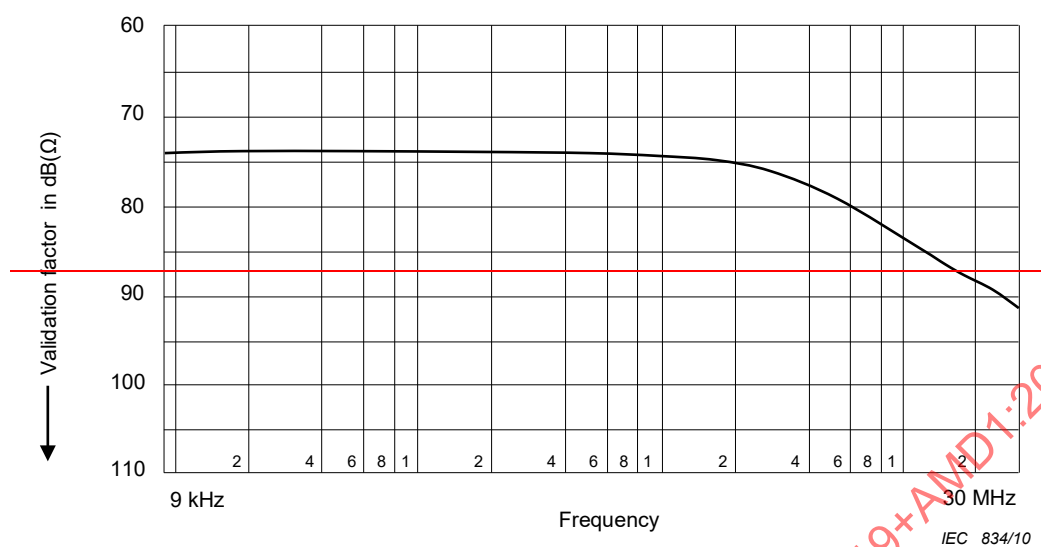


Figure C.7 – Les huit positions du doublet de vérification du LLAS durant la validation d'une LLA



| Anglais                    | Français                       |
|----------------------------|--------------------------------|
| Validation factor in dB(Ω) | Facteur de validation en dB(Ω) |
| Frequency                  | Fréquence                      |

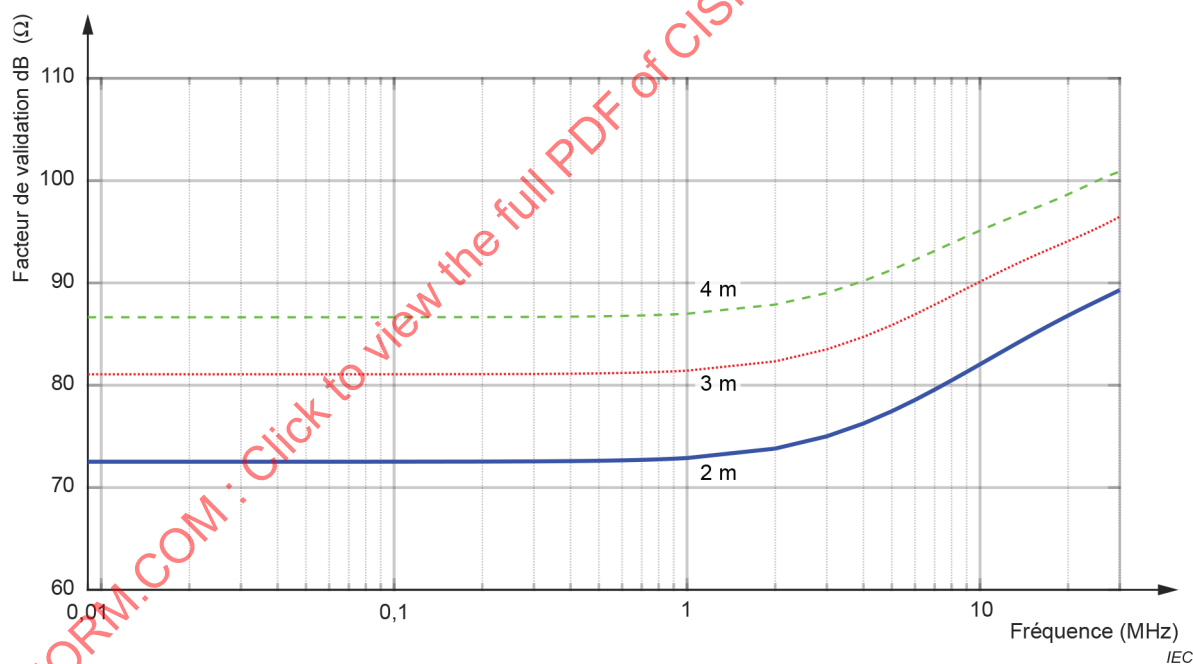


Figure C.8 – Facteurs de validation d'une LLA de 2 m de diamètre de référence pour des boucles de 2 m, 3 m et 4 m de diamètre

**Tableau C.1 – Facteurs de validation de référence de la Figure C.8  
pour des boucles de 2 m, 3 m et 4 m de diamètre**

| Fréquence<br><br>MHz | Facteur de validation de référence |                |                | Fréquence<br><br>MHz | Facteur de validation de référence |                |                |
|----------------------|------------------------------------|----------------|----------------|----------------------|------------------------------------|----------------|----------------|
|                      | LLAS de<br>2 m                     | LLAS de<br>3 m | LLAS de<br>4 m |                      | LLAS de<br>2 m                     | LLAS de<br>3 m | LLAS de<br>4 m |
|                      | dB(Ω)                              |                |                |                      | dB(Ω)                              |                |                |
| 0,009                | 72,52                              | 81,07          | 86,64          | 7                    | 79,57                              | 87,87          | 93,13          |
| 0,01                 | 72,52                              | 81,07          | 86,64          | 8                    | 80,47                              | 88,71          | 93,88          |
| 0,02                 | 72,52                              | 81,07          | 86,64          | 9                    | 81,30                              | 89,45          | 94,54          |
| 0,03                 | 72,52                              | 81,07          | 86,64          | 10                   | 82,04                              | 90,12          | 95,11          |
| 0,04                 | 72,52                              | 81,07          | 86,64          | 11                   | 82,72                              | 90,71          | 95,62          |
| 0,05                 | 72,52                              | 81,07          | 86,64          | 12                   | 83,34                              | 91,24          | 96,07          |
| 0,06                 | 72,52                              | 81,07          | 86,65          | 13                   | 83,90                              | 91,72          | 96,47          |
| 0,07                 | 72,52                              | 81,07          | 86,65          | 14                   | 84,42                              | 92,15          | 96,84          |
| 0,08                 | 72,52                              | 81,07          | 86,65          | 15                   | 84,90                              | 92,54          | 97,18          |
| 0,09                 | 72,52                              | 81,07          | 86,65          | 16                   | 85,34                              | 92,89          | 97,50          |
| 0,1                  | 72,52                              | 81,07          | 86,65          | 17                   | 85,75                              | 93,22          | 97,80          |
| 0,2                  | 72,54                              | 81,08          | 86,66          | 18                   | 86,13                              | 93,53          | 98,10          |
| 0,3                  | 72,55                              | 81,10          | 86,68          | 19                   | 86,48                              | 93,82          | 98,39          |
| 0,4                  | 72,58                              | 81,13          | 86,70          | 20                   | 86,81                              | 94,09          | 98,67          |
| 0,5                  | 72,61                              | 81,16          | 86,73          | 21                   | 87,12                              | 94,35          | 98,94          |
| 0,6                  | 72,65                              | 81,20          | 86,77          | 22                   | 87,41                              | 94,60          | 99,21          |
| 0,7                  | 72,70                              | 81,24          | 86,82          | 23                   | 87,68                              | 94,85          | 99,47          |
| 0,8                  | 72,75                              | 81,30          | 86,87          | 24                   | 87,94                              | 95,09          | 99,72          |
| 0,9                  | 72,81                              | 81,36          | 86,93          | 25                   | 88,19                              | 95,32          | 99,96          |
| 1                    | 72,88                              | 81,42          | 86,99          | 26                   | 88,43                              | 95,56          | 100,18         |
| 2                    | 73,81                              | 82,33          | 87,88          | 27                   | 88,66                              | 95,79          | 100,38         |
| 3                    | 75,01                              | 83,51          | 89,02          | 28                   | 88,88                              | 96,02          | 100,57         |
| 4                    | 76,26                              | 84,72          | 90,19          | 29                   | 89,09                              | 96,25          | 100,73         |
| 5                    | 77,46                              | 85,88          | 91,28          | 30                   | 89,30                              | 96,47          | 100,88         |
| 6                    | 78,56                              | 86,93          | 92,26          | -                    | -                                  | -              | -              |

## C.5 Construction de l'antenne doublet de vérification du LLAS

L'antenne doublet de vérification du LLAS (représentée sur la Figure C.9) a été conçue pour émettre en même temps un champ magnétique,  $H$ , qu'une LLA mesure, et un champ électrique,  $E$ , qui doit être rejeté par une LLA.

L'antenne doublet de vérification du LLAS est construite à l'aide d'un câble coaxial RG-223/U d'une largeur  $W$  de 150 cm et d'une hauteur  $H$  de 10 cm (distance mesurée de centre à centre du câble), comme représenté à la Figure C.9.

Une fente ménagée dans le conducteur extérieur du câble coaxial divise l'antenne doublet de vérification du LLAS en deux moitiés. Une moitié de ce doublet, la moitié de droite sur la Figure C.9, est court-circuitée à proximité de la fente ainsi qu'à proximité du connecteur. Court-circuitée signifie que le conducteur extérieur et l'âme du câble coaxial sont électriquement reliés l'un à l'autre. Cette moitié du doublet est reliée à la masse de référence du connecteur BNC. L'âme du câble coaxial qui forme la moitié de gauche du doublet de la

~~Figure C.9 est connectée à la broche centrale du connecteur BNC, et son conducteur extérieur à la masse de référence de ce connecteur BNC.~~

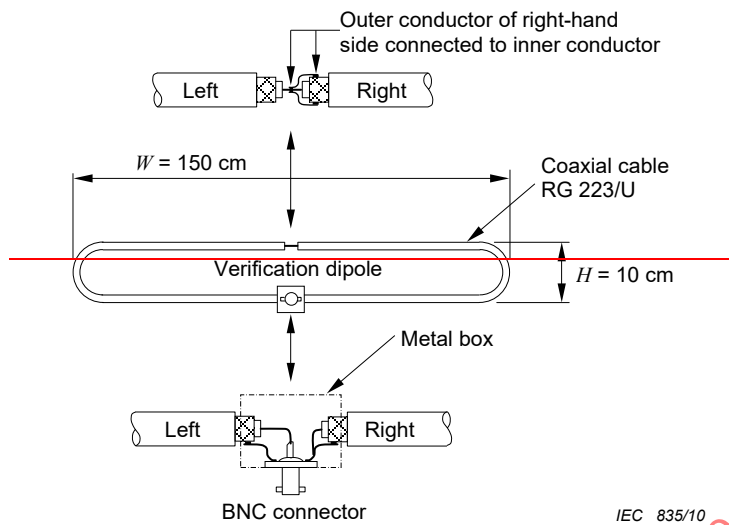
Le doublet de vérification du LLAS, représenté à la Figure C.9, a été conçu pour émettre en même temps un champ magnétique qu'il convient que le LLAS mesure, et un champ électrique qu'il convient que le LLAS rejette.

L'antenne doublet de vérification du LLAS doit être construite conformément à la Figure C.9, en utilisant un câble RG-223/U ou un câble coaxial similaire. Elle doit avoir une largeur  $W = 150$  cm et un intervalle  $s = 10$  cm (distances mesurées de centre à centre du câble), comme cela est représenté à la Figure C.9. Une fente ménagée dans le conducteur extérieur du câble coaxial doit diviser le doublet en deux moitiés. Une moitié du doublet (la moitié de droite sur la Figure C.9), doit être court-circuitée à proximité du connecteur, ainsi qu'à proximité de la fente se trouvant à l'opposé du connecteur. Le qualificatif "court-circuitée" signifie que l'âme et le conducteur extérieur du câble coaxial doivent être électriquement reliés l'un à l'autre. Cette moitié doit être reliée à la masse de référence du connecteur coaxial (BNC ou similaire). L'âme du câble coaxial qui forme la moitié de gauche du doublet de la Figure C.9 doit être connectée à la broche centrale du connecteur coaxial, et son conducteur extérieur doit être connecté à la masse de référence de ce connecteur coaxial.

Un petit boîtier métallique doit être utilisé pour assurer le blindage des connexions au voisinage du connecteur coaxial. Le conducteur extérieur des deux moitiés du câble coaxial du doublet et la masse de référence du connecteur coaxial doivent être reliés à ce boîtier.

Un petit boîtier métallique peut assurer le blindage des connexions au voisinage du connecteur BNC. Le conducteur extérieur des deux moitiés du câble coaxial ainsi que la masse de référence du connecteur BNC sont reliés à ce boîtier.

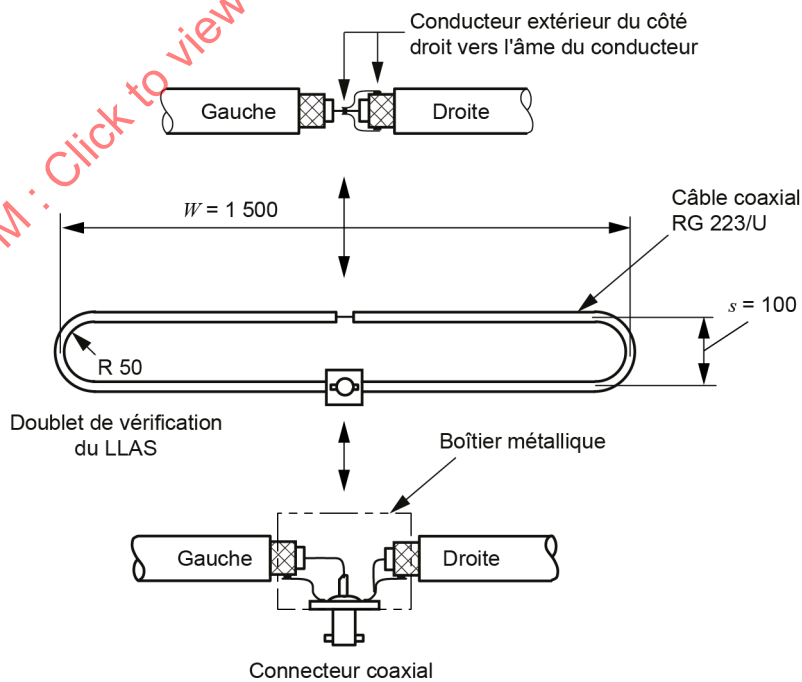
Pour obtenir une construction rigide, le doublet est supporté sur une base non conductrice.



IEC 835/10

| Anglais                                               | Français                                                    |
|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Outer conductor of right-hand side to inner conductor | Conducteur extérieur du côté droit vers l'âme du conducteur |
| Left                                                  | Gauche                                                      |
| Right                                                 | Droite                                                      |
| Coaxial cable RG 223/U                                | Câble coaxial RG 223/U                                      |
| Verification dipole                                   | Douplet de vérification                                     |
| Metal box                                             | Boîtier métallique                                          |
| Left                                                  | Gauche                                                      |
| Right                                                 | Droite                                                      |
| BNC connector                                         | Connecteur BNC                                              |

Dimensions en millimètres



NOTE Les distances indiquées sont mesurées de centre à centre du câble.

Figure C.9 – Construction de l'antenne doublet de vérification du LLAS

## C.6 Facteurs de conversion

Le présent paragraphe traite du facteur qui permet de convertir le courant ( $I$ ) induit dans une LLA par l'EUT en un champ magnétique de valeur  $H$  à une distance spécifiée de l'EUT (représenté sur la Figure C.10). Il traite en outre du facteur qui permet de convertir le courant mesuré dans une LLA de diamètre non normal, en un courant qui aurait été mesuré à l'aide d'une LLA de diamètre normal  $D = 2$  m (représentée sur la Figure C.11).

Le facteur de conversion indiqué à la Figure C.10 s'applique à une source de champs magnétiques placée au centre d'une LLA, et dont le moment dipolaire est perpendiculaire au plan de cette LLA. Noter que, pour les antennes cadres spécifiées en 4.3 du présent document, l'antenne cadre est toujours placée dans un plan vertical, et l'EUT tourné autour de son axe vertical seulement. Dans ce cas, seuls sont mesurés les moments dipolaires horizontaux de l'EUT, c'est-à-dire les moments dipolaires parallèles au plan de masse. Par conséquent, si l'EUT est un moment dipolaire principalement vertical, le facteur de conversion ne peut pas être utilisé pour comparer les résultats des deux méthodes de mesure. Toutefois le facteur de la Figure C.10 peut être utilisé avec la méthode de mesure du champ magnétique lorsque l'antenne cadre de 4.3 est dans un plan horizontal, ou lorsque, avec cette méthode, l'EUT est incliné de  $90^\circ$ , de sorte que le moment vertical du doublet correspondant se comporte comme un moment horizontal du doublet.

Si la position réelle d'une source de perturbations au sein d'un EUT se trouve à moins de 0,5 m du centre du LLAS normal, les résultats de mesure s'écartent de moins de 3 dB de ceux obtenus lorsque cette source est située au centre du LLAS.

La relation entre l'intensité du champ magnétique  $H$  en dB( $\mu$ A/m), mesurée à une distance  $d$ , et le courant de la LLA  $I$  en dB( $\mu$ A) est:

$$H = I + C_{dA} \quad (C.1)$$

où  $C_{dA}$  est le facteur de conversion courant champ (en dB( $m^{-1}$ )) pour une certaine distance  $d$ , lorsque  $H$  est exprimé en dB( $\mu$ A/m), voir aussi la NOTE.

En général, le facteur de conversion dépend de la fréquence: la Figure C.10 présente  $C_{dA}$  pour des distances de mesure de 3 m et 10 m. En ce qui concerne la distance de mesure  $d = 30$  m, le facteur de conversion est à l'étude.

Les courbes du rapport  $S_D$  (en décibels) entre le courant mesuré dans une LLA de diamètre  $D$  (en mètres) et le courant qui serait mesuré avec une LLA de diamètre normal ( $D = 2$  m) sont données à la Figure C.11, pour plusieurs valeurs de  $D$ . En utilisant ce rapport, l'Equation (C.1) peut s'écrire comme l'Equation (C.2):

$$H = I + S_D + C_{dA} \quad (C.2)$$

où  $H$  est exprimée en dB( $\mu$ A/m),  $I$  en dB( $\mu$ A),  $S_D$  en dB, et  $C_{dA}$  en dB( $m^{-1}$ ).

NOTE Pour le calcul des niveaux de perturbations, le CISPR utilise l'intensité du champ magnétique  $H$  en dB( $\mu$ A/m) plutôt que la valeur du champ électrique  $E$  en dB( $\mu$ V/m). Dans ce contexte, la relation entre  $H$  et  $E$  est donnée par l'Equation (C.3):

$$E = H + 51,5 \quad (C.3)$$

où  $E$  est exprimé en dB( $\mu$ V/m) et  $H$  en dB( $\mu$ A/m). La constante 51,5, en dB( $\Omega$ ) dans l'Equation (C.3), est expliquée dans la NOTE de 4.3.2.

Par commodité, le facteur de conversion  $C_{dV}$  convertissant  $I$  en dB( $\mu$ A) en  $E$  en dB( $\mu$ V/m) est également donné sur la Figure C.10. Les exemples suivants expliquent l'utilisation des équations précédentes, ainsi que les Figures C.10 et C.11.

a) Sachant que: fréquence de mesure  $f = 100$  kHz, diamètre de la LLA  $D = 2$  m, courant dans la LLA  $I = X$  en dB( $\mu$ A):

En appliquant l'Equation (C.1) et la Figure C.10, il en découle alors que:

$$\text{à } d = 3 \text{ m: } H = [X/\text{dB}(\mu\text{A}) + C_{3A}/\text{dB}(\text{m}^{-1})] \text{ dB}(\mu\text{A}/\text{m}) = (X - 19,5) \text{ dB}(\mu\text{A}/\text{m})$$

$$\text{à } d = 3 \text{ m: } E = [X/\text{dB}(\mu\text{A}) + C_{3V}/\text{dB}(\Omega/\text{m})] \text{ dB}(\mu\text{V}/\text{m}) = [X + (51,5 - 19,5)] \text{ dB}(\mu\text{V}/\text{m})$$

b) Sachant que: fréquence de mesure  $f = 100$  kHz, diamètre de la LLA  $D = 4$  m, courant dans la LLA  $I = X$  dB( $\mu$ A):

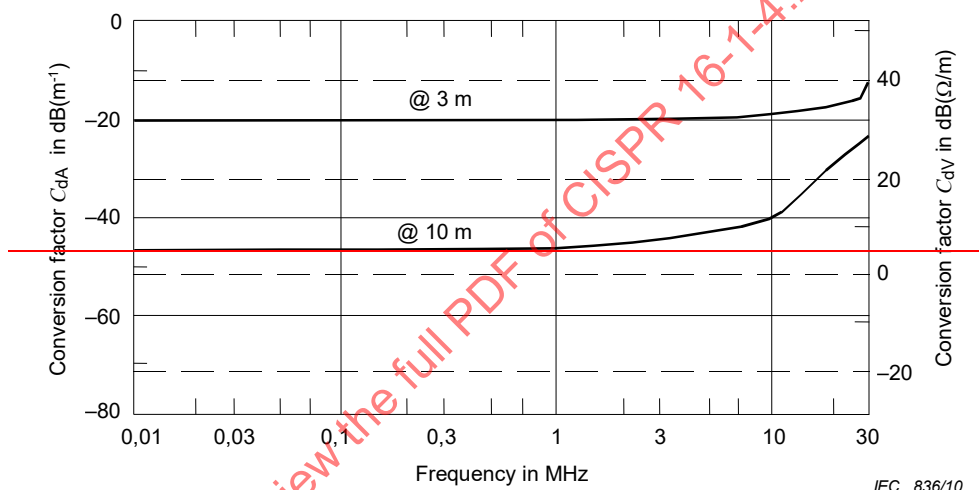
En utilisant la Figure C.11, il en découle que le même EUT aurait induit un courant:

$$I = [X/\text{dB}(\mu\text{A}) - S_4/\text{dB}] \text{ dB}(\mu\text{A}) = (X + 13) \text{ dB}(\mu\text{A})$$

dans la une LLA de diamètre normal  $D = 2$  m.

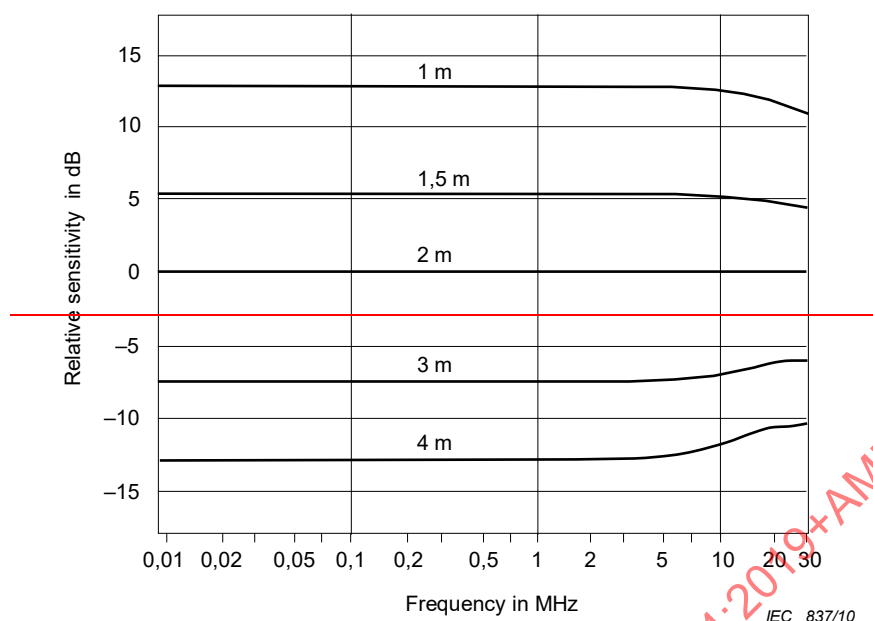
c) Sachant que: validation d'une LLA avec un diamètre  $D = 3$  m.

Alors le facteur de validation est obtenu en soustrayant  $S_3$ , (la valeur de la sensibilité relative donnée à la Figure C.11), du facteur de validation donné à la Figure C.8 à chaque fréquence. Ainsi, si la fréquence de mesure est de 100 kHz, le facteur de validation de la LLA pour laquelle  $D = 3$  m est égal à  $[73,5 - (-7,5)] \text{ dB}(\Omega) = 81 \text{ dB}(\Omega)$ .



| Anglais                                                  | Français                                                     |
|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Conversion factor $C_{dA}$ in $\text{dB}(\text{m}^{-1})$ | Facteur de conversion $C_{dA}$ en $\text{dB}(\text{m}^{-1})$ |
| Conversion factor $C_{dV}$ in $\text{dB}(\Omega)$        | Facteur de conversion $C_{dV}$ en $\text{dB}(\Omega)$        |
| Frequency in MHz                                         | Fréquence en MHz                                             |

Figure C.10 – Facteurs de conversion  $C_{dA}$  [pour la conversion en  $\text{dB}(\mu\text{A}/\text{m})$ ] et  $C_{dV}$  [pour la conversion en  $\text{dB}(\mu\text{V}/\text{m})$ ] pour deux distances de mesure normales  $d$



| Anglais                    | Français                   |
|----------------------------|----------------------------|
| Relative sensitivity in dB | Sensibilité relative en dB |
| Frequency in MHz           | Fréquence en MHz           |

**Figure C.11 – Sensibilité  $S_D$  d'une antenne de grand diamètre d'un diamètre  $D$  par rapport à une antenne de grand diamètre ayant un diamètre de 2 m**

### C.6.1 Généralités

Le présent article traite du facteur qui convertit le courant mesuré dans une LLA de diamètre non normalisé, au courant qui aurait été mesuré en utilisant une LLA ayant le diamètre normalisé  $D = 2$  m (voir la Figure C.10 et le Tableau C.2). Il traite également du facteur qui convertit le courant ( $I$ ) induit dans une LLA par un EUT en une intensité du champ magnétique  $H$  à une distance spécifiée de l'EUT (voir la Figure C.11 et le Tableau C.3). La documentation de référence et les équations de calcul de ces facteurs de conversion sont données dans la CISPR TR 16-3:2020 [23].

### C.6.2 Facteurs de conversion actuels pour un LLAS de diamètre non normalisé

La différence  $S_D$  en décibels entre le courant mesuré dans une LLA de diamètre  $D$  en m, et le courant mesuré en utilisant une LLA de diamètre normalisé  $D = 2$  m, exprimée en unités logarithmiques (comme dB( $\mu$ A)), est donnée à la Figure C.10 (et dans le Tableau C.2) pour plusieurs valeurs de  $D$ , comme cela est déterminé par l'Équation (C.1):

$$S_D = I_{Dm} - I_{2m} \quad (\text{C.1})$$

où  $I_{Dm}$  et  $I_{2m}$  sont les valeurs des courants induits dans une LLA de diamètre  $D$  et dans la LLA d'un diamètre normalisé de 2 m, respectivement, tous deux exprimés en unités logarithmiques (comme dB( $\mu$ A)).



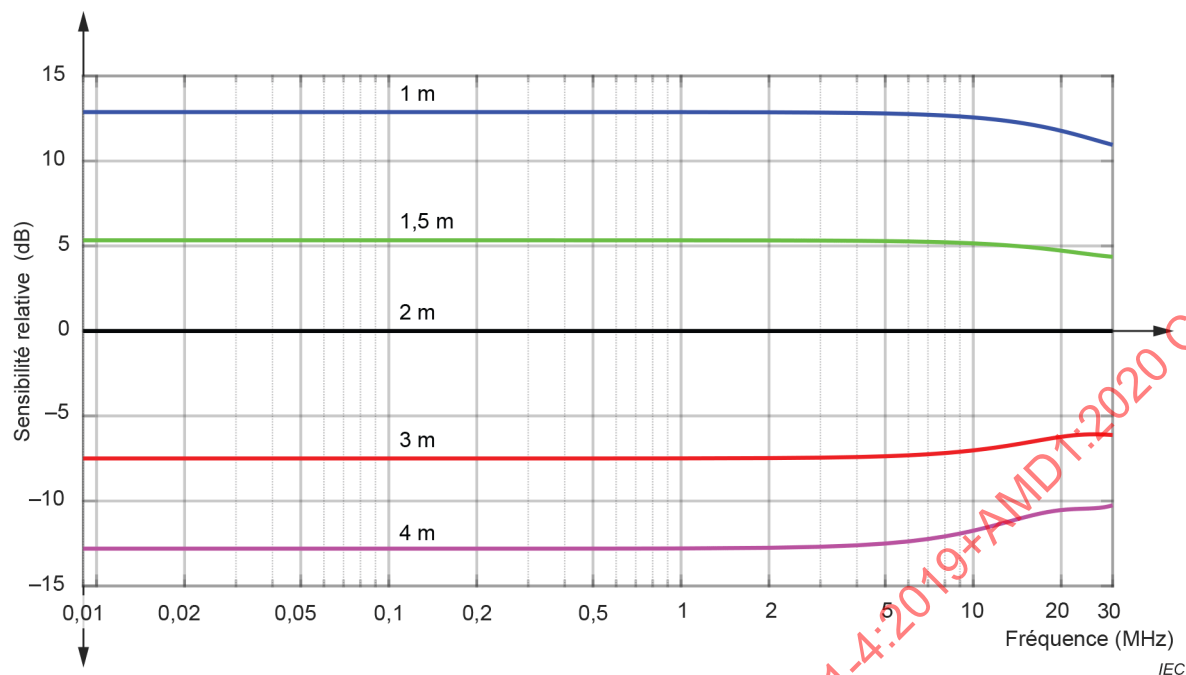


**Figure C.10 – Sensibilité  $S_D$  d'une LLA de diamètre  $D$  par rapport à une LLA de 2 m de diamètre**

**Tableau C.2 – Sensibilité  $S_D$  d'une LLA de diamètre  $D$  par rapport à une LLA de 2 m de diamètre (Figure C.10)**

| Fréquence<br>MHz | Diamètre de LLAS $D$ |       |       |        | Fréquence<br>MHz | Diamètre de LLAS $D$ |       |       |        |
|------------------|----------------------|-------|-------|--------|------------------|----------------------|-------|-------|--------|
|                  | 1 m                  | 1,5 m | 3 m   | 4 m    |                  | 1 m                  | 1,5 m | 3 m   | 4 m    |
|                  | dB                   | dB    | dB    | dB     |                  | dB                   | dB    | dB    | dB     |
| 0,009            | 12,88                | 5,34  | -7,50 | -12,80 | 7                | 12,72                | 5,24  | -7,25 | -12,24 |
| 0,01             | 12,88                | 5,34  | -7,50 | -12,80 | 8                | 12,67                | 5,22  | -7,18 | -12,08 |
| 0,02             | 12,88                | 5,34  | -7,50 | -12,80 | 9                | 12,62                | 5,19  | -7,11 | -11,92 |
| 0,03             | 12,88                | 5,34  | -7,50 | -12,80 | 10               | 12,56                | 5,16  | -7,02 | -11,75 |
| 0,04             | 12,88                | 5,34  | -7,50 | -12,80 | 11               | 12,50                | 5,12  | -6,94 | -11,58 |
| 0,05             | 12,88                | 5,34  | -7,50 | -12,80 | 12               | 12,43                | 5,08  | -6,85 | -11,41 |
| 0,06             | 12,88                | 5,34  | -7,50 | -12,80 | 13               | 12,36                | 5,04  | -6,76 | -11,25 |
| 0,07             | 12,88                | 5,34  | -7,50 | -12,80 | 14               | 12,29                | 5,00  | -6,67 | -11,09 |
| 0,08             | 12,88                | 5,34  | -7,50 | -12,80 | 15               | 12,21                | 4,96  | -6,58 | -10,96 |
| 0,09             | 12,88                | 5,34  | -7,50 | -12,80 | 16               | 12,12                | 4,91  | -6,50 | -10,84 |
| 0,1              | 12,88                | 5,34  | -7,50 | -12,80 | 17               | 12,04                | 4,87  | -6,42 | -10,73 |
| 0,2              | 12,88                | 5,33  | -7,50 | -12,80 | 18               | 11,95                | 4,82  | -6,35 | -10,65 |
| 0,3              | 12,88                | 5,33  | -7,50 | -12,80 | 19               | 11,86                | 4,77  | -6,28 | -10,58 |
| 0,4              | 12,88                | 5,33  | -7,50 | -12,80 | 20               | 11,77                | 4,73  | -6,23 | -10,53 |
| 0,5              | 12,88                | 5,33  | -7,50 | -12,80 | 21               | 11,68                | 4,68  | -6,18 | -10,50 |
| 0,6              | 12,88                | 5,33  | -7,50 | -12,80 | 22               | 11,60                | 4,64  | -6,14 | -10,48 |
| 0,7              | 12,88                | 5,33  | -7,50 | -12,80 | 23               | 11,51                | 4,60  | -6,11 | -10,46 |
| 0,8              | 12,88                | 5,33  | -7,49 | -12,80 | 24               | 11,42                | 4,55  | -6,09 | -10,45 |
| 0,9              | 12,88                | 5,33  | -7,49 | -12,79 | 25               | 11,33                | 4,52  | -6,08 | -10,44 |
| 1                | 12,87                | 5,33  | -7,49 | -12,79 | 26               | 11,25                | 4,48  | -6,08 | -10,43 |
| 2                | 12,86                | 5,33  | -7,48 | -12,75 | 27               | 11,17                | 4,45  | -6,08 | -10,40 |
| 3                | 12,85                | 5,32  | -7,45 | -12,69 | 28               | 11,09                | 4,41  | -6,09 | -10,37 |
| 4                | 12,83                | 5,30  | -7,41 | -12,61 | 29               | 11,02                | 4,39  | -6,10 | -10,32 |
| 5                | 12,80                | 5,29  | -7,37 | -12,50 | 30               | 10,95                | 4,36  | -6,12 | -10,25 |
| 6                | 12,76                | 5,27  | -7,31 | -12,38 | -                | -                    | -     | -     | -      |

### C.6.3 Conversion du courant mesuré du LLAS en intensité du champ magnétique

Le facteur de conversion indiqué à la Figure C.11 et dans le Tableau C.3 représente le cas le plus défavorable (le plus élevé) des trois polarisations lorsqu'est prise en compte une source de champ magnétique placée au centre d'une LLA, dont le moment dipolaire magnétique est perpendiculaire au plan de cette LLA, pour les trois boucles d'un LLAS. Ce facteur de conversion peut être utilisé en tant que tel pour estimer l'intensité du champ magnétique la plus défavorable mesurée avec l'antenne-cadre spécifiée en 4.3, à une distance de mesure spécifique (3 m, 10 m ou 30 m) de la périphérie de l'EUT, avec le centre de l'antenne cadre à 1,3 m au-dessus du plan de masse métallique d'un emplacement d'essai, et la surface la plus basse de l'EUT positionnée à 80 cm au-dessus du plan de masse, l'EUT étant pour sa part tourné vers tous les angles d'azimut, pour les trois polarisations de l'antenne-cadre. Cette estimation de l'intensité de champ peut être obtenue en ajoutant le facteur de conversion de la Figure C.11 et du Tableau C.3 au niveau de courant induit le plus défavorable mesuré dans l'EUT avec les trois boucles du LLAS, à la fréquence de mesure.

NOTE 1 Souvent, les méthodes classiques d'essai d'intensité du champ magnétique (par exemple, celles spécifiées dans la CISPR 11 [24]) appliquent une antenne-cadre telle que spécifiée en 4.3 et positionnée dans un plan vertical uniquement, avec simultanément une rotation de l'EUT autour de son axe vertical uniquement. Dans ce cas, seuls sont mesurés les moments dipolaires horizontaux, c'est-à-dire les moments dipolaires parallèles au plan de masse. Par conséquent, dans le cas où l'EUT génère également des moments dipolaires verticaux, le facteur de conversion du LLAS ne peut pas être utilisé pour comparer les résultats des deux méthodes de mesure. Toutefois, le facteur de conversion du LLAS peut être utilisé pour des comparaisons avec les résultats des méthodes de mesure de l'intensité du champ magnétique lorsque l'antenne-cadre décrite en 4.3 est positionnée sur un plan horizontal, outre les deux polarisations de plans de boucles verticaux.

Si la position réelle d'une source de perturbation au sein d'un EUT se situe à moins de 0,5 m du centre du LLAS normal, les résultats de mesure diffèrent de moins de 3 dB de ceux obtenus avec la source positionnée au centre du LLAS.

La relation entre l'intensité du champ magnétique  $H$  en dB(μA/m) mesurée à une distance  $d$  et le courant de la LLA  $I$  en dB(μA) est selon l'Équation (C.2):

$$H = I + C_{dA} \quad (C.2)$$

où  $C_{dA}$  est le facteur de conversion courant-champ en dB(m<sup>-1</sup>) pour une certaine distance  $d$  lorsque  $H$  est exprimé en dB(μA/m) (voir aussi la NOTE 2).

En général, le facteur de conversion dépend de la fréquence; la Figure C.11 (et le Tableau C.3) présentent  $C_{dA}$  pour des distances de mesure normalisées de 3 m, 10 m et 30 m.

Si le courant est mesuré dans un LLAS de diamètre non normalisé  $D$ , l'Équation (C.2) peut prendre la forme de l'Équation (C.3) suivante:

$$H = I - S_D + C_{dA} \quad (C.3)$$

où  $H$  est exprimé en dB(μA/m),  $I$  en dB(μA),  $S_D$  en dB, et  $C_{dA}$  en dB(m<sup>-1</sup>).

NOTE 2 Pour le calcul des niveaux de perturbation, le CISPR utilise l'intensité du champ magnétique  $H$  en dB(μA/m) plutôt que l'intensité du champ électrique  $E$  en dB(μV/m). Dans ce contexte, la relation entre  $H$  et  $E$  est donnée par l'Équation (C.4):

$$E = H + 51,5 \quad (C.4)$$

où  $E$  est exprimé en dB(μV/m) et  $H$  en dB(μA/m). La constante 51,5, en dB(Ω), dans l'Équation (C.4) est expliquée dans la NOTE de 4.3.2.

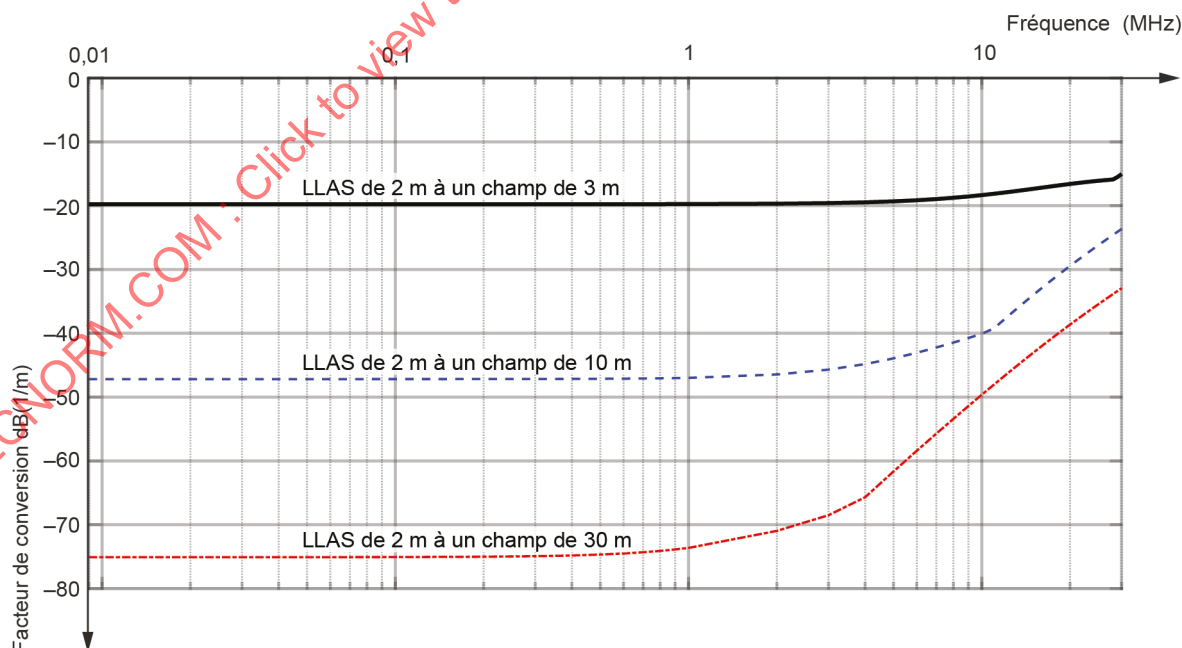


**Figure C.11 – Facteur de conversion  $C_{dA}$  [pour la conversion en dB(μA/m)] pour trois distances de mesure normalisées  $d$**

**Tableau C.3 – Facteur de conversion de l'intensité du champ magnétique  $C_{dA}$  pour trois distances de mesure (Figure C.11)**

| Fréquence<br>MHz | LLAS de 2 m<br>à un champ<br>de 3 m | LLAS de 2 m<br>à un champ<br>de 10 m | LLAS de 2 m<br>à un champ<br>de 30 m | Fréquence<br>(MHz) | LLAS de 2 m<br>à un champ<br>de 3 m | LLAS de 2 m<br>à un champ<br>de 10 m | LLAS de 2 m<br>à un champ<br>de 30 m |
|------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
|                  | dB(1/m)                             | dB(1/m)                              | dB(1/m)                              |                    | dB(1/m)                             | dB(1/m)                              | dB(1/m)                              |
| 0,009            | -19,77                              | -47,18                               | -75,09                               | 7                  | -18,97                              | -42,23                               | -55,72                               |
| 0,01             | -19,77                              | -47,18                               | -75,09                               | 8                  | -18,76                              | -41,45                               | -53,41                               |
| 0,02             | -19,77                              | -47,18                               | -75,09                               | 9                  | -18,56                              | -40,74                               | -51,4                                |
| 0,03             | -19,77                              | -47,18                               | -75,09                               | 10                 | -18,35                              | -40,08                               | -49,63                               |
| 0,04             | -19,77                              | -47,18                               | -75,09                               | 11                 | -18,14                              | -39,24                               | -48,04                               |
| 0,05             | -19,77                              | -47,18                               | -75,08                               | 12                 | -17,93                              | -37,72                               | -46,61                               |
| 0,06             | -19,77                              | -47,18                               | -75,08                               | 13                 | -17,73                              | -36,36                               | -45,31                               |
| 0,07             | -19,77                              | -47,18                               | -75,08                               | 14                 | -17,54                              | -35,11                               | -44,12                               |
| 0,08             | -19,77                              | -47,18                               | -75,08                               | 15                 | -17,35                              | -33,97                               | -43,03                               |
| 0,09             | -19,77                              | -47,18                               | -75,08                               | 16                 | -17,18                              | -32,92                               | -42,02                               |
| 0,1              | -19,77                              | -47,18                               | -75,07                               | 17                 | -17,02                              | -31,95                               | -41,08                               |
| 0,2              | -19,77                              | -47,17                               | -75,02                               | 18                 | -16,87                              | -31,05                               | -40,21                               |
| 0,3              | -19,77                              | -47,16                               | -74,94                               | 19                 | -16,73                              | -30,22                               | -39,40                               |
| 0,4              | -19,77                              | -47,15                               | -74,82                               | 20                 | -16,60                              | -29,44                               | -38,63                               |
| 0,5              | -19,76                              | -47,13                               | -74,68                               | 21                 | -16,48                              | -28,71                               | -37,92                               |
| 0,6              | -19,76                              | -47,11                               | -74,51                               | 22                 | -16,37                              | -28,02                               | -37,25                               |
| 0,7              | -19,76                              | -47,09                               | -74,32                               | 23                 | -16,27                              | -27,37                               | -36,61                               |
| 0,8              | -19,76                              | -47,06                               | -74,11                               | 24                 | -16,18                              | -26,76                               | -36,01                               |
| 0,9              | -19,75                              | -47,02                               | -73,88                               | 25                 | -16,10                              | -26,18                               | -35,43                               |
| 1                | -19,75                              | -46,99                               | -73,64                               | 26                 | -16,03                              | -25,62                               | -34,89                               |
| 2                | -19,69                              | -46,46                               | -70,97                               | 27                 | -15,96                              | -25,10                               | -34,37                               |
| 3                | -19,60                              | -45,70                               | -68,52                               | 28                 | -15,90                              | -24,59                               | -33,87                               |
| 4                | -19,48                              | -44,83                               | -65,70                               | 29                 | -15,52                              | -24,11                               | -33,39                               |
| 5                | -19,33                              | -43,93                               | -61,65                               | 30                 | -15,04                              | -23,64                               | -32,93                               |
| 6                | -19,15                              | -43,06                               | -58,41                               | -                  | -                                   | -                                    | -                                    |

## C.7 Exemples

Les exemples suivants expliquent l'utilisation de l'Équation (C.1), l'Équation (C.2) et l'Équation (C.3), ainsi que de la Figure C.8, la Figure C.10 et la Figure C.11.

- e) Sachant que: fréquence de mesure  $f = 100$  kHz, diamètre de la LLA  $D = 2$  m, courant dans la LLA  $I = X$  dB( $\mu$ A).

Alors l'application de l'Équation (C.1) et de la Figure C.10 donne:

à  $d = 3$  m:  $H = [X/\text{dB}(\mu\text{A}) + C_{3A}/\text{dB}(\text{m}^{-1})] \text{ dB}(\mu\text{A}/\text{m}) = (X - 19,5) \text{ dB}(\mu\text{A}/\text{m})$

à  $d = 3$  m:  $E = [X/\text{dB}(\mu\text{A}) + C_{3V}/\text{dB}(\Omega/\text{m})] \text{ dB}(\mu\text{V}/\text{m}) = [X + (51,5 - 19,5)] \text{ dB}(\mu\text{V}/\text{m})$

- f) Sachant que: fréquence de mesure  $f = 100$  kHz, diamètre de la LLA  $D = 2$  m, courant dans la LLA  $I = X$  dB( $\mu$ A).

Alors l'application de l'Équation (C.2) et de la Figure C.11 (Tableau C.3) donne:

à  $d = 3$  m:  $H [\text{dB}(\mu\text{A}/\text{m})] = X [\text{dB}(\mu\text{A})] + C_{3A} [\text{dB}(\text{m}^{-1})] = (X - 19,77) \text{ dB}(\mu\text{A}/\text{m})$

- g) Sachant que: fréquence de mesure  $f = 100$  kHz, diamètre de la LLA  $D = 4$  m, courant dans la LLA  $I = X$  dB( $\mu$ A).

L'application de l'Équation (C.1) et de la Figure C.10 (Tableau C.2) donne le résultat suivant; le même EUT induit un courant:

$I \text{ [dB(}\mu\text{A)}] = X \text{ [dB(}\mu\text{A)}] - S_4\text{[dB]} = X - (-12,80) = (X + 12,80) \text{ dB(}\mu\text{A)}$   
dans une LLA de diamètre normal  $D = 2 \text{ m}$ .

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of CISPR 16-1-4:2019+AMD1:2020 CSV

## Annexe D (normative)

### Détails de construction des emplacements d'essai en zone dégagée dans la gamme de fréquences de 30 MHz à 1 000 MHz (voir Article 6)

#### D.1 Généralités

Le Paragraphe 6.2 donne les principaux aspects de la construction des emplacements d'essai en espace libre. Des détails supplémentaires, utiles pour assurer une bonne construction du site et de l'enceinte tout temps, sont décrits dans la présente annexe. La meilleure façon de garantir la conformité de ces pratiques de construction est d'effectuer des mesures de validation d'emplacement, comme décrit en 6.4.

#### D.2 Construction du plan de sol

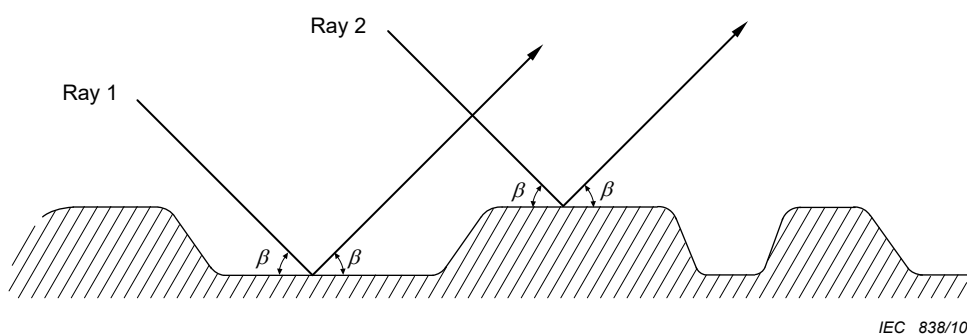
##### D.2.1 Matériau

Le métal est le matériau recommandé pour la construction du plan de sol des emplacements de mesure de champ. Cependant, pour des raisons pratiques, des plans de sol métalliques ne peuvent pas être spécifiés pour les mesures de tous les appareils. Des tôles métalliques pleines, une feuille métallique, un métal perforé, un métal déployé, une toile métallique, un treillis métallique et une grille métallique sont des exemples de matériaux utilisés comme plans de sol métalliques. Il convient que le plan de sol ne présente ni vide ni espace dont les dimensions linéaires représentent une fraction appréciable d'une longueur d'onde à la fréquence de mesure la plus élevée. La taille maximale recommandée des ouvertures des plans de sol de type treillis, métal perforé, grille ou métal déployé est 1/10 de la longueur d'onde à la fréquence de mesure la plus élevée (environ 3 cm à 1 000 MHz). Il convient que les matériaux constitués de tôles, rouleaux ou morceaux individuels soient soudés ou brasés au niveau des raccordements, de préférence en continu, mais en aucun cas avec des espaces d'une longueur supérieure à 1/10 de la longueur d'onde. Les revêtements diélectriques épais tels que le sable, l'asphalte ou le bois au-dessus de plans de sol métalliques peuvent entraîner des caractéristiques d'affaiblissement de l'emplacement inacceptables.

##### D.2.2 Rugosité

Le critère de rugosité de Rayleigh fournit une estimation utile de la valeur quadratique maximale de la rugosité admissible pour le plan de sol (voir Figure D.1). Pour la plupart des emplacements d'essai habituels, en particulier pour les applications à une distance de séparation de 3 m, une rugosité allant jusqu'à 4,5 cm est sans conséquence sur les mesures. Une rugosité encore plus importante est admise pour les emplacements à 10 m et 30 m. La procédure de validation d'emplacement de 6.4 doit être suivie pour déterminer si la rugosité est acceptable. Dans le Tableau D.1, les valeurs de  $b$  sont calculées d'après la formule:

$$b = \frac{\lambda}{8 \sin \beta}$$



| Anglais | Français |
|---------|----------|
| Ray 1   | Rayon 1  |
| Ray 2   | Rayon 2  |

Figure D.1 – Critère de Rayleigh pour la rugosité du plan de sol

Tableau D.1 – Rugosité maximale pour des distances de mesure de 3 m, 10 m et 30 m

| Distance de mesure $d$ | Hauteur de la source, $h_1$ | Hauteur maximale de l'antenne de réception, $h_2$ | Rugosité quadratique moyenne maximale $b$ |                |
|------------------------|-----------------------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------|
|                        |                             |                                                   | En longueurs d'onde                       | A 1 000 MHz cm |
| M                      | m                           | m                                                 |                                           |                |
| 3                      | 1                           | 4                                                 | 0,15                                      | 4,5            |
| 10                     | 1                           | 4                                                 | 0,28                                      | 8,4            |
| 30                     | 2                           | 6                                                 | 0,49                                      | 14,7           |

### D.3 Servitudes de l'EUT

Il convient que l'alimentation électrique ou le câblage d'alimentation de l'EUT passe dans la plus grande longueur possible, sous le plan de sol, et de préférence à angle droit par rapport à l'axe de mesure. Il convient également que tous les fils, câbles, et canalisations arrivant à la table tournante ou au dispositif supportant l'EUT passent sous le plan de sol. Lorsqu'un cheminement enterré n'est pas possible, il convient que les servitudes de l'EUT soient placées au-dessus du plan de sol, mais au même niveau et fixées sur ce dernier.

### D.4 Construction de l'enceinte de protection contre les intempéries

#### D.4.1 Matériaux et attaches

Jusqu'à 1 000 MHz, de minces sections de fibre de verre et de la plupart des autres matières plastiques, de bois spécialement traités et de tissus ne provoquent aucun affaiblissement appréciable des niveaux de perturbation de l'EUT. L'absorption d'humidité par certains matériaux (par exemple le bois et le nylon) peut, cependant, entraîner des pertes de transmission, qui sont particulièrement critiques si les niveaux de perturbation de l'EUT sont mesurés au travers de tels matériaux. Il convient de prendre soin que des particules conductrices déposées par l'air et de l'eau ou de la glace ne s'accumulent pas sur la structure ou dans les matériaux formant la structure. Il convient d'effectuer périodiquement des contrôles pour s'assurer de l'absence d'objets étrangers susceptibles de se déposer sur la structure et d'entraîner des erreurs de mesure.

Il convient d'utiliser un minimum de métal au-dessus du plan de sol. L'utilisation d'attaches en matière plastique ou en tissu est fortement recommandée. Il convient que tous les points d'ancrage, pieux, ou fondations similaires soient suffisamment éloignés de la zone d'essai pour ne pas affecter la mesure.

#### **D.4.1 Montages internes**

Il convient que tous les éléments de structure soient non réfléchissants. Il convient que tous les ventilateurs ou conduits de chauffage, de refroidissement ou de ventilation soient à l'extérieur de la zone d'essai ou à l'extérieur de la structure, à moins qu'ils ne soient faits de matériau non conducteur et qu'ils passent sous un plan de sol métallique ou largement au-dessous d'un plan de sol non métallique. Un contrôle de la température et de l'humidité peut être exigé au fonctionnement de l'appareil. Il convient que toute isolation ou fenêtre soit exempte de contre-plaqué ou encadrement métallique. Il convient également que les garde-fous ou escaliers soient non conducteurs s'ils sont situés au-dessus du plan de sol.

#### **D.4.2 Taille**

La taille d'une enceinte de protection contre les intempéries dépend de la taille de l'EUT et de la nécessité d'englober ou non l'antenne toute entière, ou uniquement la zone située au-dessus de l'EUT, la zone située au-dessus de l'appareil de mesure, ou la zone comprenant le positionneur d'antenne de réception et la plus grande partie de l'antenne de réception lorsqu'on effectue des mesures en polarisation verticale.

#### **D.4.3 Stabilité dans le temps et aux conditions climatiques**

Il est recommandé d'effectuer périodiquement des mesures de validation de l'emplacement afin de détecter toute anomalie provoquée par la dégradation de l'enceinte de protection contre les intempéries du fait des conditions climatiques (par exemple absorption d'humidité), ou de la contamination des matériaux de l'enceinte. Cette mesure vérifie également l'étalonnage du câblage RF et des instruments d'essai. Un intervalle de six mois est en général convenable, à moins que des signes physiques indiquent plus tôt une dégradation des matériaux, c'est-à-dire des variations de couleur des matériaux provoqués par des polluants transportés par l'air.

#### **D.5 Table tournante et table d'essai**

Afin de faciliter la mesure des niveaux de perturbations électromagnétiques sur toutes les faces de l'EUT, il est recommandé d'utiliser une table tournante et une table d'essai pour soutenir l'EUT. La table tournante comprend l'assemblage rotatif, et la table d'essai est utilisée pour le positionnement de l'EUT sur le site d'essai. Les trois configurations de table d'essai et de table tournante suivantes sont prises en compte dans le présent paragraphe.

- a) Pour les tables tournantes avec un assemblage rotatif situé au-dessous du niveau du sol, la surface tournante (dessus) doit être au niveau du plan de sol et y être connectée électriquement. Le dessus tournant supporte la table d'essai elle-même.
  - Pour les équipements de table, la hauteur de la table d'essai doit être de 0,8 m  $\pm$  0,01 m et la table d'essai est placée de telle sorte que son centre dans le plan horizontal se situe au centre de la table tournante, qui constitue l'unité effectuant la rotation. Pour la mesure de validation de l'emplacement, la table d'essai doit être enlevée.
  - Pour les équipements posés au sol, l'EUT doit être isolé de la surface conductrice de la table tournante (qui est au niveau du plan de sol). La hauteur du support isolant doit aller jusqu'à 0,15 m, ou comme exigé par le comité produit. L'utilisation d'un support isolant n'est pas exigée lorsque des roulettes non métalliques sont fournies avec le produit. Pour la mesure de validation de l'emplacement, le support isolant doit être enlevé.
- b) Pour les tables tournantes avec l'assemblage rotatif intégré dans la table d'essai et placé sur la table tournante (qui est au niveau du plan de sol) ou sur le plan de sol sans table



tournante, la table d'essai doit avoir, soit une hauteur de  $0,8\text{ m} \pm 0,01\text{ m}$  pour un équipement de table, soit une hauteur n'excédant pas  $0,15\text{ m}$  pour un équipement posé au sol. Pour la mesure de validation de l'emplacement, la table d'essai doit être enlevée.

- c) Dans une FAR, la hauteur de la table d'essai de l'EUT n'est pas définie et dépend de la performance du matériau absorbant et du volume d'essai de la FAR. Pour les mesures de validation d'emplacement, la table d'essai doit être enlevée.

Il convient qu'un EUT/système incluant une table d'essai en tant que partie intégrante de la configuration en essai utilise la table d'essai fournie avec le système et non la table d'essai générique d'un emplacement d'essai.

## **D.6 Installation du mât de l'antenne de réception**

Il convient de monter l'antenne de réception sur un support non conducteur permettant de la surélever entre  $1\text{ m}$  et  $4\text{ m}$  pour la mesure à des distances inférieures ou égales à  $10\text{ m}$ , et entre  $1\text{ m}$  et  $4\text{ m}$  ou entre  $2\text{ m}$  et  $6\text{ m}$  pour des distances supérieures à  $10\text{ m}$ . Le câble doit être connecté au symétriseur de l'antenne de telle façon que pour les antennes à polarisation horizontale, le câble soit orthogonal à l'axe des éléments de l'antenne à toutes les hauteurs d'antenne, afin de conserver la symétrie par rapport au sol.

Il convient que le câble sortant du symétriseur de l'antenne de réception tombe verticalement jusqu'au plan de sol à environ  $1\text{ m}$ , ou plus, à l'arrière de l'antenne de réception. A partir de ce point, il convient de maintenir le câble sur le plan de sol ou en dessous, de façon à ne pas perturber la mesure. Il convient que le câble entre l'antenne et le récepteur de mesure soit aussi court que possible pour garantir des niveaux de signaux reçus acceptables à  $1\,000\text{ MHz}$ .

Pour les antennes du type doublet à polarisation verticale, il convient que le câble de connexion au récepteur de mesure soit maintenu horizontal, c'est-à-dire parallèle au plan de sol, sur une distance d'environ  $1\text{ m}$ , ou plus, à l'arrière de l'antenne de réception (en s'éloignant de l'EUT) avant de descendre sur le plan de sol. Un bras d'antenne d'environ  $1\text{ m}$  de longueur est suffisant. Le cheminement du reste du câble vers le récepteur de mesures se fait de la même façon que dans le cas de l'antenne à polarisation horizontale.

Dans les deux cas, il convient que le facteur d'antenne ne soit pas affecté par la présence des positionneurs d'antenne et par la disposition du câble coaxial fixé à l'antenne.

**Annexe E**  
(xxx)

**(Vide)**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of CISPR 16-1-4:2019+AMD1:2020 CSV

## Annexe F (informative)

### Fondement du critère des $\pm 4$ dB pour l'acceptabilité d'un emplacement (voir Article 6)

#### F.1 Généralités

La présente annexe décrit le fondement du critère d'acceptabilité des  $\pm 4$  dB pour les mesures d'affaiblissement normalisé de l'emplacement (NSA) et de la méthode de site de référence (RSM), exigées en 6.4.

#### F.2 Analyse des erreurs

L'analyse des erreurs dans le Tableau F.1 s'applique aux méthodes de mesure du NSA données en 6.4. Les erreurs totales estimées sont la base du critère de  $\pm 4$  dB pour l'acceptabilité de l'emplacement, comprenant une incertitude de mesure d'environ 3 dB et 1 dB supplémentaire pour prendre en compte les imperfections de l'emplacement.

Le bilan d'erreur du Tableau F.1 ne comprend pas les incertitudes de stabilité d'amplitude du générateur de signaux, du générateur de poursuite ou de tout amplificateur pouvant être utilisé, et ne comprend pas non plus les erreurs potentielles de la technique de mesure. Le niveau de sortie de la plupart des générateurs de signaux et de poursuite dérive en fonction du temps et de la température, et le gain d'un grand nombre d'amplificateurs dérive lorsque la température varie. Il est impératif que ces sources d'erreurs soient maintenues à un niveau négligeable, ou soient corrigées lors des mesures, faute de quoi l'emplacement peut ne pas satisfaire aux critères d'acceptabilité uniquement pour des raisons liées aux instruments.

**Tableau F.1 – Bilan d'erreur**

| Composante d'erreur                                                                                     | Méthode de mesure                |                                   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
|                                                                                                         | Méthode de la fréquence discrète | Méthode par balayage de fréquence |
|                                                                                                         | dB                               | dB                                |
| Facteur d'antenne (Tx) <sup>a</sup>                                                                     | $\pm 1$                          | $\pm 1$                           |
| Facteur d'antenne (Rx) <sup>a</sup>                                                                     | $\pm 1$                          | $\pm 1$                           |
| Voltmètre                                                                                               | 0                                | $\pm 1,6^b$                       |
| Atténuateur                                                                                             | $\pm 1$                          | 0                                 |
| Imperfections de l'emplacement                                                                          | $\pm 1$                          | $\pm 1$                           |
| Totaux                                                                                                  | $\pm 4$                          | $\pm 4,6$                         |
| <sup>a</sup> Aux fréquences supérieures à 800 MHz, les erreurs de $F_a$ peuvent approcher $\pm 1,5$ dB. |                                  |                                   |
| <sup>b</sup> Extrait du manuel d'utilisation.                                                           |                                  |                                   |

En prenant comme exemple les instructions d'utilisation de certains analyseurs de spectre automatiques, si tout est fait pour éliminer ou compenser autant que possible chacune des erreurs potentielles, les erreurs d'amplitude résiduelles sont:

- 1)  $\pm 0,2$  dB d'incertitude de l'étalonnage,
- 2)  $\pm 1,0$  dB de platitude de la réponse en fréquence,
- 3)  $\pm 1,0$  dB pour la commutation de l'atténuateur d'entrée,

4)  $\pm 0,4$  dB d'incertitude sur le gain RF et en fréquence intermédiaire.

Cela donne une erreur potentielle totale de  $\pm 2,6$  dB, qui ne comprend pas la dérive en température de  $\pm 0,05$  dB/K. Dans la pratique, lorsqu'on effectue des mesures du type par substitution, les erreurs associées à la platitude de la réponse en fréquence et à la commutation de l'atténuateur d'entrée sont en général 1 dB plus faibles, de sorte que la bande d'erreur totale de l'analyseur de spectre, utilisé en voltmètre à deux bornes, est de  $\pm 1,6$  dB ou meilleure, valeur utilisée au Tableau F.1.

Un grand nombre d'atténuateurs ont une précision absolue très inférieure, mais certains sont meilleurs. Le bilan d'erreur total peut donc être augmenté ou diminué pour les mesures discrètes. Si un atténuateur externe est utilisé avec un analyseur de spectre automatique dans les mesures par balayage de fréquence, ce bilan d'erreur est également augmenté.

Ces bilans d'erreur ne tiennent pas compte des erreurs de dérive dans le temps et en température du gain, du niveau de sortie, ou de la réponse en amplitude des appareils d'essai. De telles erreurs peuvent exister et des précautions doivent être prises pour les éviter en effectuant les mesures le plus rapidement possible.

Dans la pratique, les erreurs prises en compte dans la discussion précédente sont rarement toutes dans le même sens. Un emplacement bien construit et bien situé peut satisfaire au critère des  $\pm 4$  dB tout en présentant une variation d'anomalie de l'emplacement supérieure à  $\pm 1$  dB par rapport à la situation idéale.

## Annexe G (informative)

### Exemples de bilans d'incertitude pour la validation d'emplacement d'un COMTS à l'aide de la RSM avec une paire d'antennes étalonnées (voir 6.6)

#### G.1 Grandeurs à étudier pour l'étalonnage de l'affaiblissement de site de référence avec une paire d'antennes à l'aide de la technique de moyennage

Le mesurande  $A_{APR}$  est calculé selon l'Equation (G.1) et un exemple de budget d'incertitude est indiqué dans le Tableau G.1.

$$A_{APR} = V_{DIRECT} - V_{SITE} + \delta V_{M1} + \delta V_{M2} + \delta V_{M3} + \delta V_{SDAPR} + \delta V_{NL} + \delta V_{NF} + \delta V_{SRTX} + \delta V_{SRRX} + \delta V_{AM} \quad (G.1)$$

**Tableau G.1 – Etalonnage de l'affaiblissement de site de référence avec une paire d'antennes à l'aide de la technique de moyennage sur un OATS de grandes dimensions**

| Grandeur d'entrée $X_i$                             | Incertaince sur $x_i$ |                                         | $u(x_i)$ | $c_i$ | $c_i u(x_i)$ |
|-----------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------------|----------|-------|--------------|
|                                                     | dB                    | Fonction de distribution de probabilité | dB       |       | dB           |
| Valeur du récepteur $V_{DIRECT}$                    | $\pm 0,5$             | Rectangulaire                           | 0,29     | 1     | 0,29         |
| Valeur du récepteur $V_{SITE}$                      | $\pm 0,5$             | Rectangulaire                           | 0,29     | 1     | 0,29         |
| Désadaptation:                                      |                       |                                         |          |       |              |
| générateur-récepteur $\delta V_{M1}$                | $\pm 0,1$             | En forme de U                           | 0,07     | 1     | 0,07         |
| générateur-antenne $\delta V_{M2}$                  | $\pm 0,2$             | En forme de U                           | 0,14     | 1     | 0,14         |
| antenne-récepteur $\delta V_{M2}$                   | $\pm 0,2$             | En forme de U                           | 0,14     | 1     | 0,14         |
| Ecart type de l' $A_{APR}$ moyen $\delta V_{SDAPR}$ | $\pm 0,6$             | Normale ( $k = 1$ )                     | 0,6      | 1     | 0,6          |
| Corrections du récepteur:                           |                       |                                         |          |       |              |
| Non linéarité $\delta V_{NL}$                       | $\pm 0,1$             | Normale ( $k = 2$ )                     | 0,05     | 1     | 0,05         |
| Proximité du bruit fond $\delta V_{NF}$             | $\pm 0,0$             | Normale ( $k = 2$ )                     | 0        | 1     | 0            |
| Rayonnement secondaire du câble d'antenne:          |                       |                                         |          |       |              |
| Antenne d'émission $\delta V_{SRTX}$                | $\pm 0,3$             | Rectangulaire                           | 0,17     | 1     | 0,17         |
| Antenne de réception $\delta V_{SRRX}$              | $\pm 0,3$             | Rectangulaire                           | 0,17     | 1     | 0,17         |
| Mât d'antenne $\delta V_{AM}$                       | $\pm 0,15$            | Rectangulaire                           | 0,09     | 1     | 0,09         |

L'incertitude étendue est:  $U = 2 u_c(A_{APR}) = 1,37$  dB.

## G.2 Grandeurs à étudier pour l'étalonnage de l'affaiblissement de site de référence avec une paire d'antennes à l'aide d'un REFTS

Le mesurande  $A_{APR}$  est calculé selon l'Equation (G.2) et un exemple de budget d'incertitude est indiqué dans le Tableau G.2.

$$A_{APR} = V_{DIRECT} - V_{SITE} + \delta V_{M1} + \delta V_{M2} + \delta V_{M3} + \delta V_{REFTS} + \delta V_{NL} + \delta V_{NF} + \delta V_{SRTX} + \delta V_{SRRX} + \delta V_{AM} \quad (G.2)$$

**Tableau G.2 – Etalonnage de l'affaiblissement de site de référence avec une paire d'antennes à l'aide du REFTS**

| Grandeur d'entrée $X_i$                    | Incertainitude sur $x_i$ |                                         | $u(x_i)$ | $c_i$ | $c_i u(x_i)$ |
|--------------------------------------------|--------------------------|-----------------------------------------|----------|-------|--------------|
|                                            | dB                       | Fonction de distribution de probabilité | dB       |       | dB           |
| Valeur du récepteur $V_{DIRECT}$           | $\pm 0,5$                | Rectangulaire                           | 0,29     | 1     | 0,29         |
| Valeur du récepteur $V_{SITE}$             | $\pm 0,5$                | Rectangulaire                           | 0,29     | 1     | 0,29         |
| Désadaptation:                             |                          |                                         |          |       |              |
| générateur-récepteur $\delta V_{M1}$       | $\pm 0,1$                | En forme de U                           | 0,07     | 1     | 0,07         |
| générateur-antenne $\delta V_{M2}$         | $\pm 0,2$                | En forme de U                           | 0,14     | 1     | 0,14         |
| antenne-récepteur $\delta V_{M2}$          | $\pm 0,2$                | En forme de U                           | 0,14     | 1     | 0,14         |
| Influence du REFTS $\delta V_{REFTS}$      | $\pm 1,0$                | Rectangulaire                           | 0,58     | 1     | 0,58         |
| Corrections du récepteur:                  |                          |                                         |          |       |              |
| Non linéarité $\delta V_{NL}$              | $\pm 0,1$                | Normale ( $k = 2$ )                     | 0,05     | 1     | 0,05         |
| Proximité du bruit fond $\delta V_{NF}$    | $\pm 0,0$                | Normale ( $k = 2$ )                     | 0        | 1     | 0            |
| Rayonnement secondaire du câble d'antenne: |                          |                                         |          |       |              |
| Antenne d'émission $\delta V_{SRTX}$       | $\pm 0,3$                | Rectangulaire                           | 0,17     | 1     | 0,17         |
| Antenne de réception $\delta V_{SRRX}$     | $\pm 0,3$                | Rectangulaire                           | 0,17     | 1     | 0,17         |
| Mât d'antenne $\delta V_{AM}$              | $\pm 0,15$               | Rectangulaire                           | 0,09     | 1     | 0,09         |

L'incertitude étendue est:  $U = 2 u_c(A_{APR}) = 1,34$  dB.

### G.3 Grandeurs à étudier pour la validation du COMTS à l'aide de l'affaiblissement de site de référence avec une paire d'antennes

Le mesurande  $\Delta A_s$  est calculé selon l'Equation (G.3) et un exemple de budget d'incertitude est indiqué dans le Tableau G.3.

$$\Delta A_s = V_{\text{DIRECT}} - V_{\text{SITE}} - A_{\text{APR}} + \delta V_{M1} + \delta V_{M2} + \delta V_{M3} + \delta V_{NL} + \delta V_{NF} + \delta V_{\text{SRTX}} + \delta V_{\text{SRRX}} \quad (\text{G.3})$$

**Tableau G.3 – Validation du COMTS à l'aide de l'affaiblissement de site de référence avec une paire d'antennes**

| Grandeur d'entrée $X_i$                                    | Incrtitude sur $x_i$ |                                         | $u(x_i)$ | $c_i$ | $c_i u(x_i)$ |
|------------------------------------------------------------|----------------------|-----------------------------------------|----------|-------|--------------|
|                                                            | dB                   | Fonction de distribution de probabilité | dB       |       | dB           |
| Valeur du récepteur $V_{\text{DIRECT}}$                    | $\pm 0,5$            | Rectangulaire                           | 0,29     | 1     | 0,29         |
| Valeur du récepteur $V_{\text{SITE}}$                      | $\pm 0,5$            | Rectangulaire                           | 0,29     | 1     | 0,29         |
| SA de référence avec une paire d'antennes $A_{\text{APR}}$ | $\pm 1,4$            | Normale<br>( $k = 2$ )                  | 0,7      | 1     | 0,7          |
| Désadaptation:                                             |                      |                                         |          |       |              |
| générateur-récepteur $\delta V_{M1}$                       | $\pm 0,1$            | En forme de U                           | 0,07     | 1     | 0,07         |
| générateur-antenne $\delta V_{M2}$                         | $\pm 0,2$            | En forme de U                           | 0,14     | 1     | 0,14         |
| antenne-récepteur $\delta V_{M2}$                          | $\pm 0,2$            | En forme de U                           | 0,14     | 1     | 0,14         |
| Corrections du récepteur:                                  |                      |                                         |          |       |              |
| Non linéarité $\delta V_{NL}$                              | $\pm 0,1$            | Normale<br>( $k = 2$ )                  | 0,05     | 1     | 0,05         |
| Proximité du bruit fond $\delta V_{NF}$                    | $\pm 0,0$            | Normale<br>( $k = 2$ )                  | 0        | 1     | 0            |
| Rayonnement secondaire du câble d'antenne:                 |                      |                                         |          |       |              |
| Antenne d'émission $\delta V_{\text{SRTX}}$                | $\pm 0,3$            | Rectangulaire                           | 0,17     | 1     | 0,17         |
| Antenne de réception $\delta V_{\text{SRRX}}$              | $\pm 0,3$            | Rectangulaire                           | 0,17     | 1     | 0,17         |

L'incertitude étendue est:  $U = 2 u_c(\Delta A_s) = 1,54$  dB.

## Annexe H (informative)

### Définition de l'incertitude de mesure de la réponse de polarisation croisée

#### H.1 Généralités

Le paragraphe 4.5.5 du présent document décrit la méthode de mesure de la réponse de polarisation croisée (XPR – *cross-polar response*) pour des antennes présentant une conception de type LPDA. La présente annexe définit et décrit les sources d'incertitude liées à ce mesurage et fournit des exemples d'estimation de l'incertitude.

Les estimations d'incertitude fournies dans la présente annexe sont déterminées sur la base d'une antenne LPDA (ou hybride) placée dans une FAR, dont les composants sont orientés le long de l'axe vertical (c'est-à-dire en PV), pour des fréquences supérieures à 100 MHz. Une FAR est réputée offrir les conditions les plus appropriées pour ce mesurage. Toutefois, l'analyse de l'incertitude peut être adaptée à d'autres installations, telles qu'un OATS ou une SAC. L'estimation de l'incertitude s'applique lors de l'utilisation d'une antenne doublet (de moins de 1 GHz) ou d'une antenne cornet à polarisation linéaire (de plus de 1 GHz) comme antenne de réception (antenne Rx, désignée par "R"). Pour de meilleurs résultats, il convient de balayer la fréquence de 30 % à 150 % de la fréquence accordée du doublet. L'analyse utilise des termes de rapport linéaire, car l'incertitude finale est toujours asymétrique pour de faibles signaux en polarisation croisée -.

L'AUT (antenne d'émission, désignée par "T") génère un champ primaire (à polarisation verticale) ( $E_x$ ) et un champ secondaire en polarisation croisée (à polarisation horizontale) ( $E_y$ ).  $E_{ISO}$  représente ici l'intensité de champ qui est générée par une source à polarisation linéaire parfaite avec le gain unitaire d'une antenne isotrope conformément à l'Équation (H.1) et l'Équation (H.2).

$$E_x = \sqrt{G_T} \times \sqrt{\frac{\eta_0 P_T}{4\pi d^2}} = \sqrt{G_T} \times E_{ISO} \quad (H.1)$$

$$E_y = \frac{\sqrt{G_T}}{A_{xpT}} \times E_{ISO} \quad (H.2)$$

où

$G_T$  est le gain de l'antenne d'émission (AUT);

$\eta_0$  est l'impédance d'espace libre;

$P_T$  est la puissance d'émission;

$d$  est la distance entre les antennes.

NOTE 1 Le mesurage de la XPR en 4.5.5 décrit de façon arbitraire l'AUT en tant qu'antenne Rx en PV. Pour des antennes passives, l'utilisation de l'AUT en tant qu'antenne Tx ne modifie pas les principes de l'analyse de l'incertitude. Les termes "copolarisation" et "polarisation croisée" référencés dans la présente annexe se rapportent à une PV et à une PH respectivement. L'AUT peut également être utilisée en PH, auquel cas les termes "copolarisation" et "polarisation croisée" font référence à une PH et à une PV. La PV se rapporte ici à l'axe x de la chambre (par exemple, FAR) et la PH à l'axe y de la chambre.

En théorie,  $E_x$  et  $E_y$  sont déterminés uniquement par les propriétés de l'AUT. Cependant, les imperfections de l'antenne de réception et de l'emplacement d'essai (par exemple, FAR) créent des sources d'incertitude. La XPR ( $A_{xp}$ ) de chaque antenne est définie par le rapport d'intensité du champ associé (voir l'Équation (H.3) pour l'antenne d'émission AUT):



$$A_{xpT} = \frac{E_x}{E_y} \quad (H.3)$$

$$\Phi_{aCx} = A_{xpR} \times \Phi_{aCo} \quad (H.4)$$

où  $\Phi_{aCo}$  et  $\Phi_{aCx}$  de l'Équation (H.4) sont des facteurs d'antenne linéaires ( $F_{aCo} = 20\lg\Phi_{aCo}$  et  $F_{aCx} = 20\lg\Phi_{aCx}$  sont les facteurs d'antenne (en dB) de l'antenne de réception non théorique ( $A_{xpR}$  renvoie au facteur d'antenne de réception étalonnée et représente également un rapport linéaire).

NOTE 2 En prenant pour hypothèse qu'il n'existe qu'une seule composante d'intensité de champ  $E_x$ , la tension de sortie de l'antenne de réception copolarisée est alors constituée des deux composantes  $V_{Co} = E_x/\Phi_{aCo}$  et  $V_{Cx} = E_x/\Phi_{aCx}$ .

Une matrice d'erreur est définie pour la chambre anéchoïque pour établir le lien entre les intensités réelles du champ électrique et l'intensité théorique du champ de l'AUT. Les termes de la matrice sont décrits sous la forme d'erreurs qui, en principe, correspondent à des valeurs déterministes liées aux ondes stationnaires et à la diffusion en polarisation croisée dans la chambre à chaque fréquence. Cette analyse traite ces termes comme des éléments contribuant à une incertitude statistique d'antenne à large bande, car les mesurages des termes de cette matrice présentent des incertitudes. Ces mêmes termes dépendent à la fois de la fréquence et de l'emplacement à l'intérieur de la chambre.

$$\begin{bmatrix} E_x \\ E_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1+\delta_{xx} & \delta_{xy} \\ \delta_{yx} & 1+\delta_{yy} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1/A_{xpT} \end{bmatrix} \times \sqrt{G_T} \times E_{ISO} \quad (H.5)$$

Les termes d'erreur de la chambre décrivent les réflexions, ajoutant une incertitude soit dans la même polarisation que les intensités d'origine du champ de l'AUT (c'est-à-dire  $\delta_{xx}$  et  $\delta_{yy}$ ), soit dans l'autre polarisation (c'est-à-dire  $\delta_{xy}$  et  $\delta_{yx}$ ). Cette analyse considère les composantes du champ de telle sorte que même une source de champ électrique à polarisation linéaire pure génère une petite composante le long de l'axe de polarisation croisée.

Les termes d'erreur de la chambre sont:

$\delta_{xx}$  pour les réflexions murales en VP résultant de l'intensité réelle du champ en copolarisation, qui contribuent à  $E_x$ ;

$\delta_{xy}$  pour les réflexions murales en VP résultant de l'intensité réelle du champ en polarisation croisée, qui contribuent à  $E_x$ ;

$\delta_{yy}$  pour les réflexions murales en HP résultant de l'intensité réelle du champ en polarisation croisée, qui contribuent à  $E_y$ ;

$\delta_{yx}$  pour les réflexions murales en HP résultant de l'intensité réelle du champ en copolarisation, qui contribuent à  $E_x$ ;

L'Équation (H.6) et l'Équation (H.7) définissent l'intensité réelle de champ produite à la position de l'antenne Rx. Cette intensité de champ est mesurée dans deux polarisations par rotation de l'antenne Rx. L'intensité de champ de l'AUT est dérivée de l'expression de l'intensité du champ électrique de l'Équation (H.5):

$$E_x \approx \sqrt{G_T} \times E_{ISO}(1 + \delta_{xx}) \quad (H.6)$$

$$E_y = \sqrt{G_T} \times E_{ISO} \left( \delta_{yx} + \frac{1 + \delta_{yy}}{A_{xpT}} \right) \quad (H.7)$$

Dans l'Équation (H.6), le terme de second ordre ( $\delta_{xy} \times \sqrt{G_T} \times E_{ISO} / A_{xpT}$ ) est ignoré, car il est négligeable. La tension  $V_{Co}$  correspond à la tension de sortie de l'antenne de réception lorsqu'elle est copolarisée. De la même manière, la tension  $V_{Cx}$  représente la tension de sortie de l'antenne de réception lors de sa rotation pour passer d'une position de copolarisation à une position de polarisation croisée (PV à PH). L'Équation (H.6) et l'Équation (H.7) indiquent clairement que la XPR mesurée dépend de l'amplitude des termes de polarisation croisée, selon l'Équation (H.8).

$$\begin{bmatrix} V_{Co} \\ V_{Cx} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/\Phi_{aCo} & 1/\Phi_{aCx} \\ 1/\Phi_{aCx} & 1/\Phi_{aCo} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_x \\ E_y \end{bmatrix} = \frac{1}{\Phi_{aCo}} \begin{bmatrix} 1 & 1/A_{xpR} \\ 1/A_{xpR} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_x \\ E_y \end{bmatrix} \quad (H.8)$$

La tension reçue est calculée, en prenant pour hypothèse que les termes d'erreur de la chambre ne sont pas corrélés, et les termes de second ordre sont supprimés si la valeur type du diviseur est élevée [c'est-à-dire que  $A_{xpR}$  est  $> 20$  (sans dimension)], selon l'Équation (H.9) et l'Équation (H.10):

$$V_{Co} \approx \frac{E_x}{\Phi_{aCo}} = \frac{\sqrt{G_T} \times E_{ISO}}{\Phi_{aCo}} (1 + \delta_{xx}) \quad (H.9)$$

$$V_{Cx} = \frac{\sqrt{G_T} \times E_{ISO}}{A_{xpT} \times \Phi_{aCo}} \times \left( 1 \pm \delta_{yy} \pm [A_{xpT} \times \delta_{yx}] + \left[ \frac{A_{xpT}}{A_{xpR}} \right] \times (1 \pm \delta_{xx}) \right) \quad (H.10)$$

Les termes de delta de la chambre ( $\delta_{xx}$  etc.) apparaissent sous forme d'oscillations dépendant de la fréquence (fréquence d'environ 0 dB). Sur une large plage de fréquences, ils peuvent, pour cette analyse, être considérés comme des contributions aléatoires avec une PDF symétrique. Le terme  $A_{xpT}/A_{xpR}$ , est associé à une augmentation de la valeur mesurée  $V_{Cx}$  en raison de la désadaptation de polarisation entre l'antenne d'émission et l'antenne de réception. Ce terme a une PDF asymétrique. Toutefois, à des fins d'essais aux limites, la partie appropriée de la PDF est finie, le signe indiquant l'augmentation la plus défavorable effective de la valeur  $V_{Cx}$ . Cette disposition réduit le rapport mesuré  $A_{xpT}$ , avec représentation, pour des raisons de simplicité, sous forme de terme systématique dans le bilan d'incertitude.

La XPR, y compris son incertitude, est ensuite calculée en utilisant les tensions obtenues dans l'Équation (H.9) et l'Équation (H.10), selon l'Équation (H.11) et l'Équation (H.12).

$$A_{xpT \text{ meas}} = \frac{V_{Co}}{V_{Cx}} \quad (\text{H.11})$$

$$a_{xpT \text{ meas}} = 20 \lg \left( \frac{V_{Co}}{V_{Cx}} \right) \text{ en dB} \quad (\text{H.12})$$

La justification H5) en H.3 comporte des remarques concernant les termes de l'Équation (H.9) et de l'Équation (H.10), ainsi que la matrice d'erreur de la chambre.

## H.2 Exemple d'estimation de l'incertitude

L'exemple présenté dans le Tableau H.1 consiste à mesurer une XPR réelle de 22 dB (rapport linéaire de 12,6), avec une antenne doublet présentant une XPR similaire à celle d'une antenne cornet à double strie. Puisque le mesurage de la XPR dépend des performances de la chambre, il est essentiel de calculer la moyenne de plusieurs mesurages à différents emplacements, en particulier dans une chambre qui présente de faibles performances. Cet exemple définit par hypothèse trois mesurages. Aussi, pour une contribution de Type A, l'incertitude de la valeur moyenne est obtenue par l'écart type divisé par  $\sqrt{3}$ .

Les termes de réflexion de la chambre sont associés aux termes d'erreur de l'Équation (H.9) et de l'Équation (H.10). Les valeurs définies par hypothèse pour l'incertitude de la chambre et de l'antenne de réception sont données dans le Tableau H.1, avec un facteur supplémentaire de 0,5 appliqué au terme de polarisation croisée (la valeur de 0,5 est une estimation soumise à réduction après analyse plus complète). L'incertitude provenant des erreurs de la chambre peut être estimée à partir des mesurages d'évaluation de la chambre.

**Tableau H.1 – Exemple d'estimation de l'incertitude pour le mesurage de la XPR dans une FAR avec des valeurs  $a_{xpT} = 22$  dB,  $a_{xpR} = 34$  dB définies par hypothèse**

| Grandeur d'entrée <sup>a</sup><br>$X_i$                             | Incertaince de $X_i$ |          |                     | $u(x_i)$ | Sensibilité<br>$c_i$   | $c_i u(x_i)$   |
|---------------------------------------------------------------------|----------------------|----------|---------------------|----------|------------------------|----------------|
|                                                                     | dB                   | linéaire | PDF                 | linéaire | Moyenne de 3 mesurages | pour $A_{xpT}$ |
| Indication du VNA, copolarisation <sup>H1)</sup>                    | 0,08                 | 0,009 3  | normal, $k = 1$     | 0,009 3  | 0,577                  | 0,005 3        |
| Indication du VNA, polarisation croisée non linéaire <sup>H1)</sup> | 0,08                 | 0,009 3  | normal, $k = 1$     | 0,009 3  | 0,577                  | 0,005 3        |
| Désalignement de l'antenne ( $2^\circ$ ) <sup>H2)</sup>             |                      | 0,035 0  | rectangulaire       | 0,020 2  | 0,577                  | 0,011 7        |
| Incertaince de distance (1 cm) <sup>H3)</sup>                       |                      | 0,005 0  | rectangulaire       | 0,002 9  | 0,577                  | 0,001 7        |
| Dépolarisation de l'AUT due à l'environnement <sup>H4)</sup>        | 0,1                  | 0,011 6  | rectangulaire       | 0,006 7  | 1                      | 0,006 7        |
| Dépolarisation de l'antenne Rx due à l'environnement <sup>H4)</sup> | 0,1                  | 0,011 6  | rectangulaire       | 0,006 7  | 1                      | 0,006 7        |
| Réflexion de la chambre, $\delta_{xx} = 0,056$ <sup>H5)</sup>       |                      | 0,056 0  | triangulaire        | 0,022 9  | 0,577                  | 0,013 2        |
| $A_{xpT}/A_{xpR}$ <sup>H5)</sup>                                    |                      | 0,251 5  | rectangulaire       | 0,145 2  | 1                      | 0,145 2        |
| $\delta_{yy}$                                                       |                      | 0,056 0  | triangulaire        | 0,022 9  | 0,577                  | 0,013 2        |
| $(A_{xpT}/A_{xpR}) \times \delta_{xx}$                              |                      | 0,014 1  | triangulaire        | 0,005 7  | 0,577                  | 0,003 3        |
| $A_{xpT} \times \delta_{yx}$ (avec un facteur de 0,5)               |                      | 0,352 8  | triangulaire        | 0,144 0  | 0,577                  | 0,083 2        |
| Incertaince type composée $u_c$                                     |                      |          |                     |          | $k = 1$                | 0,169 2        |
| Incertaince élargie $ku_c$ <sup>H6)</sup>                           |                      |          |                     |          | $k = 1,64$             | 0,277 6        |
| Incertaince élargie en dB                                           |                      |          | $20\lg(1/[1+ku_c])$ |          | $k = 1,64$             | -2,13          |

<sup>a</sup> Les notes de pied de page, par exemple <sup>H1)</sup>, renvoient aux informations détaillées de la justification énumérées en H.3.

### H.3 Justification des estimations des grandeurs d'entrée données dans le Tableau H.1 et le Tableau H.3

- H1) Par hypothèse, l'incertaince d'indication d'un VNA est de 0,08 dB, sur la base des essais de répétabilité de Type A. Cette valeur reflète également l'incertaince due à la non-linéarité du VNA, qui affecte la différence entre les deux indications.
- H2) Si  $\theta$  est l'angle de désalignement, alors  $\delta E \propto \sin \theta \approx \theta \times (\pi/180)$ , où  $\theta$  est mesuré en degrés.
- H3)  $\delta E \propto \delta d/d$  évalué pour  $\delta d$  = incertaince de 1 cm sur la plage  $d = 200$  cm, avec rotation de l'AUT.
- H4) La proximité des parois de la chambre peut influencer la pureté de polarisation de l'AUT et de l'antenne Rx. Le terme "dépolarisation" désigne une variation (partielle) de polarisation, par exemple, par des effets de réflexion ou phénomènes similaires.
- H5) Les termes de delta dans la matrice d'erreur de la chambre peuvent être égaux dans les conditions les plus défavorables, ce qui implique que la distribution de l'incertaince de l'intensité du champ électrique est égale dans les deux polarisations, même si la source est à polarisation linéaire. Comme il est peu probable que ceci se vérifie pour une chambre plus performante équipée de bons absorbants, les termes  $\delta_{yx}$  et  $\delta_{xy}$  peuvent être réduits (une valeur de moitié est définie par hypothèse). Dans l'estimation de l'incertaince, un facteur PDF de  $\sqrt{6}$  (triangulaire) est défini par hypothèse pour les incertitudes de la chambre sur la base d'une estimation initiale selon laquelle les réflexions de la chambre sont plus susceptibles d'être quasiment nulles (voir le texte suivant l'Équation (H.9) et l'Équation (H.10) en H.1).

Les termes d'erreur dans l'Équation (H.9) et l'Équation (H.10) indiquent la corrélation entre les intensités réelles du champ électrique et la XPR mesurée. Dans le Tableau H.1 et le Tableau H.3, il est intéressant de comprendre à quoi se rapportent les termes dominants. Le terme  $A_{xpT}/A_{xpR}$  se rapporte à la limite fondamentale du mesurage, c'est-à-dire à la XPR de l'antenne de réception, sous la forme d'un rapport du niveau XPR mesuré. Par ailleurs, le calcul de la moyenne de plusieurs mesurages n'améliore pas le résultat parce qu'il s'agit d'une incertitude systématique. Le terme  $A_{xpT} \times \delta_{yx}$  se rapporte à l'erreur de polarisation croisée de la chambre, qui fait apparaître un champ à copolarisation comme étant à polarisation- croisée. Dans une chambre de bonne qualité, ce terme est réputé correspondre à la moitié de l'erreur de copolarisation et il est probable que cette valeur soit encore moindre dans le cas d'antennes directives.

Jusqu'ici, toutes les données de performances de la chambre dans cette estimation de l'incertitude reposent sur des hypothèses. Aucune méthode d'essai spécifique ou de validation sur site n'a encore été développée. Les erreurs directes  $\delta_{xx}$  et  $\delta_{yy}$  peuvent être dérivées du NSA ou des résultats de mesure de  $S_{VSWR}$ . Les termes de polarisation croisée  $\delta_{yx}$  et  $\delta_{xy}$  peuvent alors être estimés. La présente annexe peut être révisée après une plus grande expérience. Noter l'importance d'utiliser au moins trois moyennes prises à différents emplacements de la FAR, ce qui réduit les termes de Type A et permet de considérer les réflexions de la chambre plus comme des composantes aléatoires, appliquées à chaque point de données, que comme des composantes systématiques associées à des emplacements précis. Un OATS est soumis à un seul mesurage. En règle générale, un OATS est réputé meilleur qu'une FAR avec un bon matériau absorbant et une FAR de grandes dimensions est réputée meilleure qu'une FAR de petites dimensions.

- H6) Étant donné que l'exigence spécifiée en 4.5.5 est  $A_{xp} > 20$  dB, il est possible de démontrer que celle-ci est satisfaite avec un niveau de confiance de 95 % si la condition  $A_{xpT \text{ meas}} / (1 + 1,64 u_c) > 10$  (ou 20 dB) s'applique. Le facteur d'élargissement  $k = 1,64$  (plutôt que  $k = 2$ ) s'applique pour une distribution de probabilité unilatérale (la valeur  $k = 2$  est une approximation largement acceptée pour la valeur bilatérale exacte  $k = 1,96$ ).

NOTE Le rapport mesuré de l'Équation (H.11) indique que le résultat est plus sensible à l'incertitude au niveau du dénominateur, qui représente une tension plus faible. Lorsque la valeur  $V_{Cx}$  est réduite par l'incertitude de mesure, le rapport final est alors très élevé, ce qui n'est toutefois pas important. Dans le cas des essais aux limites par rapport à une exigence concernant une valeur minimale  $A_{xpT}$ , l'incertitude positive la plus grande de la valeur  $V_{Cx}$  est utilisée de manière à réduire le rapport final. Ainsi, l'incertitude la plus défavorable, en tant que calcul approché raisonnable, s'établit à  $(1/[1+k u_c])$ , cette valeur variant avec différentes valeurs de  $A_{xpT \text{ meas}}$ . Une valeur  $A_{xpT \text{ meas}}$  de 12,6 a été prise pour hypothèse dans le Tableau H.1, donnant  $A_{xpT95\%} = 12,6 / (1 + 0,277 \cdot 6) = 9,86$ , ce qui équivaut à (22 dB – 2,13 dB).

L'analyse démontre que le facteur le plus influent est la relation  $A_{xpT}/A_{xpR}$ , et qu'il est préférable d'utiliser une bonne chambre pour un mesurage exact de la XPR. Le Tableau H.2 donne un exemple de l'évolution de l'incertitude en fonction de la valeur XPR de l'AUT, pour des propriétés d'antennes de réception fixes. En utilisant les valeurs données dans l'exemple pratique, il en résulte qu'une XPR mesurée de 22 dB indique une probabilité de 95 % que la valeur vraie soit supérieure à 19,87.

Pour une meilleure antenne de réception ( $a_{xpR} = 40$  dB) et une chambre optimisée ( $\delta_{xx} = \delta_{yy} = 0,028$  et  $\delta_{yx} = 0,014$ ), la valeur limite efficace est améliorée. L'amélioration de l'incertitude est de  $20 \lg(1/[1+1,64 u_c]) = -1,16$  dB, auquel cas une valeur XPR mesurée de 22 dB indique une probabilité de 95 % que la valeur vraie soit supérieure à 20,84 dB.

**Tableau H.2 – Incertitudes dépendant des autres valeurs de  $A_{xpT}$  (autres hypothèses que celles retenues dans le Tableau H.1)**

| $a_{xpT}/\text{dB}$ | $A_{xpT}$ | $20\lg(1/[1+1,64u_c])/dB$ |
|---------------------|-----------|---------------------------|
| 10                  | 3,2       | -0,68                     |
| 13                  | 4,5       | -0,88                     |
| 16                  | 6,3       | -1,16                     |
| 18                  | 7,9       | -1,42                     |
| 20                  | 10,0      | -1,74                     |
| 22                  | 12,6      | -2,13                     |
| 24                  | 15,8      | -2,59                     |

#### H.4 Mesurage de la XPR en dessous de 100 MHz sur un OATS

Lorsque des chambres anéchoïques présentent de faibles performances en dessous de 100 MHz, la XPR peut être mesurée sur un OATS où les antennes sont placées à une hauteur importante au-dessus du plan de masse. Dans ce cas, les termes d'erreur  $\delta_{yx}$  et  $\delta_{xy}$  sont réputés négligeables. Le Tableau H.3 démontre cette hypothèse pour un mesurage à une hauteur de 6 m et à une distance de 3 m (exemple).

**Tableau H.3 – Exemple d'estimation de l'incertitude pour un mesurage de la XPR sur un OATS avec des valeurs  $a_{xpT} = 22 \text{ dB}$ ,  $a_{xpR} = 34 \text{ dB}$  définies par hypothèse**

| Grandeur d'entrée <sup>a</sup><br>$X_i$                               | Incertitude de $X_i$ |                   |                     | $u(x_i)$ | Sensibilité<br>$c_i$ | $c_i u(x_i)$   |
|-----------------------------------------------------------------------|----------------------|-------------------|---------------------|----------|----------------------|----------------|
|                                                                       | dB                   | $\delta$ linéaire | PDF                 | linéaire | 1 mesurage           | pour $A_{xpT}$ |
| Indication du VNA, copolarisation <sup>H1)</sup>                      | 0,08                 | 0,009 3           | normal, $k = 1$     | 0,009 3  | 1                    | 0,009 3        |
| Indication du VNA, polarisation croisée non linéaire <sup>H1)</sup>   | 0,08                 | 0,009 3           | normal, $k = 1$     | 0,009 3  | 1                    | 0,009 3        |
| Désalignement de l'antenne (2°) <sup>H2)</sup>                        |                      | 0,035 0           | rectangulaire       | 0,020 2  | 1                    | 0,020 2        |
| Incertitude de distance (2 cm sur une plage de 3 m) <sup>H3)</sup>    |                      | 0,007 0           | rectangulaire       | 0,004 0  | 1                    | 0,004 0        |
| Dépolarisation de l'AUT due à l'environnement <sup>H4)</sup>          | 0,1                  | 0,011 6           | rectangulaire       | 0,006 7  | 1                    | 0,006 7        |
| Dépolarisation de l'antenne Rx due à l'environnement <sup>H4)</sup>   | 0,1                  | 0,011 6           | rectangulaire       | 0,006 7  | 1                    | 0,006 7        |
| Réflexion du matériel d'antenne, $\delta_{xx} = 0,034$ <sup>H5)</sup> |                      | 0,034 0           | triangulaire        | 0,013 9  | 1                    | 0,013 9        |
| $A_{xpT}/A_{xpR}$ <sup>H6)</sup>                                      |                      | 0,251 5           | rectangulaire       | 0,145 2  | 1                    | 0,145 2        |
| $A_{yy}$                                                              |                      | 0,034 0           | triangulaire        | 0,013 9  | 1                    | 0,013 9        |
| $(A_{xpT}/A_{xpR}) \times \delta_{xx}$                                |                      | 0,008 6           | triangulaire        | 0,003 5  | 1                    | 0,003 5        |
| Incertitude type composée $u_c$                                       |                      |                   |                     |          | $k = 1$              | 0,148 9        |
| Incertitude élargie $ku_c$ <sup>H6)</sup>                             |                      |                   |                     |          | $k = 1,64$           | 0,244 2        |
| Incertitude élargie en dB                                             |                      |                   | $20\lg(1/[1+ku_c])$ |          | $k = 1,64$           | -1,90          |

<sup>a</sup> Les notes de pied de page, par exemple <sup>H1)</sup>, renvoient aux informations détaillées de la justification énumérées en H.3.

## Bibliographie

- [1] IEC 61169-8, *Radio-frequency connectors – Part 8: Sectional specification – RF coaxial connectors with inner diameter of outer conductor 6,5 mm (0,256 in) with bayonet lock – Characteristic impedance 50  $\Omega$  (type BNC)* (précédemment IEC 60169-8) (disponible en anglais seulement)
- [2] BEECKMAN, P. A., The influence of positioning tables on the results of radiated EMC measurements, *IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, Montreal, Quebec, Canada, 2001, p. 280-285 (disponible en anglais seulement)
- [3] BURKE, G. J. et POGGIO, A.J., *Numerical Electromagnetic Code – Method of Moments*, Lawrence Livermore Laboratory, Californie, janvier 1981 (disponible en anglais seulement)
- [4] GARBE, H., *New EMC Test Facilities for Radiation Measurements, Review of Radio Science 1999-2002*, John Wiley & Sons, New York, 2002 (disponible en anglais seulement)
- [5] MOSSHAMMER, P. *Untersuchung der Einflüsse des Messzubehörs und der Umgebung auf die Messunsicherheit bei der Messung der Störfeldstärke auf Freifeldmessplätzen (Investigation of the influences of the measuring accessories and the environment on the measurement uncertainty with the measurement of the perturbative field strength on free field measuring positions)*, Diplomarbeit an Fachhochschule für Technik und Wirtschaft Berlin (disponible en allemand seulement)
- [6] ETR 273-1-1:1998, *Electromagnetic compatibility and radio spectrum matters (ERM); Improvement of radiated methods of measurement (using test sites) and evaluation of the corresponding measurement uncertainties – Part 1: Uncertainties in the measurement of mobile radio equipment characteristics – Section 1: Introduction; Subclause 8.3.4.3: Antenna mast, turntable and mounting fixture*, ETSI Technical Report, European Telecommunications Standards Institute, Sophia Antipolis, France (disponible en anglais seulement)
- [7] MIL-STD-461A, *Electromagnetic Interference (EMI) Characteristics Requirements for Equipment* (Disponible en anglais seulement)
- [8] ZOMBOLAS, C., The effects of table material on radiated field strength measurement reproducibility at open area test sites, *IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, Montreal, Quebec, Canada, 2001, p. 260-264 (disponible en anglais seulement)
- [9] BERGERVOET J.R. and VAN VEEN, H., A Large-Loop Antenna for Magnetic Field Measurements, *Proceedings of the 8th International Zürich Symposium on Electromagnetic Compatibility*, March 1989, ETH Zentrum – IKT, 8092 Zürich, Switzerland, p. 29-34 (disponible en anglais seulement)
- [10] SCHELKUNOFF, S.A. and FRIIS, H.T., *Antennas: Theory and Practice*, New York: John Wiley and Sons, Inc., 1952, p. 302-331 (disponible en anglais seulement)
- [11] CLC/TR 50481, *Recommendations on filters for shielded enclosures*, CENELEC, April 2009 (disponible en anglais seulement)
- [12] CLC/TR 50484, *Recommendations for shielded enclosures*, CENELEC, April 2009 (disponible en anglais seulement)



- [13] prEN 50147-3:1998, *Electromagnetic Compatibility Basic Emission Standard, Part 3: Emission Measurements in Fully Anechoic Rooms*, TC210-WG4-9905, CENELEC, Brussels, January 1999 (disponible en anglais seulement)
- [14] GARN, H., Müllner, W., Buchmayr, M., Site-Reference Method for EMC Test Site Validation, *Frequenz* 53, July-August 1999, p. 151 (disponible en anglais seulement)
- [15] GISIN, F., Using ANSI C63.5 standard site method antenna factors for verifying ANSI C63.4 site attenuation requirements, *Proceedings of the IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, Dallas, 9-13 August 1993, p. 313-314 (disponible en anglais seulement)
- [16] GARN, H. F., BUCHMAYR, M., MÜLLNER, W. and RASINGER, J., Primary standards for antenna factor calibration in the frequency range 30 – 1 000 MHz, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, April 1997, vol. 46, no.2, p. 544-548 (disponible en anglais seulement)
- [17] ALEXANDER, M.J., SALTER, M.J., LOADER, B.G., KNIGHT, D.A., Broadband calculable dipole reference antennas, *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, February 2002, vol. 44, no.1, p. 45-58 (disponible en anglais seulement)
- [18] FOEGELLE, M.D., Site validation theory 101: Techniques and methods, *Compliance Engineering*, July/August 2000, p. 42-53  
[www.ce-mag.com/archive/2000/julyaugust/Foegelle.html](http://www.ce-mag.com/archive/2000/julyaugust/Foegelle.html) (disponible en anglais seulement)
- [19] ANSI C63.5-2017, American National Standard for Electromagnetic Compatibility–Radiated Emission Measurements in Electromagnetic Interference (EMI) Control–Calibration of Antennas (9 kHz to 40 GHz) (disponible en anglais seulement)
- [20] MENG, D., A Fast Way to Accurately Calibrate Tunable Dipole Antennas at VHF, *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, February 2018, vol. 60, no.1, p. 86-95 (disponible en anglais seulement)
- [21] ~~CISPR 16-1-4/AMD1/FRAG1<sup>3</sup>, Spécifications des méthodes et des appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Partie 1-4: Appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Antennes et emplacements d'essai pour les mesures des perturbations rayonnées~~ Vide
- [22] IEC 61000-4-20, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-20: Techniques d'essai et de mesure – Essais d'émission et d'immunité dans les guides d'onde TEM*
- [23] CISPR TR 16-3:2020, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 3: CISPR technical reports* (disponible en anglais seulement)
- [24] CISPR 11, *Appareils industriels, scientifiques et médicaux – Caractéristiques de perturbations radioélectriques – Limites et méthodes de mesure*

---

<sup>3</sup> – Sous-préparation. Stade au moment de la publication: CISPR CCDV 16-1-4/AMD1/FRAG1:2018.



## FINAL VERSION

## VERSION FINALE



INTERNATIONAL SPECIAL COMMITTEE ON RADIO INTERFERENCE  
COMITÉ INTERNATIONAL SPÉCIAL DES PERTURBATIONS RADIOÉLECTRIQUES

**Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods –**

**Part 1-4: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – Antennas and test sites for radiated disturbance measurements**

**Spécifications des méthodes et des appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques –**

**Partie 1-4: Appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Antennes et emplacements d'essai pour les mesures des perturbations rayonnées**

# CONTENTS

|                                                                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FOREWORD .....                                                                                                                        | 8  |
| 1 Scope .....                                                                                                                         | 10 |
| 2 Normative references .....                                                                                                          | 10 |
| 3 Terms, definitions and abbreviated terms .....                                                                                      | 11 |
| 3.1 Terms and definitions .....                                                                                                       | 11 |
| 3.2 Abbreviated terms .....                                                                                                           | 15 |
| 4 Antennas for measurement of radiated radio disturbance .....                                                                        | 16 |
| 4.1 General .....                                                                                                                     | 16 |
| 4.2 Physical parameter (measurand) for radiated disturbance measurements .....                                                        | 16 |
| 4.3 Antennas for the frequency range 9 kHz to 150 kHz .....                                                                           | 17 |
| 4.3.1 General .....                                                                                                                   | 17 |
| 4.3.2 Magnetic field antenna .....                                                                                                    | 17 |
| 4.3.3 Shielding of loop antenna .....                                                                                                 | 17 |
| 4.4 Antennas for the frequency range 150 kHz to 30 MHz .....                                                                          | 17 |
| 4.4.1 Electric field antenna .....                                                                                                    | 17 |
| 4.4.2 Magnetic field antenna .....                                                                                                    | 18 |
| 4.4.3 Balance and electric field discrimination of antennas .....                                                                     | 18 |
| 4.5 Antennas for the frequency range 30 MHz to 1 000 MHz .....                                                                        | 18 |
| 4.5.1 General .....                                                                                                                   | 18 |
| 4.5.2 Low-uncertainty antenna for use if there is an alleged non-compliance<br>to the electric disturbance field strength limit ..... | 18 |
| 4.5.3 Antenna characteristics .....                                                                                                   | 18 |
| 4.5.4 Balance of antenna .....                                                                                                        | 20 |
| 4.5.5 Cross-polar response of antenna .....                                                                                           | 22 |
| 4.6 Antennas for the frequency range 1 GHz to 18 GHz .....                                                                            | 23 |
| 4.6.1 General .....                                                                                                                   | 23 |
| 4.6.2 Receive antenna .....                                                                                                           | 23 |
| 4.7 Special antenna arrangements – large-loop antenna system .....                                                                    | 25 |
| 5 Test sites for measurement of radio disturbance field strength for the frequency<br>range of 9 kHz to 30 MHz .....                  | 26 |
| 6 Test sites for measurement of radio disturbance field strength for the frequency<br>range of 30 MHz to 1 000 MHz .....              | 26 |
| 6.1 General .....                                                                                                                     | 26 |
| 6.2 OATS .....                                                                                                                        | 26 |
| 6.2.1 General .....                                                                                                                   | 26 |
| 6.2.2 Weather-protection enclosure .....                                                                                              | 26 |
| 6.2.3 Obstruction-free area .....                                                                                                     | 26 |
| 6.2.4 Radio-frequency ambient environment of a test site .....                                                                        | 28 |
| 6.2.5 Ground plane .....                                                                                                              | 28 |
| 6.3 Suitability of other test sites .....                                                                                             | 28 |
| 6.3.1 Other ground-plane test sites .....                                                                                             | 28 |
| 6.3.2 Test sites without ground plane (FAR) .....                                                                                     | 29 |
| 6.4 Test site validations .....                                                                                                       | 29 |
| 6.4.1 General .....                                                                                                                   | 29 |
| 6.4.2 Overview of test site validations .....                                                                                         | 30 |
| 6.5 Basic parameters of the NSA method for OATS and SAC .....                                                                         | 30 |

|        |                                                                                                                |    |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 6.5.1  | General equation and table of theoretical NSA values.....                                                      | 30 |
| 6.5.2  | Antenna calibration .....                                                                                      | 34 |
| 6.6    | Reference site method for OATS and SAC .....                                                                   | 34 |
| 6.6.1  | General.....                                                                                                   | 34 |
| 6.6.2  | Antennas not permitted for RSM measurements .....                                                              | 35 |
| 6.6.3  | Determination of the antenna pair reference site attenuation on a REFTS .....                                  | 35 |
| 6.6.4  | Determination of the antenna pair reference site attenuation using an averaging technique on a large OATS..... | 36 |
| 6.7    | Validation of an OATS by the NSA method .....                                                                  | 39 |
| 6.7.1  | Discrete frequency method .....                                                                                | 39 |
| 6.7.2  | Swept frequency method.....                                                                                    | 40 |
| 6.8    | Validation of a weather-protection-enclosed OATS or a SAC .....                                                | 41 |
| 6.9    | Possible causes for exceeding site acceptability limits .....                                                  | 43 |
| 6.10   | Site validation for FARs .....                                                                                 | 44 |
| 6.10.1 | General.....                                                                                                   | 44 |
| 6.10.2 | RSM for FAR sites .....                                                                                        | 48 |
| 6.10.3 | NSA method for FAR sites .....                                                                                 | 50 |
| 6.10.4 | Site validation criteria for FAR sites .....                                                                   | 52 |
| 6.11   | Evaluation of set-up table and antenna tower.....                                                              | 52 |
| 6.11.1 | General.....                                                                                                   | 52 |
| 6.11.2 | Evaluation procedure for set-up table influences .....                                                         | 53 |
| 7      | Test sites for measurement of radio disturbance field strength for the frequency range 1 GHz to 18 GHz .....   | 54 |
| 7.1    | General.....                                                                                                   | 54 |
| 7.2    | Reference test site .....                                                                                      | 55 |
| 7.3    | Test site validation.....                                                                                      | 55 |
| 7.3.1  | General.....                                                                                                   | 55 |
| 7.3.2  | Acceptance criterion for site validation.....                                                                  | 56 |
| 7.4    | Antenna requirements for $S_{VSWR}$ standard test procedure .....                                              | 56 |
| 7.4.1  | General.....                                                                                                   | 56 |
| 7.4.2  | Transmit antenna .....                                                                                         | 57 |
| 7.4.3  | Antennas and test equipment for the $S_{VSWR}$ reciprocal test procedure .....                                 | 59 |
| 7.5    | Required positions for site validation testing .....                                                           | 60 |
| 7.5.1  | General.....                                                                                                   | 60 |
| 7.5.2  | Descriptions of $S_{VSWR}$ measurement positions in a horizontal plane (Figure 23).....                        | 60 |
| 7.5.3  | Descriptions of $S_{VSWR}$ additional measurement positions (Figure 24).....                                   | 61 |
| 7.5.4  | Summary of $S_{VSWR}$ measurement positions.....                                                               | 62 |
| 7.6    | $S_{VSWR}$ site validation – standard test procedure .....                                                     | 65 |
| 7.7    | $S_{VSWR}$ site validation – reciprocal test procedure using an isotropic field probe .....                    | 66 |
| 7.8    | $S_{VSWR}$ conditional measurement position requirements .....                                                 | 67 |
| 7.9    | $S_{VSWR}$ site validation test report.....                                                                    | 68 |
| 7.10   | Limitations of the $S_{VSWR}$ site validation method.....                                                      | 68 |
| 7.11   | Alternative test sites .....                                                                                   | 69 |
| 8      | Common mode absorption devices .....                                                                           | 69 |
| 8.1    | General.....                                                                                                   | 69 |
| 8.2    | CMAD $S$ -parameter measurements .....                                                                         | 69 |
| 8.3    | CMAD test jig.....                                                                                             | 69 |

|         |                                                                                                                                      |     |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 8.4     | Measurement method using the TRL calibration.....                                                                                    | 70  |
| 8.5     | Specification of ferrite clamp-type CMAD .....                                                                                       | 72  |
| 8.6     | CMAD performance (degradation) check using spectrum analyzer and tracking generator.....                                             | 73  |
| 9       | Reverberating chamber for total radiated power measurement .....                                                                     | 75  |
| 9.1     | General.....                                                                                                                         | 75  |
| 9.2     | Chamber.....                                                                                                                         | 75  |
| 9.2.1   | Chamber size and shape .....                                                                                                         | 75  |
| 9.2.2   | Door, openings in walls, and mounting brackets.....                                                                                  | 75  |
| 9.2.3   | Stirrers .....                                                                                                                       | 76  |
| 9.2.4   | Test for the efficiency of the stirrers.....                                                                                         | 76  |
| 9.2.5   | Coupling attenuation.....                                                                                                            | 77  |
| 10      | TEM cells for immunity to radiated disturbance measurement.....                                                                      | 78  |
| Annex A | (normative) Parameters of antennas .....                                                                                             | 79  |
| A.1     | General.....                                                                                                                         | 79  |
| A.2     | Preferred antennas .....                                                                                                             | 79  |
| A.2.1   | General.....                                                                                                                         | 79  |
| A.2.2   | Calculable antenna .....                                                                                                             | 79  |
| A.2.3   | Low-uncertainty antennas .....                                                                                                       | 79  |
| A.3     | Simple dipole antennas.....                                                                                                          | 80  |
| A.3.1   | General.....                                                                                                                         | 80  |
| A.3.2   | Tuned dipole.....                                                                                                                    | 81  |
| A.3.3   | Shortened dipole.....                                                                                                                | 81  |
| A.4     | Broadband antenna parameters .....                                                                                                   | 82  |
| A.4.1   | General.....                                                                                                                         | 82  |
| A.4.2   | Antenna type .....                                                                                                                   | 83  |
| A.4.3   | Specification of the antenna.....                                                                                                    | 83  |
| A.4.4   | Antenna calibration.....                                                                                                             | 84  |
| A.4.5   | Antenna user information .....                                                                                                       | 84  |
| Annex B | (XXX) (Void) .....                                                                                                                   | 85  |
| Annex C | (normative) Large-loop antenna system for magnetic field induced-current measurements in the frequency range of 9 kHz to 30 MHz..... | 86  |
| C.1     | General.....                                                                                                                         | 86  |
| C.2     | Construction of an LLAS .....                                                                                                        | 86  |
| C.3     | Construction of a large-loop antenna (LLA).....                                                                                      | 86  |
| C.4     | Validation of an LLAS .....                                                                                                          | 91  |
| C.5     | Construction of the LLAS verification dipole antenna.....                                                                            | 93  |
| C.6     | Conversion factors .....                                                                                                             | 94  |
| C.6.1   | General.....                                                                                                                         | 94  |
| C.6.2   | Current conversion factors for an LLAS with non-standard diameter .....                                                              | 95  |
| C.6.3   | Conversion of LLAS measured current to magnetic field strength.....                                                                  | 96  |
| C.7     | Examples.....                                                                                                                        | 98  |
| Annex D | (normative) Construction details for open area test sites in the frequency range of 30 MHz to 1 000 MHz (see Clause 6).....          | 100 |
| D.1     | General.....                                                                                                                         | 100 |
| D.2     | Ground plane construction .....                                                                                                      | 100 |
| D.2.1   | Material .....                                                                                                                       | 100 |
| D.2.2   | Roughness .....                                                                                                                      | 100 |
| D.3     | Services to EUT.....                                                                                                                 | 101 |

|                       |                                                                                                                         |     |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| D.4                   | Weather-protection enclosure construction .....                                                                         | 101 |
| D.4.1                 | Materials and fasteners .....                                                                                           | 101 |
| D.4.2                 | Internal arrangements .....                                                                                             | 102 |
| D.4.3                 | Size .....                                                                                                              | 102 |
| D.4.4                 | Uniformity with time and weather .....                                                                                  | 102 |
| D.5                   | Turntable and set-up table .....                                                                                        | 102 |
| D.6                   | Receive antenna mast installation .....                                                                                 | 103 |
| Annex E (xxx)         | (Void) .....                                                                                                            | 104 |
| Annex F (informative) | Basis for $\pm 4$ dB site acceptability criterion (see Clause 6) .....                                                  | 105 |
| F.1                   | General .....                                                                                                           | 105 |
| F.2                   | Error analysis .....                                                                                                    | 105 |
| Annex G (informative) | Examples of uncertainty budgets for site validation of a COMTS using RSM with a calibrated antenna pair (see 6.6) ..... | 107 |
| G.1                   | Quantities to be considered for antenna pair reference site attenuation calibration using the averaging technique ..... | 107 |
| G.2                   | Quantities to be considered for antenna pair reference site attenuation calibration using a REFTS .....                 | 108 |
| G.3                   | Quantities to be considered for COMTS validation using an antenna pair reference site attenuation .....                 | 109 |
| Annex H (informative) | Definition of uncertainty in cross-polar response measurement .....                                                     | 110 |
| H.1                   | General .....                                                                                                           | 110 |
| H.2                   | Example uncertainty estimate .....                                                                                      | 112 |
| H.3                   | Rationale for the estimates of input quantities in Table H.1 and Table H.3 .....                                        | 113 |
| H.4                   | Measurement of XPR below 100 MHz at an OATS .....                                                                       | 114 |
| Bibliography          | .....                                                                                                                   | 116 |

|           |                                                                                                                                                                                    |    |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 1  | – Schematic of radiation from EUT reaching an LPDA antenna directly and via ground reflection at a 3 m site, showing the beamwidth half-angle, $\phi$ , at the reflected ray ..... | 19 |
| Figure 2  | – RX antenna E-plane radiation pattern example, with limit area shaded for 3 m distance and 2 m EUT width .....                                                                    | 24 |
| Figure 3  | – Determination of maximum useable EUT width using half-power beamwidth .....                                                                                                      | 24 |
| Figure 4  | – Determination of maximum useable EUT height using half-power beamwidth .....                                                                                                     | 25 |
| Figure 5  | – Obstruction-free area of a test site with a turntable .....                                                                                                                      | 27 |
| Figure 6  | – Obstruction-free area with stationary EUT .....                                                                                                                                  | 27 |
| Figure 7  | – Test point locations for 3 m and 10 m test distances .....                                                                                                                       | 36 |
| Figure 8  | – Paired test point locations for all test distances .....                                                                                                                         | 38 |
| Figure 9  | – Example of paired test point selection for a test distance of 10 m .....                                                                                                         | 38 |
| Figure 10 | – Illustration of an investigation of influence of antenna mast on $A_{APR}$ .....                                                                                                 | 39 |
| Figure 11 | – Typical antenna positions for a weather-protected OATS or a SAC – vertical polarization validation measurements .....                                                            | 42 |
| Figure 12 | – Typical antenna positions for a weather-protected OATS or a SAC – horizontal polarization validation measurements .....                                                          | 42 |
| Figure 13 | – Typical antenna positions for a weather-protected OATS or a SAC – vertical polarization validation measurements for a smaller EUT .....                                          | 43 |
| Figure 14 | – Typical antenna positions for a weather-protected OATS or a SAC – horizontal polarization validation measurements for a smaller EUT .....                                        | 43 |
| Figure 15 | – Measurement positions for FAR site validation .....                                                                                                                              | 46 |

|                                                                                                                                         |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figure 16 – Example of one measurement position and antenna tilt for FAR site validation .....                                          | 48  |
| Figure 17 – Typical quasi free-space test site reference SA measurement set-up .....                                                    | 50  |
| Figure 18 – Theoretical free-space NSA as a function of frequency for different measurement distances [see Equation (16)].....          | 52  |
| Figure 19 – Position of the antenna relative to the edge above a rectangle set-up table (top view).....                                 | 54  |
| Figure 20 – Antenna position above the set-up table (side view) .....                                                                   | 54  |
| Figure 21 – Transmit antenna E-plane radiation pattern example (this example is for informative purposes only).....                     | 58  |
| Figure 22 – Transmit antenna H-plane radiation pattern (this example is for informative purposes only) .....                            | 59  |
| Figure 23 – $S_{VSWR}$ measurement positions in a horizontal plane (see 7.5.2 for description).....                                     | 60  |
| Figure 24 – $S_{VSWR}$ positions (height requirements) .....                                                                            | 62  |
| Figure 25 – $S_{VSWR}$ conditional measurement position requirements .....                                                              | 68  |
| Figure 26 – Definition of the reference planes inside the test jig .....                                                                | 70  |
| Figure 27 – The four configurations for the TRL calibration .....                                                                       | 72  |
| Figure 28 – Limits for the magnitude of $S_{11}$ , measured according to the provisions of 8.1 to 8.3 .....                             | 73  |
| Figure 29 – Example of a 50 $\Omega$ adaptor construction in the vertical flange of the jig .....                                       | 74  |
| Figure 30 – Example of a matching adaptor with balun or transformer .....                                                               | 74  |
| Figure 31 – Example of a matching adaptor with resistive matching network.....                                                          | 75  |
| Figure 32 – Example of a typical paddle stirrer .....                                                                                   | 76  |
| Figure 33 – Range of coupling attenuation as a function of frequency for a chamber using the stirrer shown in Figure 32 .....           | 77  |
| Figure A.1 – Short dipole antenna factors for $R_L = 50 \Omega$ .....                                                                   | 82  |
| Figure C.1 – The LLAS, consisting of three mutually perpendicular large-loop antennas .....                                             | 88  |
| Figure C.2 – An LLA containing two opposite slits, positioned symmetrically with respect to the current probe C .....                   | 89  |
| Figure C.3 – Construction of an LLA slit.....                                                                                           | 89  |
| Figure C.4 – Example of an LLA slit construction using a strap of printed circuit board to obtain a rigid construction .....            | 90  |
| Figure C.5 – Construction of the metal box containing the current probe.....                                                            | 90  |
| Figure C.6 – Example showing the routing of several cables from an EUT to minimize capacitive coupling from the leads to the LLAS ..... | 91  |
| Figure C.7 – The eight positions of the LLAS verification dipole during validation of an LLA .....                                      | 92  |
| Figure C.8 – Reference validation factors for loops of 2 m, 3 m, and 4 m diameters.....                                                 | 92  |
| Figure C.9 – Construction of the LLAS verification dipole antenna .....                                                                 | 94  |
| Figure C.10 – Sensitivity $S_D$ of an LLA with diameter $D$ relative to an LLA with 2 m diameter .....                                  | 95  |
| Figure C.11 – Conversion factor $C_{dA}$ [for conversion into dB( $\mu$ A/m)] for three standard measurement distances $d$ .....        | 97  |
| Figure D.1 – The Rayleigh criterion for roughness in the ground plane .....                                                             | 101 |

|                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Table 1 – Site validation methods applicable for OATS, OATS-based, SAC, and FAR site types ..... | 30 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

|                                                                                                                                      |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Table 2 – Theoretical normalized site attenuation, $A_N$ – recommended geometries for broadband antennas <sup>a</sup> (1 of 2) ..... | 32  |
| Table 3 – Example template for $A_{APR}$ data sets .....                                                                             | 35  |
| Table 4 – RSM frequency steps .....                                                                                                  | 35  |
| Table 5 – Maximum dimensions of test volume versus test distance .....                                                               | 44  |
| Table 6 – Frequency ranges and step sizes for FAR site validation .....                                                              | 48  |
| Table 7 – $S_{VSWR}$ measurement position designations (1 of 3) .....                                                                | 63  |
| Table 8 – $S_{VSWR}$ reporting requirements .....                                                                                    | 68  |
| Table C.1 – Reference validation factors of Figure C.8 for loops of 2 m, 3 m, and 4 m diameters .....                                | 93  |
| Table C.2 – Sensitivity $S_D$ of an LLA with diameter $D$ relative to an LLA with 2 m diameter (Figure C.10) .....                   | 96  |
| Table C.3 – Magnetic field strength conversion factor $C_{dA}$ for three measurement distances (Figure C.11) .....                   | 98  |
| Table D.1 – Maximum roughness for 3 m, 10 m and 30 m measurement distances .....                                                     | 101 |
| Table F.1 – Error budget .....                                                                                                       | 105 |
| Table G.1 – Antenna pair reference site attenuation calibration using the large-OATS averaging technique .....                       | 107 |
| Table G.2 – Antenna pair reference site attenuation calibration using REFTS .....                                                    | 108 |
| Table G.3 – COMTS validation using an antenna pair reference site attenuation .....                                                  | 109 |
| Table H.1 – Example uncertainty estimate for XPR measurement in a FAR and assumed $a_{xpT} = 22$ dB, $a_{xpR} = 34$ dB .....         | 113 |
| Table H.2 – Uncertainties depending on other values of $A_{xpT}$ (other assumptions as in Table H.1) .....                           | 114 |
| Table H.3 – Example uncertainty estimate for XPR measurement at an OATS and assumed $a_{xpT} = 22$ dB, $a_{xpR} = 34$ dB .....       | 115 |



# INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

## INTERNATIONAL SPECIAL COMMITTEE ON RADIO INTERFERENCE

### SPECIFICATION FOR RADIO DISTURBANCE AND IMMUNITY MEASURING APPARATUS AND METHODS –

#### Part 1-4: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – Antennas and test sites for radiated disturbance measurements

#### FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights

**This consolidated version of the official IEC Standard and its amendment has been prepared for user convenience.**

**CISPR 16-1-4 edition 4.1 contains the fourth edition (2019-01) [documents CIS/A/1262/FDIS and CIS/A/1275/RVD] and its amendment 1 (2020-06) [documents CIS/A/1316/FDIS and CIS/A/1320/RVD].**

**This Final version does not show where the technical content is modified by amendment 1. A separate Redline version with all changes highlighted is available in this publication.**



This edition constitutes a technical revision.

This edition includes the following significant technical changes with respect to the previous edition:

- provisions are added to address test site validation in the frequency range from 30 MHz to 1000 MHz using the reference site method, to take into account the receive antenna radiation pattern in the frequency range from 1 GHz to 18 GHz, and further details on test site validation using the NSA method with broadband antennas in the frequency range from 30 MHz to 1 000 MHz.

International Standard CISPR 16-1-4 has been prepared by CISPR subcommittee A: Radio-interference measurements and statistical methods.

It has the status of a basic EMC publication in accordance with IEC Guide 107, *Electromagnetic compatibility – Guide to the drafting of electromagnetic compatibility publications*.

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

A list of all parts of CISPR 16 series, under the general title *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods*, can be found on the IEC website.

The committee has decided that the contents of the base publication and its amendment will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

- reconfirmed,
- withdrawn,
- replaced by a revised edition, or
- amended.

**IMPORTANT – The 'colour inside' logo on the cover page of this publication indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this document using a colour printer.**

## SPECIFICATION FOR RADIO DISTURBANCE AND IMMUNITY MEASURING APPARATUS AND METHODS –

### Part 1-4: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – Antennas and test sites for radiated disturbance measurements

#### 1 Scope

This part of CISPR 16 specifies the characteristics and performance of equipment for the measurement of radiated disturbances in the frequency range 9 kHz to 18 GHz. Specifications for antennas and test sites are included.

NOTE In accordance with IEC Guide 107, CISPR 16-1-4 is a basic EMC publication for use by product committees of the IEC. As stated in Guide 107, product committees are responsible for determining the applicability of the EMC standard. CISPR and its sub-committees are prepared to cooperate with product committees in the evaluation of the value of particular EMC tests for specific products.

The requirements of this publication apply at all frequencies and for all levels of radiated disturbances within the CISPR indicating range of the measuring equipment.

Methods of measurement are covered in Part 2-3, further information on radio disturbance is given in Part 3, and uncertainties, statistics and limit modelling are covered in Part 4 of CISPR 16.

#### 2 Normative references

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

CISPR 16-1-1, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 1-1: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – Measuring apparatus*

CISPR 16-1-5:2014, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 1-5: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – Antenna calibration sites and reference test sites for 5 MHz to 18 GHz*  
CISPR 16-1-5:2014/AMD1:2016

CISPR 16-1-6:2014, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 1-6: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – EMC antenna calibration*  
CISPR 16-1-6:2014/AMD1:2017

CISPR 16-2-3:2016, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 2-3: Methods of measurement of disturbances and immunity – Radiated disturbance measurements*

CISPR TR 16-3, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 3: CISPR technical reports*

### 3 Terms, definitions and abbreviated terms

For the purposes of this document, the terms, definitions and abbreviated terms given in CISPR 16-1-1, CISPR 16-1-5, IEC 60050-161 and the following apply.

ISO and IEC maintain terminological databases for use in standardization at the following addresses:

- IEC Electropedia: available at <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: available at <http://www.iso.org/obp>

#### 3.1 Terms and definitions

##### 3.1.1

##### **antenna**

transducer that converts the guided electromagnetic energy of the feed line into a radiated wave in space and vice versa

Note 1 to entry: In the context of this document, for antennas for which a balun is intrinsic to the functioning of the antenna, the term "antenna" includes the balun.

##### 3.1.2

##### **antenna factor**

AF

$F_a$

ratio of the electric field strength of a plane wave incident from the direction corresponding to the mechanical boresight (i.e. the main axis of the antenna) to the voltage induced across a specified load connected to the antenna, measured in a free-space environment

Note 1 to entry: The abbreviation AF is used as a general term to denote antenna factor, whereas  $F_a$  denotes the boresight AF in free-space. AF is affected by the load impedance (typically 50  $\Omega$ ) connected to the antenna, and is frequency dependent. For a biconical antenna this impedance could be up to 200  $\Omega$ . For antennas with no balun the impedance is equal to the load impedance, typically 50  $\Omega$ . AF can be affected by mutual coupling of the antenna to the ground plane, and is directivity dependent. For more details see the definitions and 4.2 in CISPR 16-1-6:2014.

Note 2 to entry: The AF has the physical dimension of  $m^{-1}$  and measured data are normally expressed in dB relative to 1/m [dB( $m^{-1}$ )]. In radiated disturbance measurements, if  $F_a$  is known, the strength of an incident field,  $E$ , can be estimated from a reading,  $V$ , of a measuring receiver connected to the antenna as follows:

$$E = V + F_a$$

where  $E$  is in dB( $\mu V/m$ ),  $V$  is in dB( $\mu V$ ) and  $F_a$  is in dB( $m^{-1}$ ).

##### 3.1.3

##### **antenna pair reference site attenuation**

$A_{APR}$

set of site attenuation measurement results for both vertical and horizontal polarizations using a pair of antennas separated by a defined distance at an ideal open-area test site, with one antenna at a specified fixed height above the ground plane, and the other antenna scanned over a specified height range in which the minimum insertion loss is recorded

Note 1 to entry:  $A_{APR}$  is an influence quantity for uncertainty calculation of site validation measurements using RSM.

Note 2 to entry:  $A_{APR}$  measurements are used for comparison to corresponding site attenuation measurements of a COMTS to evaluate the performance of the COMTS.

### 3.1.4

#### **antenna reference point**

midpoint of an antenna from which the distance to the EUT or second antenna is measured

Note 1 to entry: The antenna reference point is either defined by the manufacturer using a marker on LPDA antennas or by the calibration laboratory.

### 3.1.5

#### **balun**

device for transforming an unbalanced transmission line to a balanced transmission line and vice versa

Note 1 to entry: A balun is used, for example, to couple balanced antenna elements to an unbalanced feed line, such as a coaxial cable. A balun may exhibit inherent impedance transformation differing from unity.

### 3.1.6

#### **calibration test site**

CALTS

open area test site with metallic ground plane and tightly specified site attenuation performance in horizontal electric field polarization

Note 1 to entry: A CALTS is used for determining the free-space antenna factor of an antenna.

### 3.1.7

#### **common mode absorption device**

CMAD

device that may be applied on cables leaving the test volume in radiated disturbance measurements to reduce the compliance uncertainty

### 3.1.8

#### **compliance test site**

COMTS

environment that assures valid, reproducible measurement results of the disturbance field strength from equipment under test for comparison to a compliance limit

### 3.1.9

#### **cross-polar response**

XPR

measure of the rejection by the antenna of the cross-polarized field, when the antenna is rotated in a linearly polarized electromagnetic field that is uniform in phase and amplitude over the aperture of the antenna under test

### 3.1.10

#### **EUT volume**

cylinder defined by EUT boundary diameter and height that fully encompasses all portions of the actual EUT, including cable racks and 1,6 m of cable length (30 MHz to 1 GHz) and 0,3 m of cable length (1 GHz and above)

Note 1 to entry: The test volume is one of several criteria limiting the EUT volume (see CISPR 16-2-3).

Note 2 to entry: The EUT volume has a diameter  $D$  (boundary diameter) and height  $h$ .

### 3.1.11

#### **fully-anechoic room**

FAR

an enclosure, the six internal surfaces of which are lined with radio-frequency-energy absorbing material (i.e. RF absorber) that attenuates electromagnetic energy in the frequency range of interest

Note 1 to entry: For general radiated disturbance measurement purposes, a FAR should be constructed inside a shielded enclosure.

### 3.1.12

#### hybrid antenna

antenna consisting of a wire-element log-periodic dipole array (LPDA) section and a broadband dipole section

Note 1 to entry: The longest element of the LPDA section is typically resonant at approximately 200 MHz, and the boom is lengthened at the open-circuit end to feed the connected broadband dipole (e.g. biconical or bowtie) section. Over the range 30 MHz to 200 MHz, the broadband dipole exhibits a performance similar to a biconical antenna, notably in the variation of height-dependent antenna factor.

Note 2 to entry: A common-mode choke is typically used at the open-circuit (i.e. rear) end of the boom to minimize parasitic (unintended) RF currents on the outer conductor of the coaxial cable flowing into the measuring receiver.

### 3.1.13

#### ideal open-area test site

open-area test site having a perfectly flat, perfectly conducting ground plane of infinite area, and with no reflecting objects except the ground plane

Note 1 to entry: An ideal OATS is a theoretical construct that is used in the definition of the measurand  $A_{APR}$  and in the calculation of the theoretical normalized site attenuation  $A_N$  for ground plane sites.

### 3.1.14

#### insertion loss

loss arising from the insertion of a device into a transmission line, expressed as the ratio of voltages immediately before and after the point of insertion of a device under test, before and after the insertion

Note 1 to entry: Insertion loss is equal to the inverse of the transmission  $S$ -parameter, i.e.  $|1/S_{21}|$ .

### 3.1.15

#### low-uncertainty antenna

robust biconical or LPDA antenna that meets the balance and XPR requirements of this document, and whose antenna factor has an uncertainty of less than 0,5 dB, used for the measurement of electric field strength at a defined point in space

Note 1 to entry: Low-uncertainty antennas are further described in A.2.3.

### 3.1.16

#### mechanical boresight

boresight direction

boresight

direction of the main beam, which is defined by the geometric properties of the antenna

Note 1 to entry: For EMC antennas the direction of the main beam is usually: a) coincident with the direction in line with the mechanical longitudinal axis of LPDA antennas; b) orthogonal to the elements of monopole, dipole, and biconical antennas; and c) orthogonal to the front aperture of horn antennas. In each of these cases, the orthogonal line is coincident with the centre of the antenna.

### 3.1.17

#### null

minimum in signal level resulting from the vector sum of the direct and ground-reflected signals at the receive antenna and with the level being considerably lower than the in-phase sum of these signals

Note 1 to entry: The depth of a null is measured from the in-phase sum of the direct and ground reflected signals. A null in the received signal occurs when the antennas are above a ground plane at heights such that the direct and ground reflected signals are in anti-phase, which can result in large uncertainty in the measurement of field strength. A null extends from 90° to 180° out of phase. At 90° the null depth is approximately 6 dB. The depth is compared to the nearest adjacent maximum signal in the swept frequency response (or height scan of one antenna at a fixed frequency).

Note 2 to entry: The dip in signal level on boresight for some DRH antennas is sometimes referred to as a null. This definition does not apply to such dips.

Note 3 to entry: IEC 60050-726:1982, 726-02-07 defines standing-wave minimum, with synonym node (of a standing wave), as the location in a propagation medium where the vectorial sum of a specified field quantity of two waves creating a standing wave is a minimum.

### 3.1.18

#### **quasi free-space test site**

facility for radiated disturbance measurements that is intended to achieve free-space conditions

Note 1 to entry: Unwanted reflections from the surroundings are kept to a minimum, to satisfy the site acceptance criterion applicable to the radiated disturbance measurement procedure being considered.

### 3.1.19

#### **reference test site**

REFTS

open-area test site with metallic ground plane and tightly specified site attenuation performance in horizontal and vertical electric field polarizations

Note 1 to entry: Site attenuation measurements of a REFTS are used for comparison to corresponding site attenuation measurements of a compliance test site, in order to evaluate the performance of the compliance test site.

### 3.1.20

#### **reflection coefficient**

ratio of a common quantity to both the reflected and incident travelling waves

Note 1 to entry: Hence, the voltage reflection coefficient is defined as the ratio of the complex voltage of the reflected wave to the complex voltage of the incident wave. The voltage reflection coefficient is equal to the scattering parameter  $S_{11}$ .

### 3.1.21

#### **resonant dipole antenna**

tuned dipole antenna

antenna consisting of two straight collinear conductors of equal length, placed end to end, separated by a small gap constituting a balanced feed, with each conductor approximately a quarter-wavelength long such that at the specified frequency the input impedance of the wire antenna measured across the gap has zero reactance when the dipole is located in the free space

### 3.1.22

#### **scattering parameters**

$S$ -parameters

set of four parameters used to describe the properties of a two-port network inserted into a transmission line

### 3.1.23

#### **semi-anechoic chamber**

SAC

shielded enclosure, in which five of the six internal surfaces are lined with radio-frequency absorbing material that attenuates electromagnetic energy (i.e. RF absorber) in the frequency range of interest, and the bottom horizontal surface is a conducting ground plane for use with OATS test set-ups

### 3.1.24

#### **short-open-load-through calibration method**

SOLT

through-open-short-match calibration method

TOSM

calibration method for a vector network analyzer using three known impedance standards – short, open, and match/load, and a single transmission standard – through

Note 1 to entry: The SOLT method is widely used, and the necessary calibration kits with 50  $\Omega$  characteristic impedance components are commonly available. A full two-port error model includes six error terms for each of the forward and reverse directions, for a total of twelve separate error terms, and requires twelve reference measurements to perform the calibration.

### 3.1.25

#### site attenuation

SA

$A_s$

minimum site insertion loss measured between two polarization-matched antennas located at a test site when one antenna is moved vertically over a specified height range and the other is set at a fixed height

Note 1 to entry: The terms site insertion loss (see 3.1.26) and site attenuation describe essentially the same measurement, however the term site attenuation (SA) is used in the context of finding the minimum site insertion loss (SIL) between a pair of antennas when one antenna is scanned in height above a ground plane.

### 3.1.26

#### site insertion loss

SIL

$A_i$

transmission loss between two polarization-matched antennas when a direct electrical connection between the signal generator output and the measuring receiver input is replaced by a transmit antenna and a receive antenna placed at specified positions at a test site

### 3.1.27

#### test volume

validated volume within a test facility in which an EUT may be positioned

Note 1 to entry: Validation procedures in this document are used to determine the test volume.

Note 2 to entry: The test volume as defined in this document is cylindrical in shape. Different test volume shapes have been defined in other documents, e.g. in cubic form in IEC 61000-4-20 [22] (TEM waveguides).

### 3.1.28

#### through-reflect-line (TRL) calibration

calibration method for a vector network analyzer using three known impedance standards “through”, “reflect”, and “line” for the internal or external calibration of the VNA

Note 1 to entry: Four reference measurements are needed for this calibration.

### 3.1.29

#### vector network analyzer

VNA

network analyzer capable of measuring complex values of the four  $S$ -parameters  $S_{11}$ ,  $S_{12}$ ,  $S_{21}$ ,  $S_{22}$

## 3.2 Abbreviated terms

The following are abbreviations used in this document that are not already given in 3.1.

|        |                         |
|--------|-------------------------|
| AUT    | antenna under test      |
| DRH    | double ridged horn      |
| EUT    | equipment under test    |
| FSOATS | free-space OATS         |
| HP     | horizontal polarization |
| LLA    | large-loop antenna      |

|            |                                  |
|------------|----------------------------------|
| LLAS       | large-loop antenna system        |
| LPDA       | log-periodic dipole array        |
| NSA        | normalized site attenuation      |
| OATS       | open-area test site              |
| PDF        | probability density function     |
| RF         | radio frequency                  |
| RSM        | reference site method            |
| RX         | receive                          |
| $S_{VSWR}$ | site voltage standing wave ratio |
| TX         | transmit                         |
| VP         | vertical polarization            |
| VSWR       | voltage standing wave ratio      |
| XP         | cross polarization               |

## 4 Antennas for measurement of radiated radio disturbance

### 4.1 General

Antennas of the type that are used for radiated disturbance measurements, having been calibrated, shall be used to measure the field strength, taking into account their radiation patterns and mutual coupling with their surroundings. The antenna and the circuits inserted between it and the measuring receiver shall not appreciably affect the overall characteristics of the measuring receiver. When the antenna is connected to the measuring receiver, the measuring system shall comply with the bandwidth requirements of CISPR 16-1-1 appropriate to the frequency band concerned.

The antenna shall be linearly polarized. It shall be orientable so that all polarizations of incident radiation can be measured. The height of the centre of the antenna above ground or above the absorber in a FAR may have to be adjustable according to a specific measurement procedure.

The accuracy of field-strength measurement of a uniform field of a sine-wave signal shall be better than  $\pm 3$  dB when an antenna meeting the requirements of this subclause is used with a measuring receiver meeting the requirements of CISPR 16-1-1.

NOTE This requirement does not include the effect due to a test site.

For additional information about the parameters of broadband antennas, see Annex A.

### 4.2 Physical parameter (measurand) for radiated disturbance measurements

The physical parameter for radiated disturbance measurements made against a disturbance limit expressed in volts per metre is electric field strength measured at a defined point in space relative to the position of the equipment under test (EUT). More specifically, for measurements in the frequency range 30 MHz to 1 000 MHz on an OATS or in a SAC, the measurand is the maximum field strength as a function of horizontal and vertical polarization and at heights between 1 m and 4 m, and at a horizontal distance of 10 m from the EUT, while the EUT is rotated over all angles in the azimuth plane.



### 4.3 Antennas for the frequency range 9 kHz to 150 kHz

#### 4.3.1 General

Experience has shown that, in this frequency range, it is the magnetic field component that is primarily responsible for observed instances of interference.

#### 4.3.2 Magnetic field antenna

For measurement of the magnetic component of the radiation, either an electrically-screened loop antenna of dimension such that the antenna can be completely enclosed by a square having sides of 60 cm in length, or an appropriate ferrite-rod antenna, may be used.

The unit of magnetic field strength is  $\mu\text{A/m}$ . In logarithmic units  $H$  is in  $\text{dB}(\mu\text{A/m})$ , or 20 times the log of the measured field strength level. The associated disturbance limit shall be expressed in the same units.

NOTE Direct measurements can be made of the strength of the magnetic component, in  $\text{dB}(\mu\text{A/m})$  or  $\mu\text{A/m}$  of a radiated field under all conditions, that is, both in the near field and in the far field. However, many field strength measuring receivers are calibrated in terms of the equivalent plane-wave electric field strength in  $\text{dB}(\mu\text{V/m})$ , i.e. assuming that the ratio of the  $E$  and  $H$  components is  $120\pi\ \Omega$  or  $377\ \Omega$ . Calculations for  $H$  are as follows:

$$H = \frac{E}{377\ \Omega} \quad (1)$$

where  $H$  is typically in  $\mu\text{A/m}$  and  $E$  in  $\mu\text{V/m}$ .

For measurements in dB:

$$H = E - 51,5 \quad (2)$$

where  $H$  is in  $\text{dB}(\mu\text{A/m})$  and  $E$  in  $\text{dB}(\mu\text{V/m})$ .

The impedance used in the above conversions,  $Z = 377\ \Omega$ , with  $20\ \lg Z = 51,5\ \text{dB}(\Omega)$ , is a constant originating from the calibration of field strength measuring equipment indicating the magnetic field strength in  $\mu\text{V/m}$  (or  $\text{dB}(\mu\text{V/m})$ ).

#### 4.3.3 Shielding of loop antenna

Inadequate shielding of a loop antenna can result in electric field response. The electric field discrimination of the antenna shall be evaluated by rotating the antenna in a uniform field, such that the plane of the loop remains parallel to the electric field vector. When the plane of the loop antenna is perpendicular to the magnetic flux and then the antenna is rotated so that its plane is parallel to the magnetic flux, the measured response shall decrease by at least 20 dB.

### 4.4 Antennas for the frequency range 150 kHz to 30 MHz

#### 4.4.1 Electric field antenna

For the measurement of the electric component of the radiation, either a balanced or an unbalanced antenna may be used. If an unbalanced antenna is used, the measurement will refer only to the effect of the electric field on a monopole (rod) antenna. The type of antenna used shall be stated with the results of the measurements.

Information pertaining to calculating the performance characteristics of a monopole (rod) antenna and the characterization of its matching network is specified in CISPR 16-1-6. CISPR 16-1-6 states that the antenna factor derived by the Equivalent Capacitance Substitution Method (ECSM) has greater uncertainties for monopole lengths greater than one-eighth of a wavelength.

The unit of electric field strength shall be  $\mu\text{V/m}$ . In logarithmic units,  $E$  shall be expressed in  $\text{dB}(\mu\text{V/m})$ , or 20 times the logarithm of the measured field strength level. The associated disturbance limit shall be expressed in the same units.

#### 4.4.2 Magnetic field antenna

For the measurement of the magnetic component of the radiation, an electrically-screened loop antenna, as described in 4.3.2 shall be used.

NOTE Tuned electrically balanced loop antennas can be used to make measurements of magnetic field strengths as low as  $-51,5 \text{ dB}(\mu\text{A/m})$  using QP detection in the frequency range 1,6 MHz to 30 MHz, i.e. lower than with untuned electrically-screened loop antennas where the noise level is approximately 25 dB higher.

#### 4.4.3 Balance and electric field discrimination of antennas

If a balanced electric field antenna is used, it shall comply with the requirement of 4.5.4. If a balanced magnetic field antenna is used, it shall comply with the requirement of 4.3.3.

### 4.5 Antennas for the frequency range 30 MHz to 1 000 MHz

#### 4.5.1 General

In this frequency range, the measurements are of the electric field strength, so magnetic field antennas are not included. The antenna shall be a dipole-like antenna designed to measure the electric field strength, and the free-space antenna factor shall be used. The antenna types include:

- tuned dipole antennas, whose element pairs are either straight rods or conical in shape;
- dipole arrays such as the log-periodic dipole array (LPDA) antennas, comprising a series of staggered sets of straight rod elements;
- hybrid antennas.

#### 4.5.2 Low-uncertainty antenna for use if there is an alleged non-compliance to the electric disturbance field strength limit

For lower measurement uncertainty, the value of electric field strength measured by a typical biconical antenna or LPDA antenna is preferred, in particular over hybrid antennas. Typical biconical and LPDA antennas are defined in Annex A, and only calibrated antennas shall be used.

NOTE 1 Improved uncertainties are achieved by using a biconical antenna over the frequency range 30 MHz to 250 MHz and an LPDA antenna over the range 250 MHz to 1 GHz. Alternatively, a change-over frequency of 200 MHz can be used, but uncertainties due to phase centre variations of the LPDA will be higher.

NOTE 2 The measurement uncertainty of radiated disturbance from an EUT depends on many different influence factors such as the quality of the site, antenna factor uncertainty, antenna type, and the measuring receiver characteristics. The reason for defining low-uncertainty antennas is to limit other antenna influences on the measurement uncertainty, such as the effect of mutual coupling with a ground plane, the radiation pattern with respect to height scanning, and the variable phase centre position. Verification of effects of these influences is accomplished by a comparison of the readings of the two antennas at the selected change-over frequency, which should give the same value of electric field strength within a margin of  $\pm 1 \text{ dB}$ .

#### 4.5.3 Antenna characteristics

Given that the sensitivity of the simple dipole antenna is low in the frequency range 300 MHz to 1 000 MHz, a more complex antenna may be used. Such an antenna shall have characteristics as follows:

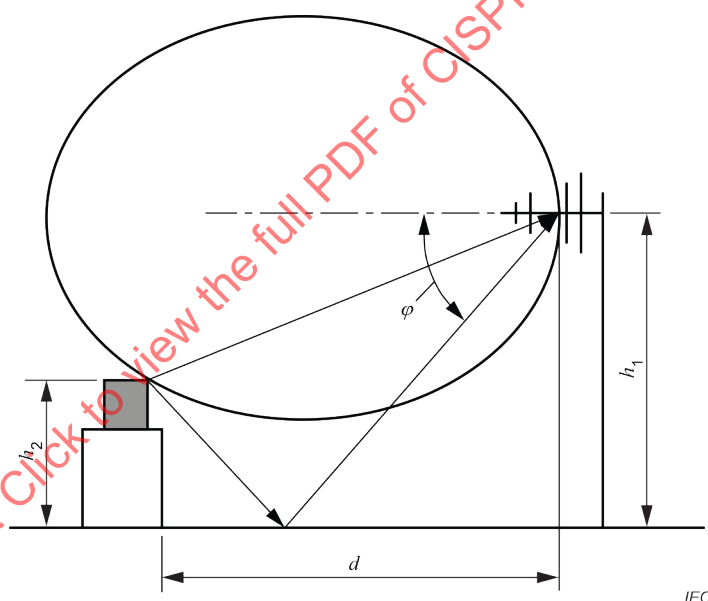
- a) The antenna shall be linearly polarized, which shall be evaluated by applying the cross-polarization test procedure of 4.5.5.
- b) Balanced dipole antennas, such as tuned-dipole and biconical antennas, shall have validated balun performance, which shall be evaluated by applying the balance test procedure of 4.5.4. This requirement also applies to hybrid antennas below 200 MHz.

- c) The return loss of the antenna with the antenna feeder connected shall not be less than 10 dB. A matching attenuator may be part of the antenna feeder cable for antennas if needed to meet this requirement.
- d) An antenna factor (AF) shall be given making it possible to fulfil the accuracy requirements of 4.1.

Accounting for the antenna directivity: a test site with a conducting ground plane is assumed for the following antenna characteristic description. The amplitude of the received signal will be reduced if either or both the direct and ground-reflected signals from the EUT to the antenna are not entering the main lobe of the radiation pattern of the antenna at its peak. The peak is usually in the boresight direction of the antenna. This reduction in amplitude is taken to be an error in the radiated disturbance measurement result; the ensuing uncertainty tolerance is based on the beamwidth,  $2\varphi$  (see Figure 1).

Conditions for ensuring that this error is no larger than + 1 dB are given in item 1) for a 10 m site, and in item 2) for a 3 m site. Alternatively, a condition based on antenna gain is given in item 3), in lieu of the rigorous radiation pattern conditions.

Radiated disturbance measurements are performed with the antenna horizontally and vertically polarized in turn. If it is chosen to measure the radiation patterns in only one plane, the narrower beamwidth pattern results shall be used, and with the condition that the pattern of the antenna shall be verified in the horizontal plane while orienting it for horizontal polarization.



NOTE Parameters are defined in Equation (4).

**Figure 1 – Schematic of radiation from EUT reaching an LPDA antenna directly and via ground reflection at a 3 m site, showing the beamwidth half-angle,  $\varphi$ , at the reflected ray**

- 1) For a 10 m OATS or SAC, the antenna response in the direction of the direct ray differs negligibly from the boresight amplitude when the antenna is aligned such that its boresight direction is parallel to the ground plane. The directivity component of the uncertainty in the disturbance measurement can be kept to less than +1 dB if the antenna response in the direction of the reflected ray is no more than 2 dB lower than the antenna boresight response. To ensure this condition, the total vertical beamwidth  $2\varphi$  of the measurement antenna, within which the antenna gain is within 2 dB of its maximum, shall be such that:

$$\varphi > \tan^{-1} \frac{h_1 + h_2}{d} \quad (3)$$

- 2) For sites with less than 10 m separation, typically 3 m, the total vertical beamwidth  $2\varphi$  of the measurement antenna, within which the antenna gain is within 1 dB of its maximum, shall be such that:

$$2\varphi > \left( \tan^{-1} \frac{h_1 + h_2}{d} \right) - \left( \tan^{-1} \frac{h_1 - h_2}{d} \right) \quad (4)$$

where

$h_2$  is the height of the equipment under test;

$h_1$  is the measurement antenna height;

$d$  is the horizontal distance between the phase centre of the measurement antenna and the device under test.

Antenna down-tilting can reduce the associated uncertainties; if that is not employed, the reduction in received signal shall be calculated from the radiation patterns and applied as a correction with associated directivity uncertainties. Example uncertainty budgets are given in CISPR 16-4-2.

NOTE 1 Assuming an E-plane radiation pattern normalized to unity on boresight (i.e. peak of the mainlobe) record the electric field at the angles of declination from the antenna for the direct ray,  $E_D$ , and reflected ray,  $E_R$ . The error, compared to an electric field of unity magnitude for each of the direct and reflected rays, is given in decibels by  $20 \lg [2/(E_D + E_R)]$ .

NOTE 2 The reduction in signal strength caused by reduced directivity at angles off antenna boresight is a systematic error and therefore can be corrected. If a correction is applied, from knowledge of the radiation patterns at each frequency and polarization, the uncertainty of field-strength measurement can be reduced accordingly.

- 3) For the broad beamwidth antenna types typically used for radiated disturbance measurements, such as biconical, LPDA, and hybrid antennas, the beamwidth is inversely related to the antenna directivity. An alternative to the criterion based on beamwidths in items 1) and 2) is to specify the maximum gain of an antenna, then refer to generic uncertainty tolerances for the directivity component in the uncertainty budget for the disturbance measurement results. The generic uncertainties, based on the narrowest beamwidths in the frequency range used for a specific antenna, are given in CISPR 16-4-2. The maximum isotropic antenna gain for biconical antennas shall be 2 dB, and shall be 8 dB for LPDA and hybrid antennas. For V-type LPDA antennas, whose H-plane beamwidth is equal to the E-plane beamwidth, the maximum permitted isotropic gain shall be 9 dB.

#### 4.5.4 Balance of antenna

##### 4.5.4.1 General

In radiated disturbance measurements, common-mode (CM) currents can be present on the cable attached to the receive antenna (antenna cable). In turn, these CM currents create electromagnetic fields that can be picked up by the receive antenna if the balun is not perfectly balanced. Consequently, the radiated disturbance measurement results can be influenced.

The major contributions to the antenna cable CM currents are caused by:

- a) the electric field strength to be measured, if it has a component parallel to the antenna cable, and
- b) the conversion of the differential mode (DM) antenna signal (the desired signal) into a CM signal by the imperfection of the balun of the receive antenna.

In general, LPDA antennas do not exhibit significant DM/CM (DM to CM) conversion. Therefore the following check applies for dipole and biconical antennas over their entire

operating frequency range, and to hybrid antennas over the frequency range of the broadband dipole section (in most cases 30 MHz to 200 MHz).

#### 4.5.4.2 Balun DM/CM conversion check

The following method describes the measurement of two voltages  $V_1$  and  $V_2$ . The ratio of these voltages, both expressed in identical units, e.g.  $\mu\text{V}$ , is a measure of the DM/CM conversion (also known as the balun imbalance, balun symmetry, or antenna symmetry).

- a) Set the receive AUT vertically polarized with its centre at a height of 1,0 m above the ground plane of an OATS or SAC. The tip of the antenna shall be at least 0,25 m above the ground plane. Extend a  $1,5 \text{ m} \pm 0,1 \text{ m}$  length of the antenna cable horizontally behind the rear active element of the receive antenna at a height of 1,0 m above the ground plane, and then allow it to drop vertically to the ground plane.
- b) For a standard characterization of the receive antenna imbalance, place a second (transmit) antenna vertically polarized at a horizontal distance of 10 m from the centre of the AUT. The centre of the transmit antenna shall be at a height of 1,0 m above the ground plane, and its tip shall be at least 0,25 m above the ground plane. The transmit antenna shall be linearly polarized, and have a cross-polar rejection greater than 20 dB over the frequency range of the balun test. For the frequency range above 200 MHz, transmit antenna height variation shall be used to avoid nulls in the SIL response. Measurements at shorter distances (e.g. 3 m and 5 m) may be made to determine the uncertainty contribution of balun imbalance at these distances.
- c) Connect the transmit antenna to a signal source (for example, a tracking generator or the source output of a network analyzer). Next, set the output level of that signal source so that over the frequency range of interest, and for both vertical orientations of the antenna, the signal-to-ambient noise ratio at the receiver is 34 dB (17 dB for average detection) or more.
- d) Record the voltage  $V_1$  at the receiver over the frequency range of interest.
- e) Invert the receive antenna (i.e. rotate that antenna through  $180^\circ$ ) without changing anything else in the set-up, in particular the receive antenna cable, and without changing the setting of the signal source.
- f) Record the voltage  $V_2$  at the receiver over the frequency range of interest.
- g) The DM/CM conversion is sufficiently low if  $|20 \lg (V_1/V_2)| < 1 \text{ dB}$ .

NOTE 1 For the purpose of radiated disturbance measurements, if the DM/CM conversion criterion is not met, ferrite rings around the antenna cable can reduce the DM/CM conversion. The EMC test laboratory can repeat the test with four ferrite rings spaced approximately 20 cm apart; the first placed within 10 cm of the input to the balun. If the criterion is met by using these ferrite rings, then the ferrite rings also apply in the actual disturbance measurements. Likewise, the interaction with the cable can be reduced by extending the cable several metres horizontally behind the antenna before dropping to the ground plane.

NOTE 2 If the receive antenna is used in a FAR, the DM/CM check can be performed in that FAR, with the receive antenna at its usual location and the transmit antenna at least 3 m away. The antennas are best positioned centrally in the room with a clearance behind the antennas of at least 1 m between the vertical portion of cable and the tips of the absorbers.

NOTE 3 The measuring site and its conducting ground plane (OATS or SAC), or the FAR, are assumed to comply with the respective site validation requirements.

NOTE 4 The horizontal distance of 1,5 m over which the antenna cable runs horizontally behind the centre of the antenna is understood as kept as the minimum distance allowed during the actual vertically polarized radiated disturbance measurements.

NOTE 5 In general it is not necessary to strictly define a test set-up, because the imbalance effect is dominated by the interaction of the antenna and that part of the antenna cable that lies parallel to the antenna elements. Also there is a much smaller effect that is dependent on the uniformity of the field incident on the receive antenna in normal EMC measurement set-ups at an OATS or in a FAR.

NOTE 6 For baluns that have the receive cable connector mounted on the side ( $90^\circ$  to the antenna boom), a right angle connector can be used to reduce the movement of the cable.

NOTE 7 The uncertainty of the balun DM/CM measurement result will be caused only by any nonlinearity of the receiver, because everything else remains unchanged during the  $V_1$  and  $V_2$  measurements. A nonlinearity of less than 0,1 dB within the  $\pm 1 \text{ dB}$  range from the reference indication  $V_1$  is good enough to meet the 1 dB criterion.

#### 4.5.5 Cross-polar response of antenna

When an antenna is placed in a linearly-polarized electromagnetic field, the terminal voltage when the antenna and field are cross-polarized shall be at least 20 dB below the terminal voltage when they are co-polarized. This requirement applies over the entire frequency range of 30 MHz to 18 GHz. In practice, this requirement is not satisfied by some types of LPDA antennas for which the two halves of each dipole are in echelon, which intrinsically generates a cross-polar response (XPR).

The majority of testing with LPDA antennas is above 200 MHz. To achieve free-space conditions, a high-quality fully anechoic room, or antenna support towers of sufficient height above ground on an outdoor range may be used; see 6.3.2 of this document and Clause 6 of CISPR 16-1-5:2014 for associated site characteristics. A uniform field shall be set up across the effective length of the AUT. The separation between the centre of the AUT and the transmit antenna shall be greater than one wavelength. For an LPDA antenna, the separation is to its centre mark. When the lowest frequency is 200 MHz, a fixed separation of 1,5 m over the entire frequency range is recommended.

Set the transmit antenna and the AUT vertically polarized and note the signal strength over the frequency range. Rotate the transmit antenna by 90° and note the difference in signal strength relative to the co-polar reading.

NOTE A good-quality site is needed to set up a uniform field across the effective area of the AUT. The cross-polar discrimination afforded by the linearly-polarized wave can be proven by transmitting between a pair of standard-gain horn antennas or open-ended waveguides as test antennas, and checking that the combination of site error and inherent cross-polar performance with the test antennas yields a suppression of the horizontal component by more than 30 dB. If the site errors are very low, and if the test antennas have identical performance, the cross-polar rejection of one test antenna is approximately 6 dB lower than the combined cross-polar coupling of the pair of test antennas. For example, if the combined cross-polar level is 30 dB, then the level for a single test antenna is 36 dB. The criterion for the site set-up, including antenna separation and site performance, is the achievement of a combined cross-polar level of 30 dB. A pair of horn antennas can be set up, horizontally polarized, with a separation between their front apertures of 1,5 m. The site insertion loss (SIL) is recorded over the frequency range of interest. One of the antennas is rotated by 90° so that it is vertically polarized. The change in SIL of at least 30 dB will provide acceptable measurement uncertainty. For frequencies below 1 GHz, V-shaped LPDA antennas can be used in place of horn antennas to prove the suitability of the site. It is possible to use dipole or biconical antennas, but due to their uniform H-plane radiation patterns a greater antenna height would be needed.

An interfering signal 20 dB lower in level than the desired signal gives a maximum error on the desired signal of  $\pm 0,9$  dB. The maximum error occurs when the cross-polar signal is in phase with the co-polar signal. If the XPR of the LPDA is worse than 20 dB, the operator shall calculate the uncertainty and declare it with the result. For example, a cross-polar level of 14 dB implies a maximum uncertainty of +1,6 dB to –1,9 dB; the larger value and an assumed rectangular distribution shall be used when calculating the standard uncertainty.

To add a signal of 0 dB to another of –14 dB, first convert to relative voltages by dividing by 20 and taking the anti-logarithm. Then add the smaller signal to the unity signal. Take the logarithm and multiply by 20. The result is the positive decibel error. Repeat, but subtract the smaller signal from the unity signal to give the negative decibel error.

For the purpose of calculating the uncertainty of a radiated disturbance measurement, if the signal level measured in one polarization exceeds the signal measured in the orthogonal polarization by 6 dB or more, then an LPDA whose XPR is only 14 dB will have been deemed to have met the specification of 20 dB. If the difference between the vertically and horizontally polarized signal levels is less than 6 dB, additional uncertainty shall be calculated if the sum of this difference and the XPR is less than 20 dB.

Considerations on measurement uncertainty for XPR measurement results can be found in Annex H. Annex H provides an example of an XPR of an AUT sufficient to meet the 20 dB XPR requirement in the measurement.



## 4.6 Antennas for the frequency range 1 GHz to 18 GHz

### 4.6.1 General

Radiated disturbance measurements above 1 GHz shall be made using calibrated linearly polarized antennas. Examples are LPDA antennas, double-ridged guide horn antennas, and standard gain horn antennas. The "beam" or main lobe of the pattern of any antenna used shall be wide enough to encompass the EUT when located at the measuring distance. The width of the main lobe is defined as the 3 dB beamwidth of the antenna, and information allowing determination of this parameter should be given in the antenna documentation. For horn antennas, the following condition shall be satisfied:

$$d \geq \frac{D^2}{2\lambda} \quad (5)$$

where

- $d$  is the measurement distance (m);  
 $D$  is the largest dimension of the aperture of the antenna (m); and  
 $\lambda$  is the free space wavelength at the frequency of measurement (m).

The requirement for the XPR of the antenna in 4.5.5 also applies for the 1 GHz to 18 GHz frequency range.

### 4.6.2 Receive antenna

#### 4.6.2.1 General

The receive antenna shall be linearly polarized and for site validation be the same type as used for EUT disturbance measurements.

Some antenna models may have different versions with possibly different radiation patterns, and users are advised to verify the preceding condition.

NOTE 1 "Antenna type" means a shape or a kind of antenna, for example horn antenna or LPDA antenna.

NOTE 2 "Antenna model" means the specified manufacturer's model number.

NOTE 3 "Version" means the specified manufacturer's revision number, if applicable, of a particular antenna model number.

#### 4.6.2.2 Receive antenna radiation pattern

E-plane and H-plane radiation patterns shall be measured with reference to the antenna boresight. The measurand is the antenna pattern in dB, presented using a polar-coordinate plot such as in Figure 2. Radiation pattern plots should be normalized to 0 dB. The 0° angle shall be equal to the mechanical boresight.

E-plane and H-plane radiation patterns of each individual antenna shall be recorded over the frequency range of the antenna with a step size of 500 MHz or less, per Annex I of CISPR 16-1-6:2014/AMD1:2016.

Type-test results, including statistical data, supplied by the manufacturer may be used to provide evidence that the receive antenna radiation pattern requirements are met. Service measures shall be taken to assure pattern stability during the antenna life.

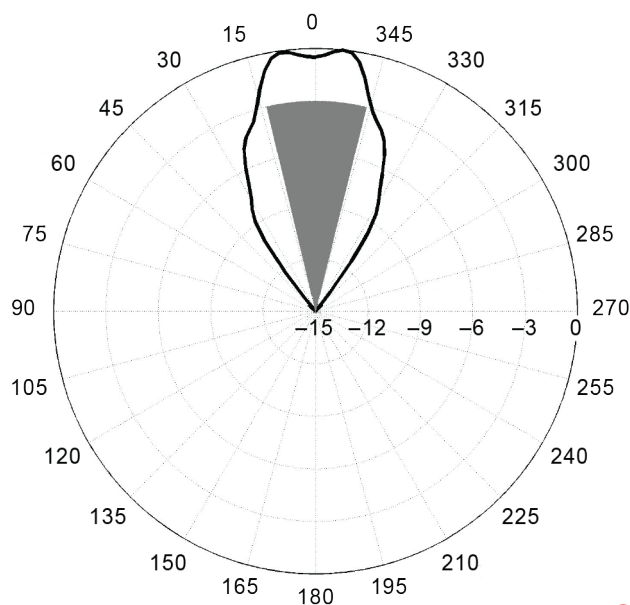


**Figure 2 – RX antenna E-plane radiation pattern example, with limit area shaded for 3 m distance and 2 m EUT width**

NOTE In general, the boresight direction is the direction of maximum radiation from the antenna. However, it may happen that the pattern has two radiation maxima but with none of the maxima in the direction of the mechanical boresight, e.g. as in Figure 2.

#### 4.6.2.3 Receive antenna radiation pattern requirements

The grey-shaded areas shown in the polar plots of Figure 3 and Figure 4 are defined by the maximum height,  $h$ , and the maximum width,  $w$ , of the EUT, and the test distance,  $d$ .

For the receive antenna to sufficiently illuminate the EUT, the half-power beamwidth of the receive antenna shall not fall inside the shaded area in the E-plane and H-plane pattern cuts shown in Figure 3 and Figure 4.

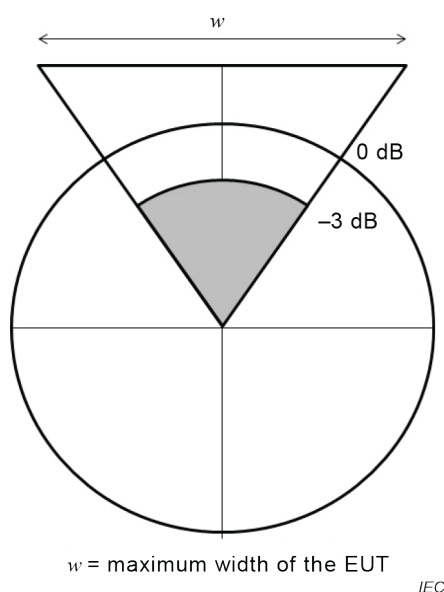


**Figure 3 – Determination of maximum useable EUT width using half-power beamwidth**



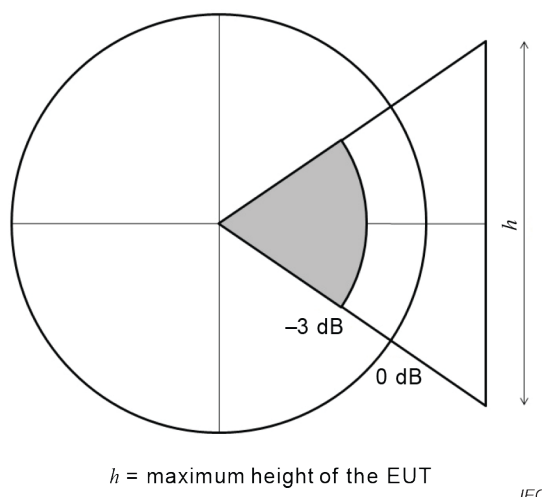


**Figure 4 – Determination of maximum useable EUT height using half-power beamwidth**

#### 4.7 Special antenna arrangements – large-loop antenna system

In the frequency range 9 kHz to 30 MHz, the interference capability of the magnetic field component of the radiation of a single EUT can be determined by using a large-loop antenna system (LLAS). In the LLAS, the interference capability is measured in terms of the currents induced by the magnetic field in each LLA of the LLAS. The LLAS measures the current induced by the magnetic field component of a single EUT. The LLAS allows indoor measurements.

The LLAS consists of three circular mutually-perpendicular large-loop antennas, each having a diameter of 2 m, supported by a non-metallic base. A full description of the LLAS is given in Annex C.

The EUT shall be positioned in the centre of the LLAS on a non-conductive support table. The maximum dimensions of the EUT are limited so that the distance between the EUT and each LLAS loop is at least 0,20 m. Guidelines for routing of EUT cables are given in C.3 and Figure C.6. Cables shall be routed together, leave the LLAS volume in the same octant of the LLAS, and be no closer than 0,4 m to any of the LLAS loops.

The LLAS may be placed in any environment. Placement inside a shielded room, SAC, FAR, or weather-protected OATS is permitted. Placement in a shielded environment is recommended to eliminate ambient signals allowing for better sensitivity to EUT emissions. A minimum distance of 0,5 m between the LLAS and any metallic plane is recommended. The validation of the LLAS shall be performed at the location where the LLAS measurements normally take place to take into account the effect of the environment (see C.4).

The three mutually-perpendicular LLAS loops allow measurement of the interference capability of all polarizations of the radiated field with the prescribed accuracy, and without rotation of the EUT or changing the orientation of the LLAS loops.

Each of the three LLAS loops shall comply with the validation requirements given in C.4.

**NOTE** Circular LLAS loops with diameters different from the standard diameter of 2 m can be used, provided their diameter  $D \leq 4$  m, and the distance in metres between the EUT and an LLAS loop is at least  $0,10 \times D$ . Conversion factors for non-standard diameters are given in C.6.

## **5 Test sites for measurement of radio disturbance field strength for the frequency range of 9 kHz to 30 MHz**

(Void)

## **6 Test sites for measurement of radio disturbance field strength for the frequency range of 30 MHz to 1 000 MHz**

### **6.1 General**

An environment is required that assures valid, reproducible measurement results of disturbance field strength from an EUT. For an EUT that can only be tested at its place of use, other provisions shall be utilized (i.e. see details on in-situ measurements in CISPR 16-2-3).

### **6.2 OATS**

#### **6.2.1 General**

An OATS is an area characterized by cleared level terrain and with the presence of a conducting ground plane. To meet the validation requirements of this document, a metallic ground plane is recommended. Such a test site shall be free of buildings, electric lines, fences, trees, etc. and free from underground cables, pipelines, etc., except as required to supply and operate the EUT. Refer to Annex D for specific construction recommendations of an OATS for disturbance field-strength measurements in the range of 30 MHz to 1 000 MHz. The site validation procedures for an OATS are given in 6.6 and 6.7. Annex F explains the basis for the acceptability criterion.

#### **6.2.2 Weather-protection enclosure**

Weather protection is desirable if the test site is used throughout the year. A weather-protection structure can protect either the entire test site (including EUT and field-strength measuring antenna) or the EUT only. The materials used shall be RF-transparent, to preclude undesirable reflections and attenuation of the emitted field from the EUT (see 6.3.1).

The structure of a weather-protection enclosure shall be shaped to allow easy removal of snow, ice, or water. See Annex D for further details.

#### **6.2.3 Obstruction-free area**

For open-area test sites, an obstruction-free area surrounding the EUT and field-strength measuring antenna is required. The obstruction-free area shall be free from significant scatterers of electromagnetic fields, and shall be large enough so that scatterers outside the obstruction-free area will have little effect on the fields measured by the field-strength measuring antenna. To determine the adequacy of an obstruction-free area, site validation tests shall be performed.

Because the magnitude of the field scattered from an object depends on many factors (size of the object, distance from the EUT, orientation with respect to the EUT, conductivity and permittivity of the object, frequency, etc.), it is impractical to specify a reasonable obstruction-free area that is necessary and sufficient for all applications. The size and shape of the obstruction-free area are dependent upon the measurement distance, and whether or not the EUT will be rotated. If the site is equipped with a turntable, the recommended obstruction-free area is an ellipse with the receive antenna and EUT at the two foci, with a major axis equal to twice the measurement distance and a minor axis equal to the product of the measurement distance and  $\sqrt{3}$  (see Figure 5).

For this ellipse, the length of the path taken by the undesired indirect ray reflected from any object on the perimeter is twice the length of the path taken by the direct ray between the foci.

If a large EUT is installed on the turntable, the obstruction-free area shall be expanded so that the obstruction clearance distances are established relative to the perimeter of the EUT.

If the site is not equipped with a turntable, i.e. the EUT is stationary, the recommended obstruction-free area is a circular area such that the radial distance from the boundary of the EUT to the boundary of the area is greater than or equal to the measurement distance multiplied by 1,5 (see Figure 6). In this case, the antenna is moved around the EUT at the measurement distance.

The terrain within the obstruction-free area shall be flat. Small slopes needed for adequate drainage are acceptable. The flatness of the metallic ground plane, if used, is discussed in D.2. Measuring apparatus and all personnel shall be situated outside the obstruction-free area.

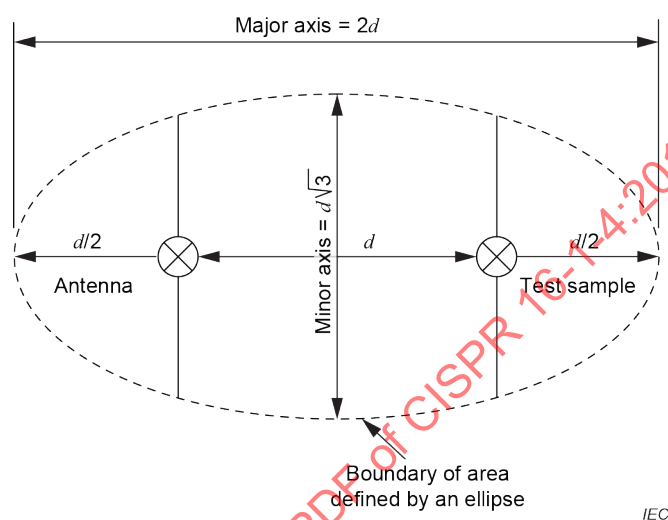


Figure 5 – Obstruction-free area of a test site with a turntable

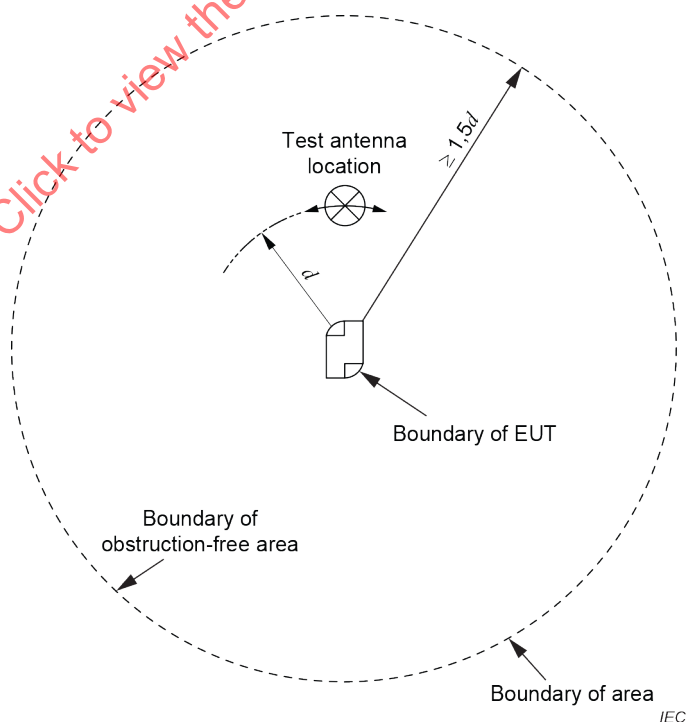


Figure 6 – Obstruction-free area with stationary EUT

#### 6.2.4 Radio-frequency ambient environment of a test site

The radio-frequency ambient levels at an OATS shall be sufficiently low compared to the levels of the disturbance measurements to be performed. The quality of the site for this condition may be evaluated under four categories, listed as follows in order of merit:

- a) the ambient emissions are 6 dB or more below the measurement levels;
- b) some ambient emissions are within 6 dB of the measurement levels;
- c) some ambient emissions are above the measurement levels, but are either aperiodic (i.e. sufficiently long in time between transmissions to allow a measurement to be made) or continuous, but only on limited identifiable frequencies;
- d) the ambient levels are above the measurement levels over a large portion of the measurement frequency range and occurring continuously.

The selection of a test site should ensure that the accuracy of the measurement is maintained, given the ambient environment and the degree of engineering skill available.

In addition to the RF ambient environment, the receiver intrinsic noise floor contributes to the uncertainty of the results of radiated disturbance measurements. Hence both the RF ambient emissions and the receiver intrinsic noise shall be minimized, to allow a valid comparison of the measured disturbance level with the disturbance limit.

#### 6.2.5 Ground plane

The OATS ground plane can be at earth level, or elevated on a suitably-sized platform or horizontal rooftop site. A metal ground plane is preferred, but for certain equipment and applications, product publications may recommend other site types. Adequacy of the metal ground plane will be dependent on whether the test site meets the site validation requirements of 6.4. If metallic material is not used for the ground plane, caution is required to select a site that does not change its reflective characteristics with time, weather conditions, or effects due to buried metallic material, such as pipes, conduits, and non-homogeneous soil. Such sites generally give different SA characteristics compared to those with metallic surfaces.

### 6.3 Suitability of other test sites

#### 6.3.1 Other ground-plane test sites

There are many different test sites and facilities that have been constructed and used to make radiated disturbance measurements. Most are protected from the weather and the adverse effects of the RF ambient. For example in a SAC, all walls and the ceiling are equipped with appropriate RF absorbing material, while the floor consists of a metallic ground plane to emulate an OATS. A SAC isolates the receive antenna from the ambient RF environment, and permits EUT testing independent of weather conditions.

Whenever construction material encloses a ground-plane test site, it is possible that the results of a validation measurement at a single location, as specified in 6.7, are not adequate to show acceptability of such an alternative site.

Therefore to evaluate suitability of an alternative ground-plane test site, the procedure of 6.8 shall be used, which is based on making validation measurements at multiple positions throughout a volume occupied by the EUT. For a site to be judged suitable as an equivalent to an OATS, the results of these validation measurements shall all be within a tolerance of  $\pm 4$  dB.

NOTE SACs typically meet site quality category a) in 6.2.4.

### 6.3.2 Test sites without ground plane (FAR)

A fully-absorber-lined shielded enclosure, also known as a fully-anechoic room (FAR), can be used for radiated disturbance measurements. When a FAR site is used, appropriate radiated disturbance limits shall be defined in relevant standards (generic, product, or product family standards). Compliance of an EUT with the requirements for the protection of radio-services (i.e. limits) shall be evaluated at FAR sites using similar methods as with measurements done at an OATS.

A FAR is intended to simulate a free-space environment, such that only the direct ray from the transmit antenna or EUT reaches the receive antenna. All indirect and reflected ray waves shall be minimized by appropriate placement of RF absorbing material on all walls, ceiling, and floor of a FAR. Like a SAC, a FAR isolates the receive antenna from the RF ambient environment, and permits EUT testing independent of weather conditions.

NOTE FARs typically meet site quality category a) in 6.2.4.

## 6.4 Test site validations

### 6.4.1 General

Three methods for site validation of a COMTS may be used for the purposes of this document:

- NSA method with tuned dipoles;
- NSA method with broadband antennas;
- Reference site method (RSM) with broadband antennas.

The NSA method with tuned dipoles is not specifically described, but it may be used for the purposes of this document. Theoretical NSA tables for tuned dipoles, including tables of the theoretical mutual impedance correction factors, are given in [20]<sup>1</sup>.

Validations for test sites with a ground plane (i.e. OATS and SAC) are introduced in 6.4.2 and 6.5.1, followed by detailed procedures for the RSM in 6.6 and for the NSA method in 6.7. Validation of a SAC and a weather-protection enclosed OATS requires additional measurements as described in 6.8.

Table 1 summarizes the site validation methods applicable for these specific test site types. As shown in this table, two or three site validation methods are described for each of these test site types. These methods are deemed to be equivalent for the purposes of this document; meaning compliance with the validation criterion can be evaluated using only one method. Furthermore, no one of these documented methods is defined as the reference method.

The site validation methods in this document provide a measure of uniformity of the validated test volume using a comparison between ideal (theoretical) and measured site attenuation between the transmit antenna and the receive antenna. The transmit antenna does not simulate the EUT; therefore, the validation procedure does not define the maximum EUT volume. Considerations on EUT sizes depending on measurement distance are given in CISPR 16-2-3.

---

<sup>1</sup> Numbers in square brackets refer to the bibliography.

**Table 1 – Site validation methods applicable for OATS, OATS-based, SAC, and FAR site types**

| Test site type               | Applicability of site validation methods |                           |                           |
|------------------------------|------------------------------------------|---------------------------|---------------------------|
|                              | Tuned dipoles<br>NSA                     | Broadband antennas<br>NSA | Broadband antennas<br>RSM |
| OATS                         | Yes                                      | Yes                       | Yes                       |
| OATS with weather protection | No                                       | Yes                       | Yes                       |
| SAC                          | No                                       | Yes                       | Yes                       |
| FAR                          | No                                       | Yes                       | Yes                       |

## 6.4.2 Overview of test site validations

The validation of a test site is performed using two co-polarized antennas. The validation shall be performed separately for both horizontal and vertical polarizations.

SA is obtained from the difference of:

- the source voltage level,  $V_i$ , applied to a transmit antenna;
- the maximum received voltage level,  $V_R$ , measured on the terminals of a receive antenna during a specified antenna height scan.

The voltage measurements are performed in a 50  $\Omega$  system.

The measured SA of an OATS (as in 6.2) and other ground-plane test sites (as in 6.3.1) is compared to the SA characteristics obtained at an ideal OATS – this is the definition of the measurand for test site validations. The result of this comparison is the SA deviation,  $\Delta A_s$ , in dB; see Equation (6) and Equation (7). The site is considered suitable when the SA deviation results are within a tolerance of  $\pm 4$  dB.

If the  $\pm 4$  dB tolerance is exceeded, the test site configuration shall be investigated as described in 6.9.

NOTE The basis for the  $\pm 4$  dB site acceptability criterion is given in Annex F.

Additionally, SA deviations shall not be used to correct field-strength measurement data for an EUT. The procedures of 6.4 shall be used only for test site validations.

## 6.5 Basic parameters of the NSA method for OATS and SAC

### 6.5.1 General equation and table of theoretical NSA values

NSA values calculated at specific frequencies are provided in Table 2 for broadband antennas. The quantities  $d$ ,  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $f_M$ , and  $A_N$  used are identified at the end of Table 2.

NOTE 1 NSA values for frequencies other than shown in Table 2 can be obtained using linear interpolation between the tabulated values.

NOTE 2 The spacing  $d$  between LPDA antenna pairs is measured from the projection on the ground plane of the mid-point of the longitudinal axis of each antenna.

NOTE 3 The spacing  $d$  between biconical antennas is measured from the element centreline axes at the feedpoint.

For measurements in each polarization, the NSA method requires two different measurements of the received voltage,  $V_R$ .

The first reading of  $V_R$  ( $V_{\text{DIRECT}}$ ) is taken with the two coaxial cables disconnected from the two antennas and connected to each other via an adaptor. The second reading of  $V_R$  ( $V_{\text{SITE}}$ ) is taken with the coaxial cables reconnected to their respective antennas, then the maximum signal is measured when the receive antenna is scanned in height (1 m to 4 m, for 3 m, 5 m, 10 m and 30 m separation distances). For both measurements, the signal source voltage,  $V_i$ , is kept constant. The measured results, along with the theoretical NSA ( $A_N$ ), are used in Equation (6) to obtain the SA deviation results. All terms are in dB.

$$\Delta A_s = V_{\text{DIRECT}} - V_{\text{SITE}} - F_{aT} - F_{aR} - A_N \quad (6)$$

where

$\Delta A_s$  is the SA deviation;  
 $F_{aT}$  is the transmit antenna factor;  
 $F_{aR}$  is the receive antenna factor;  
 $A_N$  is the theoretical NSA, according to Table 2.

$F_{aT}$  and  $F_{aR}$  shall be calibrated as free-space antenna factors; see 6.5.2.

Note that the first two terms represent the actual measurement of SA, i.e. in the classical view SA is equal to  $(V_{\text{DIRECT}} - V_{\text{SITE}})$ , which is the insertion loss of the propagation path with the inclusion of the properties of the two antennas used.

To confirm the absence of voltage drift due to temperature changes in measurement devices or cables, re-measure  $V_{\text{DIRECT}}$  after a suitable time period to confirm stability of the results.

For the respective NSA measurement method used (swept frequency method per 6.7.2, or discrete frequency method per 6.7.1), the validation criterion shall be satisfied at all frequencies in the desired frequency range.

Table 2 lists NSA values for broadband antennas, such as biconical and LPDA, for both horizontal and vertical polarizations relative to the ground plane.

If  $\Delta A_s$  is greater than  $\pm 4$  dB, proceed as described in 6.9.

Table 2 – Theoretical normalized site attenuation,  $A_N$  – recommended geometries for broadband antennas<sup>a</sup> (1 of 2)

| Polariza-<br>tion | Horizontal                   |       |      |      |      |      |      |      |      |      | Vertical |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------------|------------------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                   | 3                            | 3     | 5    | 5    | 10   | 10   | 10   | 10   | 10   | 30   | 3        | 3    | 5    | 5    | 10   | 10   | 10   | 10   | 10   | 30   |
| $d$<br>m          | 1                            | 2     | 1    | 2    | 1    | 2    | 3    | 4    | 1    | 2    | 1        | 1,5  | 1    | 1,5  | 2,0  | 1    | 1,5  | 2,5  | 3,5  | 30   |
| $h_1$<br>m        | 1                            | 1     | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1        | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1,5  |
| $h_{2,min}$<br>m  | 1                            | 1     | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1        | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    |
| $h_{2,max}$<br>m  | 4                            | 4     | 4    | 4    | 4    | 4    | 4    | 4    | 4    | 4    | 4        | 4    | 4    | 4    | 4    | 4    | 4    | 4    | 4    | 4    |
| $f_M$<br>MHz      | $A_N$<br>dB(m <sup>2</sup> ) |       |      |      |      |      |      |      |      |      |          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 30                | 15,8                         | 11,0  | 20,7 | 15,6 | 14,3 | 29,8 | 24,1 | 21,3 | 19,7 | 47,8 | 41,7     | 8,2  | 9,3  | 11,4 | 12,0 | 12,7 | 16,7 | 17,4 | 18,2 | 26,0 |
| 35                | 13,4                         | 8,8   | 18,2 | 13,3 | 12,2 | 27,1 | 21,6 | 18,9 | 17,4 | 45,1 | 39,1     | 6,9  | 8,0  | 10,1 | 10,7 | 11,5 | 15,4 | 16,1 | 16,9 | 24,7 |
| 40                | 11,3                         | 7,0   | 16,0 | 11,4 | 10,5 | 24,9 | 19,4 | 16,9 | 15,6 | 42,8 | 36,8     | 5,8  | 7,0  | 8,9  | 9,6  | 10,4 | 14,2 | 15,0 | 15,8 | 23,5 |
| 45                | 9,4                          | 5,5   | 14,1 | 9,8  | 9,1  | 22,9 | 17,5 | 15,2 | 14,2 | 40,8 | 34,7     | 4,9  | 6,1  | 7,9  | 8,6  | 9,5  | 13,2 | 14,0 | 14,9 | 22,5 |
| 50                | 7,8                          | 4,2   | 12,4 | 8,5  | 7,9  | 21,1 | 15,9 | 13,7 | 13,1 | 38,9 | 32,9     | 4,0  | 5,4  | 7,1  | 7,8  | 8,7  | 12,3 | 13,2 | 14,1 | 21,6 |
| 60                | 5,0                          | 2,2   | 9,5  | 6,3  | 6,0  | 18,0 | 13,1 | 11,5 | 11,3 | 35,8 | 29,8     | 2,6  | 4,1  | 5,6  | 6,3  | 7,4  | 10,7 | 11,7 | 12,7 | 20   |
| 70                | 2,8                          | 0,6   | 7,2  | 4,6  | 4,4  | 15,5 | 10,9 | 9,9  | 9,9  | 33,1 | 27,2     | 1,5  | 3,2  | 4,3  | 5,2  | 6,4  | 9,4  | 10,5 | 11,7 | 18,7 |
| 80                | 0,9                          | -0,7  | 5,3  | 3,2  | 3,2  | 13,3 | 9,2  | 8,6  | 8,7  | 30,8 | 24,9     | 0,6  | 2,6  | 3,3  | 4,3  | 5,6  | 8,3  | 9,5  | 10,9 | 17,5 |
| 90                | -0,7                         | -1,8  | 3,7  | 2,0  | 2,1  | 11,4 | 7,8  | 7,5  | 7,5  | 28,8 | 23,0     | -0,1 | 2,1  | 2,4  | 3,5  | 5,1  | 7,3  | 8,7  | 10,2 | 16,5 |
| 100               | -2,0                         | -2,8  | 2,3  | 1,0  | 1,1  | 9,7  | 6,7  | 6,6  | 6,7  | 27   | 21,2     | -0,7 | 1,9  | 1,6  | 2,9  | 4,7  | 6,4  | 8,0  | 9,6  | 15,6 |
| 120               | -4,2                         | -4,4  | 0,1  | -0,7 | -0,5 | 7,0  | 5,0  | 4,9  | 5,1  | 23,9 | 18,2     | -1,5 | 1,3  | 0,3  | 2,1  | 3,4  | 4,9  | 7,0  | 8,8  | 14,0 |
| 140               | -6,0                         | -5,8  | -1,7 | -2,1 | -1,9 | 4,8  | 3,5  | 3,5  | 3,8  | 21,2 | 15,8     | -1,8 | -1,5 | -0,6 | 1,7  | 1,0  | 3,7  | 6,2  | 5,2  | 12,7 |
| 160               | -7,4                         | -6,7  | -3,1 | -3,3 | -3,1 | 3,1  | 2,3  | 2,4  | 2,6  | 19   | 13,8     | -1,7 | -3,7 | -1,3 | 1,0  | -0,7 | 2,6  | 4,1  | 3,9  | 11,5 |
| 180               | -8,6                         | -7,2  | -4,3 | -4,4 | -4,1 | 1,7  | 1,2  | 1,3  | 1,6  | 17   | 12,0     | -1,3 | -5,3 | -1,8 | -1,0 | -2,2 | 1,8  | 2,8  | 2,8  | 10,5 |
| 200               | -9,6                         | -8,4  | -5,3 | -5,3 | -4,7 | 0,6  | 0,3  | 0,4  | 0,6  | 15,3 | 10,6     | -3,6 | -6,7 | -2,0 | -2,6 | -3,3 | 1,0  | 1,6  | 1,7  | 9,6  |
| 250               | -11,7                        | -10,6 | -7,5 | -6,7 | -6,7 | -1,6 | -1,7 | -1,6 | -1,2 | 11,6 | 7,8      | -7,7 | -9,1 | -3,2 | -5,5 | -5,6 | -0,5 | -0,6 | -0,3 | 7,7  |



Table 2 (2 of 2)

| Polariza-<br>tion                                               |     | Horizontal                                                                                                                                                                |       |       |       |       |       |       |       |      |      | Vertical |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |
|-----------------------------------------------------------------|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|
| $d$                                                             | m   | 3                                                                                                                                                                         | 3     | 5     | 5     | 10    | 10    | 10    | 10    | 30   | 30   | 3        | 3     | 5     | 5     | 5     | 10    | 10    | 10    | 30    | 30   |      |
| $h_1$                                                           | m   | 1                                                                                                                                                                         | 2     | 2     | 2,5   | 1     | 2     | 3     | 4     | 1    | 2    | 1        | 1,5   | 1     | 1,5   | 2,0   | 1     | 1,5   | 3,5   | 1     | 1,5  |      |
| $h_{2,min}$                                                     | m   | 1                                                                                                                                                                         | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1    | 1    | 1        | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1    |      |
| $h_{2,max}$                                                     | m   | 4                                                                                                                                                                         | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4    | 4    | 4        | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4    |      |
| $f_M$                                                           | MHz | $A_N$                                                                                                                                                                     |       |       |       |       |       |       |       |      |      |          |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |
|                                                                 |     | dB(m <sup>2</sup> )                                                                                                                                                       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |          |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |
| 300                                                             |     | -12,8                                                                                                                                                                     | -12,3 | -9,2  | -8,5  | -8,4  | -3,3  | -3,3  | -2,8  | 8,8  | 6,1  | -10,5    | -10,9 | -6,2  | -7,5  | -7,3  | -1,5  | -1,9  | -2,4  | -1,9  | 6,2  | 6,5  |
| 400                                                             |     | -14,8                                                                                                                                                                     | -14,9 | -11,8 | -11,2 | -11,0 | -5,9  | -5,8  | -5,4  | 4,6  | 3,5  | -14,0    | -12,6 | -10,0 | -10,5 | -10,0 | -4,1  | -5,0  | -5,1  | -4,5  | 3,9  | 4,3  |
| 500                                                             |     | -17,3                                                                                                                                                                     | -16,7 | -13,0 | -13,3 | -13,0 | -7,9  | -7,6  | -7,3  | 1,8  | 1,6  | -16,4    | -15,1 | -12,5 | -12,6 | -11,6 | -6,7  | -7,2  | -7,1  | -6,3  | 2,1  | 2,8  |
| 600                                                             |     | -19,1                                                                                                                                                                     | -18,3 | -14,9 | -14,9 | -14,5 | -9,5  | -9,3  | -8,9  | 0,0  | 0,0  | -16,3    | -16,9 | -14,4 | -13,5 | -13,4 | -8,7  | -9,0  | -8,7  | -8,0  | 0,8  | 1,8  |
| 700                                                             |     | -20,6                                                                                                                                                                     | -19,7 | -16,4 | -16,1 | -15,9 | -10,8 | -10,6 | -10,2 | -1,3 | -1,4 | -18,4    | -18,4 | -15,9 | -15,1 | -14,8 | -10,2 | -10,4 | -9,9  | -9,3  | -0,3 | -0,9 |
| 800                                                             |     | -21,3                                                                                                                                                                     | -20,8 | -17,6 | -17,3 | -17,1 | -12,0 | -11,8 | -11,4 | -2,5 | -2,5 | -20,0    | -19,3 | -17,2 | -16,5 | -16,0 | -11,5 | -11,6 | -11,1 | -10,5 | -1,1 | -2,3 |
| 900                                                             |     | -22,5                                                                                                                                                                     | -21,8 | -18,7 | -18,4 | -18,0 | -12,8 | -12,9 | -12,4 | -3,5 | -3,5 | -21,3    | -20,4 | -17,4 | -17,6 | -16,9 | -12,6 | -12,7 | -12,1 | -11,5 | -1,7 | -3,4 |
| 1 000                                                           |     | -23,5                                                                                                                                                                     | -22,7 | -19,7 | -19,3 | -19,0 | -13,8 | -13,8 | -13,6 | -4,4 | -4,5 | -22,4    | -21,4 | -18,5 | -18,6 | -17,9 | -13,6 | -13,6 | -13,1 | -12,4 | -3,5 | -4,3 |
| <sup>a</sup>                                                    |     | These data apply to antennas that have at least 25 cm of ground-plane clearance when the centre of the antennas is 1 m above the ground plane in vertical polarization.   |       |       |       |       |       |       |       |      |      |          |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |
| Values at other frequencies are found via linear interpolation. |     |                                                                                                                                                                           |       |       |       |       |       |       |       |      |      |          |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |
| $d$                                                             |     | $d$ is the horizontal separation between the projection of the transmit antenna and receive antenna midpoints on the ground plane;                                        |       |       |       |       |       |       |       |      |      |          |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |
| $h_1$                                                           |     | $h_1$ is the height of the centre of the transmit antenna above the ground plane;                                                                                         |       |       |       |       |       |       |       |      |      |          |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |
| $h_2$                                                           |     | $h_2$ is the range of heights of the centre of the receive antenna above the ground plane. The maximum received signal in this height scan range is used for NSA results; |       |       |       |       |       |       |       |      |      |          |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |
| $f_M$                                                           |     | $f_M$ is the frequency;                                                                                                                                                   |       |       |       |       |       |       |       |      |      |          |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |
| $A_N$                                                           |     | $A_N$ is the NSA.                                                                                                                                                         |       |       |       |       |       |       |       |      |      |          |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |

### 6.5.2 Antenna calibration

For site validation using the NSA method, free-space antenna factors are used, as measured with the methods of CISPR 16-1-6.

The use of free-space antenna factors for the calculation of NSA, as in Equation (6), can cause errors, particularly for biconical and tuned dipole antennas below 300 MHz. This is because the model for the theoretical NSA values in Table 2 is based on a Hertzian dipole and not on the actual antennas used to measure SA. This model does not take account of the significant change in antenna factor due to mutual coupling to the ground plane, or account of the radiation pattern of the antenna. This problem does not occur with the RSM because it does not involve antenna factors. A partial solution is available in [19] which significantly reduces uncertainties of the antenna factors in the NSA method.

## 6.6 Reference site method for OATS and SAC

### 6.6.1 General

The RSM is another method for validating the suitability of a test site, using broadband antennas. As with the NSA method, the evaluation of  $V_{\text{DIRECT}}$  and  $V_{\text{SITE}}$  is required. These results are obtained using exactly the same geometries and polarizations as specified for the NSA method. For a weather-protection-enclosed OATS or a SAC, the configurations are:

- 3 m, 5 m, or 10 m test distance;

NOTE 1 Although RSM may be applied to 30 m sites, it is impractical due to the limited number of appropriate reference test sites.

- transmit antenna heights are 1 m and 2 m for horizontal polarization, and 1 m and 1,5 m for vertical polarization;

NOTE 2 For other transmit antenna heights, see Table 2.

- 1 m to 4 m receive antenna height scan range.

The main difference between the RSM and NSA methods is in the calculation of SA deviations, using Equation (7):

$$\Delta A_s = V_{\text{DIRECT}} - V_{\text{SITE}} - A_{\text{APR}} \quad (7)$$

Rather than using antenna factors for the transmit antenna and the receive antenna and the calculated NSA ( $A_N$ ) values, as in the NSA method Equation (6), measured results for the antenna-pair reference SA ( $A_{\text{APR}}$ ) are used.

NOTE 3  $A_{\text{APR}}$  does not involve antenna factors, but comprises coupling between the antennas, including the effects of coupling of each antenna to the ground. Furthermore, the radiation patterns of the antennas are included, different from the NSA method where the radiation patterns are approximated as being those of Hertzian dipoles.

For a weather-protection enclosed OATS and a SAC, four data sets are required, i.e. two antenna heights with two polarizations. For each additional distance, polarization and antenna height, a different  $A_{\text{APR}}$  is needed, as shown in the example template of Table 3.

**Table 3 – Example template for  $A_{APR}$  data sets**

| Frequency<br>MHz | Antenna pair reference site attenuation, $A_{APR}$<br>dB |             |             |               |
|------------------|----------------------------------------------------------|-------------|-------------|---------------|
|                  | Horizontal                                               |             | Vertical    |               |
|                  | $h_1 = 1$ m                                              | $h_1 = 2$ m | $h_1 = 1$ m | $h_1 = 1,5$ m |
| 30               | ...                                                      | ...         | ...         | ...           |
| 31               | ...                                                      | ...         | ...         | ...           |
| 32               | ...                                                      | ...         | ...         | ...           |
| ...              | ...                                                      | ...         | ...         | ...           |

When using a network analyzer or a stepped-frequency receiver to perform an RSM measurement, the frequency steps of Table 4 shall be used.

NOTE 4 RSM is a swept frequency method; Table 4 defines the maximum step size.

NOTE 5 When using a continuously-tuned receiver or a spectrum analyzer for an RSM measurement, the frequency step size definition of Table 4 does not apply.

**Table 4 – RSM frequency steps**

| Frequency range<br>MHz | Maximum frequency step size<br>MHz |
|------------------------|------------------------------------|
| 30 to 100              | 1                                  |
| 100 to 500             | 5                                  |
| 500 to 1 000           | 10                                 |

Frequencies used for the RSM measurement of a test site shall be identical to the frequencies used to obtain the  $A_{APR}$  data (e.g. at a REFTS; see 6.6.3).

The  $\Delta A_s$  criterion, see Equation (7), shall be satisfied at the frequencies given in Table 4.

## 6.6.2 Antennas not permitted for RSM measurements

For the purposes of this document, hybrid antennas shall not be used for RSM site validation measurements.

NOTE 1 When specific SAC sites are validated using biconical and hybrid antennas, a large deviation in the results has been observed. The main reason for deviations is the different distance between the phase centres of the antennas, e.g. 10 m for biconical antennas and approximately 11,2 m for typical hybrid antennas. To avoid such reproducibility issues, hybrid antennas are excluded.

NOTE 2 Hybrid antennas typically are not used for site validation because of the larger uncertainties in positioning of these typically larger and bulkier antennas, especially for a 3 m test site where the overall combined length of the two hybrid antennas may be nearly 3 m.

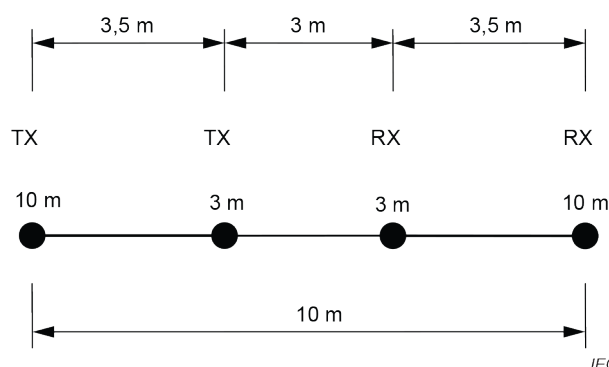
NOTE 3 Better performance for a SAC is typically obtained with standard antennas (biconical or LPDA) for a lower  $\Delta A_s$ ; adjustment of SAC design parameters to achieve site validation compliance using hybrid antennas is strongly discouraged. To construct a SAC with better performance than those required, the standard requires the manufacturer to fulfil e.g.  $\Delta A_s = 3,5$  dB.

## 6.6.3 Determination of the antenna pair reference site attenuation on a REFTS

One approach to measuring  $A_{APR}$  is to use a reference test site (REFTS), which has performance established according to procedures described in CISPR 16-1-5. A separate second approach is given in 6.6.4.

For a test distance of 10 m, identical positions on the REFTS shall be used to determine  $A_{APR}$  as were used for the REFTS validation according to CISPR 16-1-5 procedures.

For a test distance of 3 m, measurements shall be made on the axis drawn between the transmit antenna and the receive antenna positions as were used for the REFTS validation according to CISPR 16-1-5 procedures (see Figure 7).



**Key**

TX = transmit antenna

RX = receive antenna

**Figure 7 – Test point locations for 3 m and 10 m test distances**

The following procedure shall be used to determine  $A_{APR}$ :

- determine  $V_{DIRECT}$ ;
- place the transmit antenna in horizontal polarization at a height of 1 m;
- place the receive antenna in the same polarization at a distance  $d$ ;
- determine  $V_{SITE}$  during the 1 m to 4 m height scan of the receive antenna;
- calculate  $A_{APR}$  as follows using Equation (8):

$$A_{APR} = V_{DIRECT} - V_{SITE} \quad (8)$$

- repeat steps b) to e) for transmit antenna height of 2 m with horizontal polarization, and then for transmit heights of 1 m and 1,5 m with vertical polarization.

#### 6.6.4 Determination of the antenna pair reference site attenuation using an averaging technique on a large OATS

Another method to determine  $A_{APR}$  is by measurements on a large OATS (see the following paragraphs in this subclause for the criteria to be large). Deviations of the SA from the ideal behavior are caused by the limited area and flatness of the ground plane, and reflections from objects in the near vicinity such as buildings and trees. Also, reflections from the edges of the ground plane can cause a sinusoidal ripple in the measured SA, predominantly for vertical polarization measurements. By varying the location of the antenna pair on the ground plane, the magnitude and the phase of the ripple will also change.

To minimize these effects, the SA is measured at several antenna pair positions, and an average value is calculated. This average value will converge to the SA of an ideal site.

NOTE 1 A similar technique is given in reference [19].

The large OATS shall meet the following requirements:

- minimum ground plane size of 30 m by 20 m;

- deviation from flatness less than  $\pm 10$  mm;
- without protective layer (dielectric) on the metal ground plane.

The following procedure shall be used to determine  $A_{APR}$ .

- Identify paired test points on the OATS, according to the scheme shown in Figure 8. All nine points for each antenna shall be located on the ground plane. If a weather-protection cover is present on the OATS, the minimum distance between any test point and any part of the cover shall be greater than 3 m. Measurement locations inside the cover are prohibited.

NOTE 2 It is advantageous that the local grid (coordinate system) be placed at some non-zero angle relative to the (straight) edges of the ground plane, likewise at some non-zero angle relative to welded seams. An example of such a layout is given in Figure 9.

Under the following conditions, the use of less than nine measurement positions (18 points) shall be allowed.

- Where compliance was shown in the past:

If compliance with the standard deviation  $s \leq 0,3$  dB criterion [see Equation (10)] was shown for at least one pair of antennas for each frequency sub-range within the past 24 months, the following minimum numbers of antenna-pair measurement positions shall be allowed:

- one position (centre) for biconical antennas, in horizontal polarization;
- three positions (centre, plus two other positions) for biconical antennas, in vertical polarization;
- one position (centre) for LPDA antennas, in both polarizations.

- Where compliance can be shown with fewer points, if the compliance criterion is met with fewer than nine points it is permitted to use that number of points.

NOTE 3 For determining the most accurate  $A_{APR}$ , the use of all nine antenna-pair positions will improve the averaging result.

- Number the selected measurement positions from 1 to  $N$  ( $N \leq 9$ ).
- Place the antennas at position 1.
- Measure  $A_{APR,1}$  for all required heights and polarizations at all frequencies listed in Table 4.
- Repeat step d) for all other positions.
- Calculate the average of the measured  $A_{APR,i}$  expressed in dB, using Equation (9):

$$A_{APR} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N A_{APR,i} \quad (9)$$

- Calculate the standard deviation of the mean (i.e. of  $A_{APR}$ ) in dB, using Equation (10):

$$s(A_{APR}) = \sqrt{\frac{1}{N(N-1)} \sum_{i=1}^N (A_{APR,i} - A_{APR})^2} \quad (10)$$

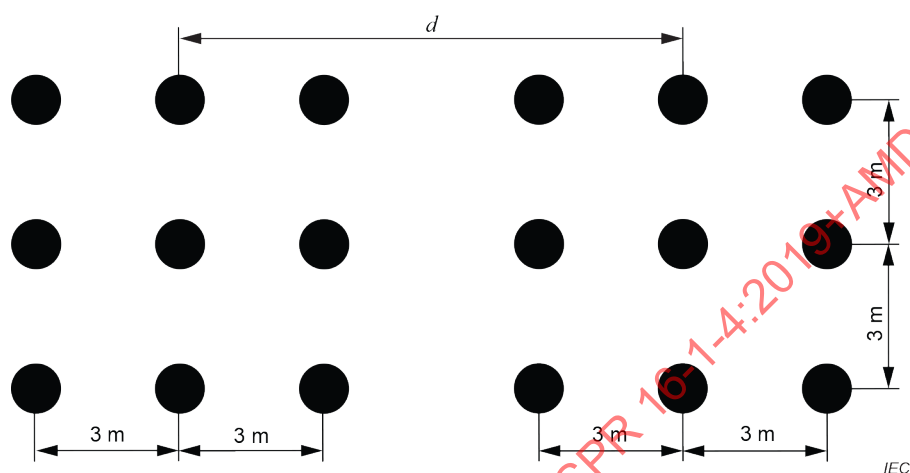
The calibrated  $A_{APR}$  values shall be deemed acceptable to use for subsequent COMTS validation if  $s \leq 0,6$  dB at all measured frequencies.

If  $N \geq 2$ , Equation (10) shall be used to calculate the accuracy of  $s(A_{APR})$  needed for an uncertainty calculation. If  $N = 1$ ,  $s = 0,6$  dB shall be assumed.

Special care shall be taken that no common offset (systematic effect) in the data for all selected positions is introduced. Such an effect could be due to influence of the antenna mast. For some antenna masts, a significant coupling between the metallic cover of the motor

box and the antenna can occur. The magnitude of this influence shall be investigated by changing the distance between the antenna and the motor cover  $d_{Ant}$  (see Figure 10), and repeating  $A_{APR}$  measurements with these new configurations. This influence shall be included in the uncertainty calculation.

Another cause for a common offset can be reflections from the antenna cable. To minimize this influence, the cable shall be extended horizontally for at least 2 m behind the antenna before routing down to the ground. Clamp-on ferrites shall be used on the cables to reduce surface currents. This influence factor shall be included in the uncertainty calculation as well.



$d$  is the distance between the projections of the two antenna reference points

**Figure 8 – Paired test point locations for all test distances**

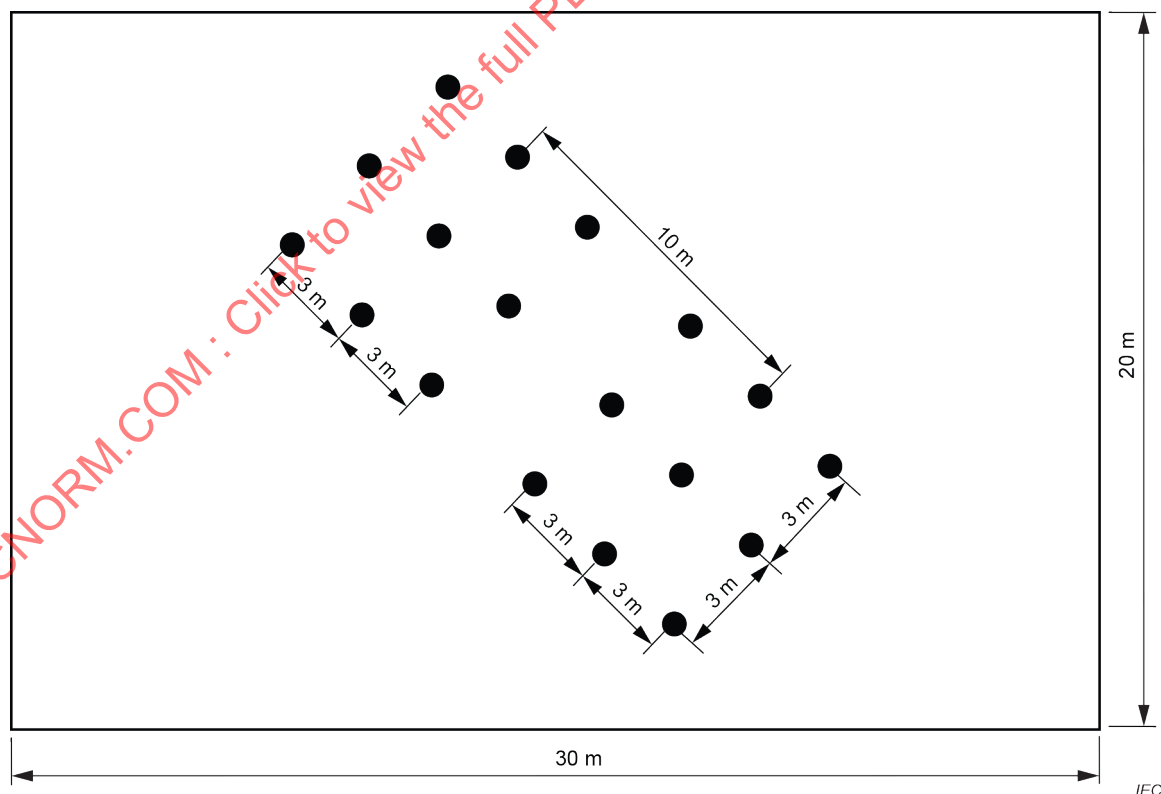


**Figure 9 – Example of paired test point selection for a test distance of 10 m**

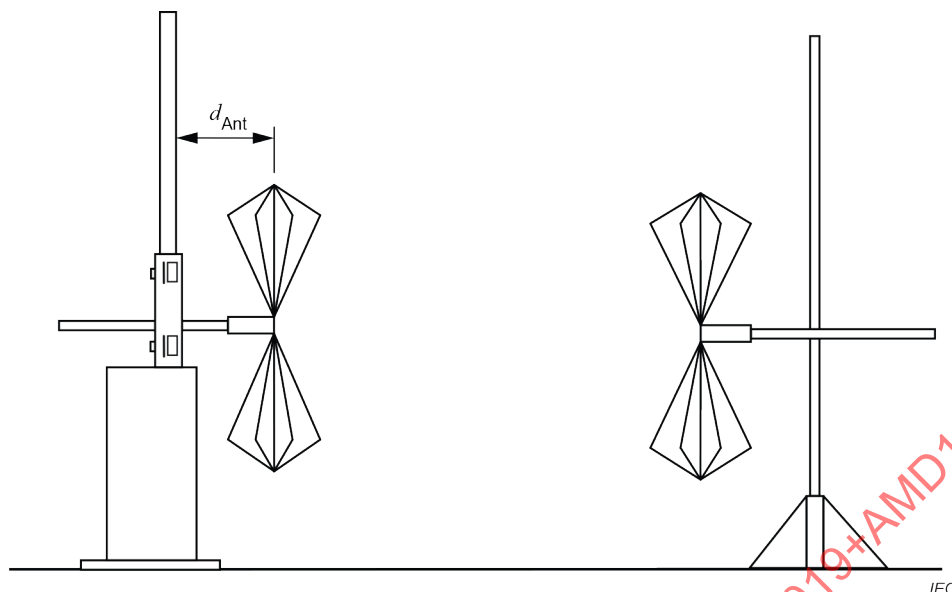


Figure 10 – Illustration of an investigation of influence of antenna mast on  $A_{APR}$

## 6.7 Validation of an OATS by the NSA method

### 6.7.1 Discrete frequency method

#### 6.7.1.1 Measurement set-up

Refer to Figure 11 and Figure 12 in 6.8 for specific test set-up details. The signal generator is connected to the transmit antenna with an appropriate length of cable. The transmit antenna is placed at the desired location. The transmit antenna height is set to  $h_1$  (see Table 2 for the values of  $h_1$ ) and the desired polarization is selected. For broadband antennas, the antenna heights shall be  $h_1 = h_{2,min} = 1$  m.

The receive antenna is mounted on a mast that allows scanning over the height range  $h_{2,min}$  to  $h_{2,max}$ , placed at a distance  $d$  from the transmit antenna, and connected to the measuring receiver or spectrum analyzer via a suitable length of cable. The same polarization as that for the transmit antenna is selected.

NOTE In contrast to the test set-up shown in Figure 11 and Figure 12, site validation of an OATS requires only a single site attenuation measurement.

#### 6.7.1.2 Measurement procedure

The following steps shall be used for each frequency indicated in Table 2. The measurements are first made for antennas horizontally aligned and then for antennas vertically aligned with the transmit antenna height set at  $h_1$ .

- Adjust the output level of the signal generator to give a received voltage display well above ambient and measuring receiver or spectrum analyzer noise.
- Raise the receive antenna on the mast through the  $h_2$  scan range as specified in Table 2. Record the maximum signal level; this value is  $V_{SITE}$  for Equation (6) (see 6.5).
- Disconnect the cables from the transmit antenna and the receive antenna, then connect these cables directly together with a straight-through adaptor.
- Record the signal level with the transmit antenna and receive antenna cables connected. This value is  $V_{DIRECT}$  for Equation (6).
- At each frequency and for each polarization, enter the values from steps b) and d) in Equation (6).

- f) Insert the antenna factors of the transmit antenna and the receive antenna at the measurement frequency in Equation (6).
- g) Solve  $A_s = V_{\text{DIRECT}} - V_{\text{SITE}} - F_{\text{aT}} - F_{\text{aR}}$  for  $A_s$ , which is the NSA for the measurement frequency and polarization used.
- h) Subtract the value in step g) from the appropriate theoretical NSA contained in Table 2, to obtain  $\Delta A_s$ .
- i) If the  $\Delta A_s$  results from step h) are less than  $\pm 4$  dB, the site is deemed to be acceptable at that frequency and polarization.
- j) Repeat steps a) through i) for the next frequency and polarization combination.

NOTE For NSA measurements, an impedance mismatch at the output of the signal source or at the input of the measuring receiver or spectrum analyzer can result in reflections which could cause errors. This can be avoided by use of attenuators of 10 dB, i.e. one at the transmit antenna and one at the receive antenna. If system sensitivity allows, these attenuators remain attached to the cables during the entire NSA measurement process.

## 6.7.2 Swept frequency method

### 6.7.2.1 Measurement set-up

The set-up is similar to that of 6.7.1, except that only broadband antennas are used. No restrictions on vertical polarization antenna height scan are necessary, due to the physically small size of such broadband antennas (compared to e.g. tuned dipoles). The antenna heights shall be  $h_1 = h_{2,\text{min}} = 1$  m.

### 6.7.2.2 Measurement procedure

The following steps should be made using automatic measuring equipment having a peak hold ('max. hold'), storage capability, and tracking generator. In this method, both receive antenna height  $h_2$  and frequency are scanned or swept over the required height and frequency ranges. The frequency ranges are usually determined by the type of broadband antenna used. The frequency sweep speed shall be much greater than the antenna height scan rate. Set the transmit antenna height to  $h_1$ .

- a) Adjust the output level of the tracking generator to give a received voltage display well above ambient and scanning receiver or spectrum analyzer noise.
- b) Raise the receive antenna on the mast to the maximum height of the scan range, as specified in Table 2.
- c) Set the spectrum analyzer to sweep the desired frequency range. Ensure that the spectrum analyzer is adjusted so that a similar signal up to 60 dB higher can be displayed on the same amplitude scale. This will accommodate the levels to be recorded in step d).
- d) Slowly lower the receive antenna to the minimum height of the scan range, as specified in Table 2 for the appropriate site geometry. Store or record the maximum received voltage display  $V_{\text{SITE}}$  in dB( $\mu$ V). (The time it takes to lower the antenna should be much longer than the frequency sweep time.)
- e) Disconnect the cables from the transmit antenna and the receive antenna and connect them directly together with a straight-through adaptor. Store or record the resulting voltage display  $V_{\text{DIRECT}}$  in dB( $\mu$ V).
- f) At each frequency, subtract the voltage measured in step d) from the voltage measured in step e). Also subtract the antenna factors of the transmit antenna and the receive antenna,  $F_{\text{aT}}$  in dB( $\text{m}^{-1}$ ) and  $F_{\text{aR}}$  in dB( $\text{m}^{-1}$ ), respectively (antenna factors as a continuous function of frequency can be obtained by using simple linear curve fitting on a set of discrete antenna factor values). The result is the measured  $A_s$  over the range of frequencies used, which should be plotted. Also plot the theoretical NSA for an ideal site shown in Table 2.
- g) The differences  $\Delta A_s$  found shall fall within the  $\pm 4$  dB criterion.



NOTE For NSA measurement methods, an impedance mismatch at the output of the signal source or at the input of the measuring receiver or spectrum analyzer may result in reflections which could cause errors. This can be avoided by use of padding attenuators of 10 dB, i.e. a 10 dB attenuator between each the transmit antenna connector and the receive antenna connector and the corresponding antenna cables. If system sensitivity allows, these attenuators typically remain attached to the cables during the entire NSA measurement process.

## 6.8 Validation of a weather-protection-enclosed OATS or a SAC

For an OATS with a weather-protection enclosure, or a SAC, a single site attenuation measurement is insufficient to pick up possible reflections from the construction materials and/or the RF-absorbing materials comprising the walls and ceiling of the facility. For these sites a "test volume" is defined as that volume traced out by the largest EUT or system to be tested as it is rotated about its centre location through 360°, such as by a turntable. Evaluating horizontal and vertical polarizations, such as illustrated in Figure 11 and Figure 12, may require a maximum of 20 separate SA measurements, i.e. five positions in the horizontal plane (centre, left, right, front, and rear, measured with respect to the centre and a line drawn from the centre to the position of the measuring antenna), for two polarizations (horizontal and vertical), and for two heights (1 m and 2 m for horizontal, 1 m and 1,5 m for vertical).

These measurements are performed with broadband antennas, and distances are measured with respect to the centres of the antennas. The transmit antenna and the receive antenna shall be aligned with the antenna elements parallel to each other, and orthogonal to the measurement axis.

For both horizontal and vertical polarizations, all antenna positions are at the periphery of the test volume, except for the centre position. As a guideline, the test volume should allow at least 25 cm between the antenna tip and the closest absorber tip, or at least 1 m between the antenna midpoint and the closest absorber tip. For vertical polarization, the lower tip of the antenna shall be greater than 25 cm from the floor, which may require the centre of the antenna to be slightly higher than 1 m for the lowest height measurement.

The number of required measurements can be reduced under the following conditions.

- a) The vertical and horizontal polarization measurements in the rear position may be omitted if the closest point of the construction and/or absorbing materials is at a distance greater than 1 m from the rear boundary of the test volume.

NOTE Radiated disturbance sources located near dielectric interfaces have been shown to have variations in current distribution that can affect the radiated properties of the source at that location. When an EUT can be located near these interfaces, additional SA measurements are necessary.

- b) The total number of horizontal polarization measurements along the test volume diameter joining the left and right positions may be reduced to the minimum number necessary for the antenna footprints to cover 90 % of the diameter.
- c) The vertical polarization measurements at the 1,5 m height may be omitted if the top of the EUT, including any mounting set-up table, is less than 1,5 m high.
- d) If the test volume is no larger than 1 m deep by 1,5 m wide by 1,5 m high, including a set-up table if used, horizontal polarization measurements need only be made at the centre, front and rear positions, but at both 1 m and 2 m heights. If the condition of item a) applies, the rear position may be omitted. This will require a minimum of eight measurements: four positions with vertical polarization (left, centre, right, and front) for one height, and four positions with horizontal polarization (centre and front) for two heights; see Figure 13 and Figure 14.

The receive antenna shall be re-positioned to maintain the appropriate separation along a line towards the turntable centre (see Figures 11, 12, 13 and 14). The test site is considered suitable for performing radiated disturbance measurement if all measurements prescribed above meet the requirements of 6.4.2.

If the test volume height  $h$  exceeds 2 m, two transmit antenna heights  $h_1$  shall be used; i.e.,  $h_1 = 1$  m and  $h_1 = h$  m for horizontal polarization, and  $h_1 = 1$  m and  $h_1 = (h - 0,5)$  m for vertical polarization. For example, if the test volume height  $h = 3$  m, then the transmit antenna heights  $h_1$  shall be 1 m and 3 m for horizontal polarization, and 1 m and 2,5 m for vertical polarization;

if the test volume height  $h = 4$  m, then  $h_1$  shall be 1 m and 4 m for horizontal polarization, and 1 m and 3,5 m for vertical polarization.

NSA data for additional transmit antenna heights of 3,0 m and 4,0 m (HP) and 2,5 m and 3,5 m (VP) for a measurement distance of 10 m, and for an additional transmit antenna height of 2,5 m (HP) and 2,0 m (VP) for a measurement distance of 5 m, are provided in Table 2.

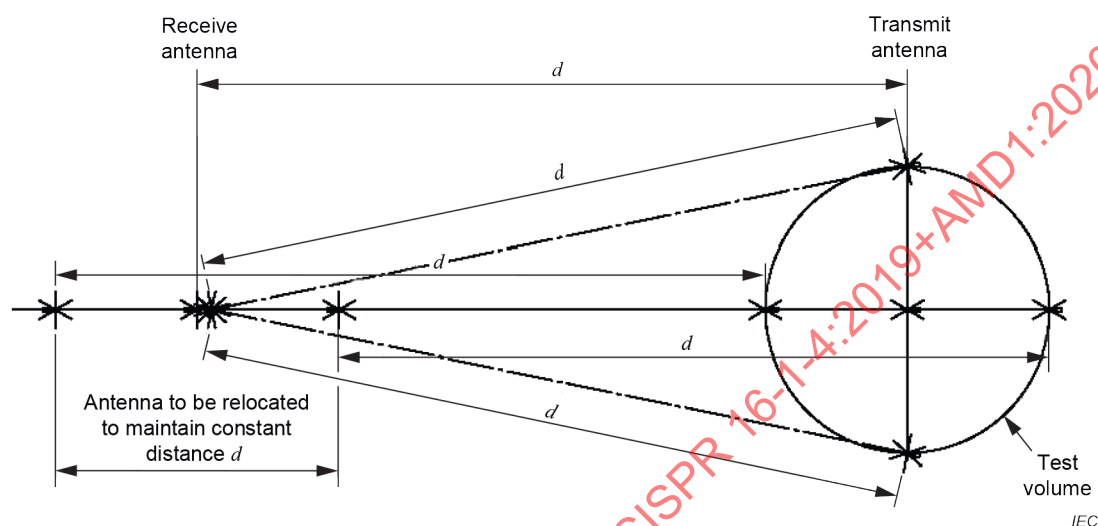


**Figure 11 – Typical antenna positions for a weather-protected OATS or a SAC – vertical polarization validation measurements**

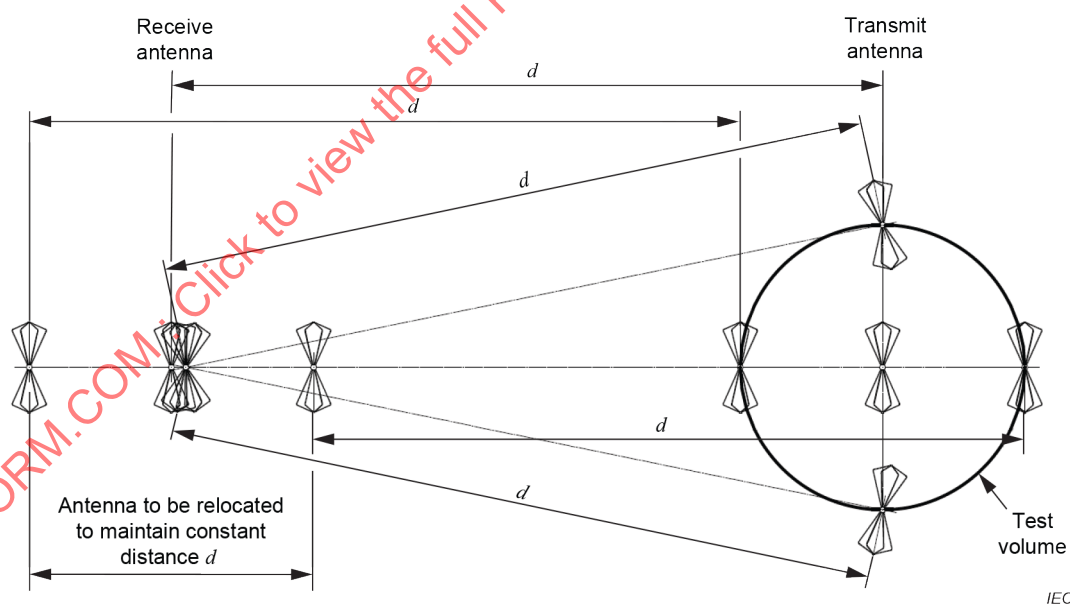


**Figure 12 – Typical antenna positions for a weather-protected OATS or a SAC – horizontal polarization validation measurements**



**Figure 13 – Typical antenna positions for a weather-protected OATS or a SAC – vertical polarization validation measurements for a smaller EUT**



**Figure 14 – Typical antenna positions for a weather-protected OATS or a SAC – horizontal polarization validation measurements for a smaller EUT**

- measurement procedure;
- accuracy of antenna factors;

- drift in signal source or accuracy of receiver or spectrum analyzer input attenuator; and
- readings from the measurement devices.

If no errors are found for the parameters in the preceding list, then the site shall be considered to be at fault, and detailed investigation of possible causes of site variability shall be made. Annex F describes the errors that can occur in NSA measurements.

Note that because vertical polarization is generally a more stringent measurement condition, site anomalies would typically be investigated using this more sensitive metric rather than horizontal polarization NSA results. Key items to investigate include:

- size and construction inadequacy of the ground plane;
- objects at the perimeter of the site that could cause undesired reflections;
- reflections from all-weather cover;
- discontinuity in the ground plane at the turntable circumference, for configurations where the turntable surface is conductive and at the same height as the site ground plane;
- thickness of any dielectric ground plane covers; and
- openings in the ground plane, e.g. for stairways to underground control rooms.

## 6.10 Site validation for FARs

### 6.10.1 General

For a FAR, the NSA shall satisfy the requirement of 6.10.4 over a cylindrical test volume generated by the rotation of the EUT on the turntable. In this context, “the EUT” includes all components of a multi-unit EUT and the interconnecting cables. Table 5 defines the maximum height and diameter ( $h_{\max} = d_{\max}$ ) of the test volume as a function of test distance. This ratio between diameter and test distance ensures an acceptable uncertainty in EUT disturbance measurement.

**Table 5 – Maximum dimensions of test volume versus test distance**

| Maximum diameter $d_{\max}$<br>and height $h_{\max}$<br>of the test volume<br>m | Test distance<br>$d_{\text{nominal}}$<br>m |
|---------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 1,5                                                                             | 3,0                                        |
| 2,5                                                                             | 5,0                                        |
| 5,0                                                                             | 10,0                                       |

A single-position SA measurement may not be sufficient to pick up possible reflections from the shielded room construction materials and/or absorbing materials lining the walls, floor, ceiling, and turntable of a FAR.

Therefore, FAR site validation measurements shall be performed at fifteen measurement positions, for both horizontal and vertical antenna polarizations of the transmit antenna in the test volume (see Figure 15) as follows:

- at three heights of the test volume: bottom, middle and top;
- at five positions in all three horizontal planes: centre, left, right, front, and rear positions in each horizontal plane. The rear position may be omitted if the distance between the rear position and absorbers is more than 0,5 m. During EUT testing, the rear position on the turntable is also turned to the front, and the contribution of the back reflection then will not affect the maximum signal.

For SA measurements, two broadband antennas shall be used: one transmit antenna with its reference point at the measurement positions of the test volume, and one receive antenna outside this test volume at a prescribed orientation and position. The transmit antenna shall have an approximately omnidirectional H-plane pattern, typically a small biconical antenna.

The maximum dimension of the transmit antenna should not exceed 40 cm for a 3 m test distance; at larger distances, the tip-to-tip length of the biconical antenna may be a maximum of 44 cm for a cage design, or 50 cm if it is the collapsible type or a spun-metal cone.

Typical receive antennas are hybrid antennas for 30 MHz to 1 000 MHz, or separate antennas (biconical for 30 MHz to 200 MHz, and LPDA for 200 MHz to 1 000 MHz).

NOTE 1 Use of a hybrid antenna is not recommended for either EUT disturbance measurement or FAR site validation at 3 m distance, due to the relatively large physical size of typical hybrid antennas.

The same antennas used to measure the SA of a FAR shall also be used to measure the reference SA at a quasi free-space test site (see 6.10.2). The receive antenna used during the FAR validation shall be of the same type as used during subsequent radiated disturbance measurements of EUTs.

For test volume validation, both in horizontal and vertical polarizations, and for all transmit antenna positions in the test volume, the height position of the receive antenna in a FAR shall remain fixed at the middle level of the test volume, as shown in Figure 15 and Figure 16. Tilting the antennas is necessary to align the boresight axes of both antennas in one measurement axis along the line between the test points. The distance between the antenna reference point (defined by the antenna calibration) and the front position of the test volume is  $d_{\text{nominal}}$ . When the transmit antenna is moved to other positions in the test volume, the receive antenna shall be translated along the measurement axis to maintain  $d_{\text{nominal}}$  constant. The measurement axis is the line between the transmit antenna and the receive antenna, along which  $d_{\text{nominal}}$  is established. For all positions and polarizations, the receive antenna and the transmit antenna shall face one another with the elements of both antennas parallel (using tilting – see Figure 16). Any antenna masts and supporting floors shall be in place during the site validation measurements.

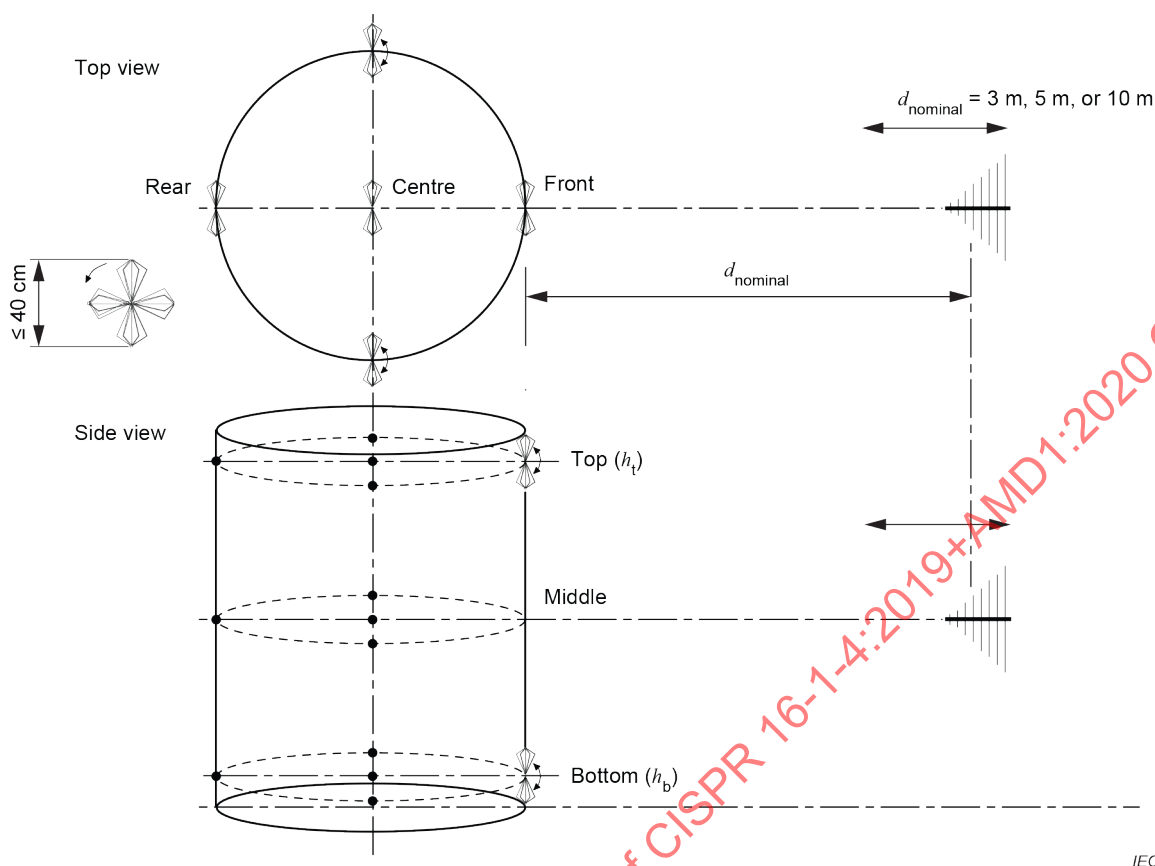


**Figure 15 – Measurement positions for FAR site validation**

For all positions of the transmit antenna in the test volume, in both horizontal and vertical polarizations, the transmit antenna and the receive antenna shall be aligned along the measurement axis.

$d_{\text{nominal}}$  is the EUT test distance associated with the limit;  
is the fixed antenna distance in the site validation measurements;  
is the antenna separation used during measurement of the reference SA if the RSM is used.

The transmit antenna height position in the test volume shall be determined as follows:

- “Middle” ( $h_m$ ) position: where possible, along a virtual axis positioned at mid-height and mid-width of a FAR;
- “Top ( $h_t$ )” and “Bottom ( $h_b$ )” positions: half of  $h_{\text{max}}$  (see Table 5) minus half of the transmit antenna dimension (e.g. 20 cm for a small biconical antenna).

These adjusted positions shall be used for both vertical and horizontal polarizations. The distance between the top and bottom planes and the ceiling and floor absorbers, respectively, is given by the absorber performance as determined by the volumetric NSA test; the distance shall be at least 0,5 m, to avoid EUT to absorber coupling.

The maximum step size for discrete-frequency measurements shall be as listed in Table 6.

Two methods are acceptable for FAR site validation:

- a) the RSM (6.10.2), which is required for test distances less than 5 m; or

b) the NSA method (6.10.3), which is preferred for test distances greater than or equal to 5 m.

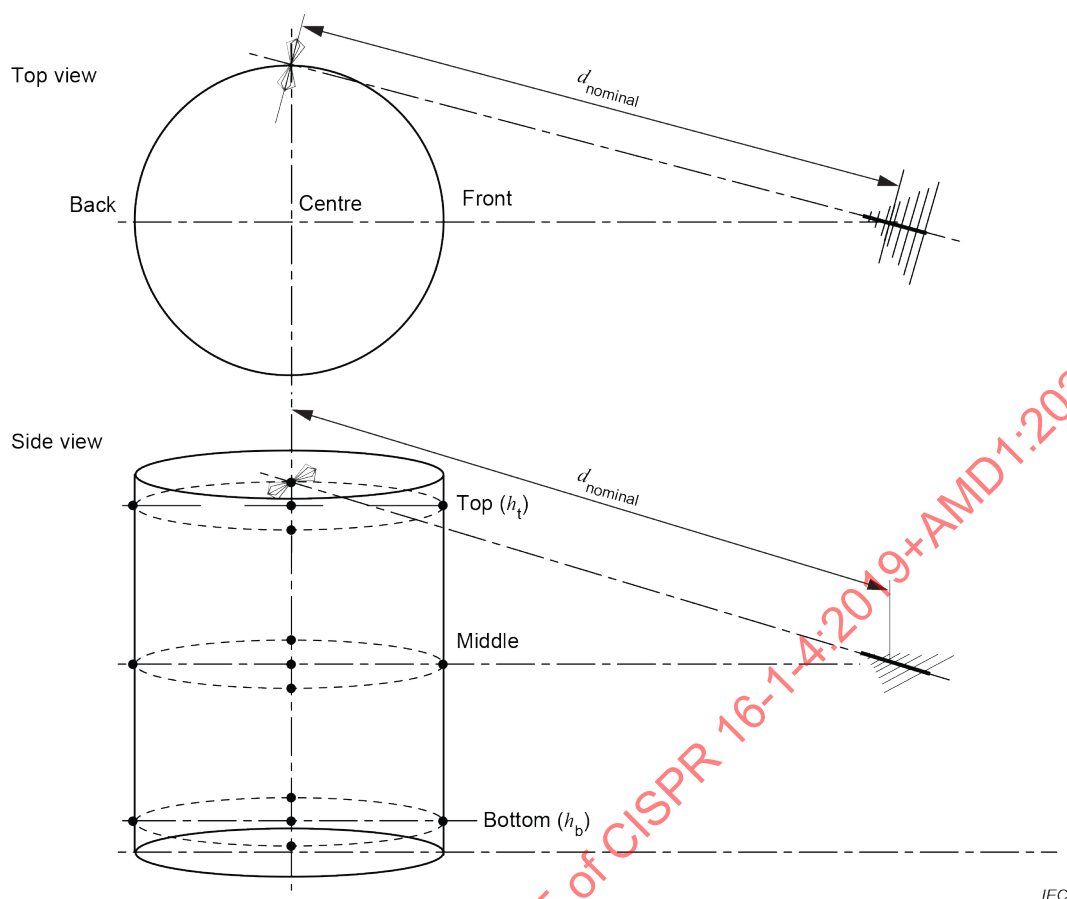
NOTE 2 At separations less than 5 m, antenna mutual coupling cannot be neglected. Additionally it is impractical to determine the RSM  $A_{APR}$  at distances larger than 5 m.

The site validation measurement methods are intended to provide 0 dB deviation from the SA that would result on an ideal site. The site validation criterion is defined in 6.10.4. Any means to reduce measurement uncertainty may be used, as long as these do not contradict the defined set-up and procedures or mask any site deficiencies (e.g. shall not inappropriately smooth resonant responses in results).

Site validation measurement uncertainty can be reduced by the following measures.

- a) For a vertically-polarized antenna, shielded cables shall be extended by at least 2 m behind each antenna before dropping the cable to the ground. If possible, cables shall extend straight back to the bulkhead connectors in the wall of the FAR. Another possibility is the use of clip-on ferrites on the cables. Another alternative for reducing the influence of RF cables is by instead using optical links.
- b) Attenuators at the antenna connectors (e.g. 6 dB or 10 dB) will reduce the influence of any large impedance mismatch at the antennas.
- c) Antennas with good balance of the balun shall be used (i.e. such that the receiver reading changes less than  $\pm 0,5$  dB when the antenna is rotated through  $180^\circ$  with respect to its boresight axis). Antenna balance verification methods are described in 4.5.4.
- d) Separate biconical and LPDA antennas for FAR validation may be used (different antenna types below and above 200 MHz), if these will be used for EUT testing. A hybrid antenna may be used instead if the mechanical dimensions are sufficiently small relative to the test distance.

FAR site validation measurements shall be performed at regular intervals, to detect long-term changes in FAR characteristics, and when changes occur that might influence the electromagnetic-wave transmission characteristics in a FAR.



NOTE Horizontal antenna polarizations, top right position.

**Figure 16 – Example of one measurement position and antenna tilt for FAR site validation**

**Table 6 – Frequency ranges and step sizes for FAR site validation**

| Frequency range<br>MHz | Maximum frequency step<br>MHz |
|------------------------|-------------------------------|
| 30 to 100              | 1                             |
| 100 to 500             | 5                             |
| 500 to 1 000           | 10                            |

### 6.10.2 RSM for FAR sites

The RSM accounts for antenna near field effects and field taper, which can have a significant influence on results at 3 m test distance involving a biconical receive antenna. Whilst these effects are present in the NSA method, they can largely be corrected for. The reference SA  $A_{APR}$  is measured at the nominal distance,  $d_{nominal}$ , between the transmit antenna and the receive antenna.

The FAR site validation procedure for each test volume position is performed in three steps as follows.

- $V_{DIRECT}$  is the reference level measured by the receiver in dB( $\mu$ V) with the cables connected directly together, which is normally done once before a series of volumetric tests;
- $V_{SITE}$  is the level measured by the receiver in dB( $\mu$ V) with antennas in place;



- c) the SA deviation ( $\Delta A_s$ ) relative to the antenna pair reference SA ( $A_{APR}$ ), in dB, is calculated using Equation (11).

$$\Delta A_s = V_{DIRECT} - V_{SITE} - A_{APR} \quad (11)$$

For accurate site validations at distances less than 5 m, it is recommended that a dedicated pair of antennas (transmit antenna and receive antenna) be used to determine the reference SA. A quasi free-space test site (defined in 3.1.18) is required as the reference site. A quasi free-space test site includes two non-metallic antenna masts (constructed from wood or plastic with  $\epsilon_r \leq 2,5$ , low loss, and diameter at minimum while retaining mechanical strength), which allow the placement of antennas at a sufficient height above ground level (Figure 17). One method to realize the  $\pm 1$  dB SA performance of the reference site is to choose the height ( $h$ ) of the antennas using Equation (12):

$$h \geq d \times \frac{8}{3} \quad (12)$$

where  $d$  is the antenna separation in m.

A height of  $h = d \times 8/3$  is recommended to suppress the influence of the ground; alternatively a suitable coverage area of RF absorbers effective for frequencies down to 30 MHz shall be placed on the ground.

NOTE At 3 m separation and 30 MHz, there is a significant effect from the near-field component ( $1/d^2$ ) that alone contributes an error of 0,8 dB for a height of  $d \times 5/3$ , as verified by the UK National Physical Laboratory (NPL). For a reference SA with an uncertainty of less than  $\pm 0,5$  dB, a height of  $d \times 8/3$  is a good solution when the absorber is not placed on the ground.

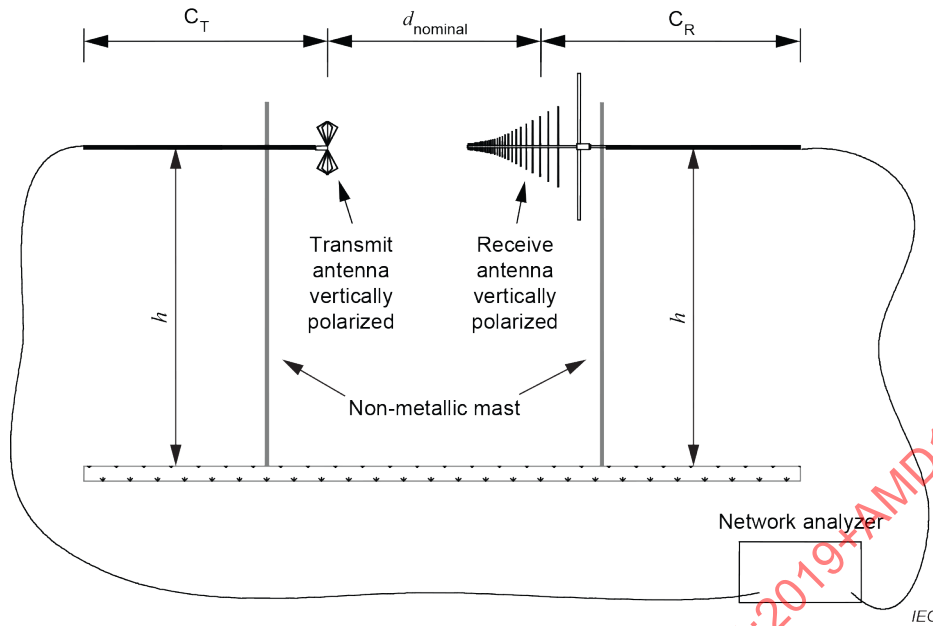
The test distance at the reference site shall be equal to the actual distance  $d_{nominal}$  between the antennas to be used subsequently in a FAR. The antennas are polarized vertically (horizontal polarization shall not be used because of stronger interference with the ground-reflected signal), providing a good approximation to free-space conditions. Clearance from buildings, trees, etc., shall be greater than  $d \times 8/3$ , due to their influence on vertically polarized antenna measurements.

Care shall be taken that the antenna feed cables do not affect the test result. This is best avoided by a cable arrangement as shown in Figure 17, or instead using RF-optical links. The quality of the reference test site set-up directly influences the subsequent FAR evaluation results. The antenna-pair reference SA ( $A_{APR}$ ) is determined in three steps as follows.

- $V_{DIRECT RS}$  is the reference level measured by the receiver in dB( $\mu$ V) with the cables connected together;
- $V_{SITE RS}$  is the level measured by the receiver in dB( $\mu$ V) with the antennas installed at the required distance  $d_{nominal}$ .
- the  $A_{APR}$  in dB is calculated according to Equation (13):

$$A_{APR} = V_{DIRECT RS} - V_{SITE RS} \quad (13)$$

For 3 m site validation, a height of at least 4 m above ground shall be used for the antenna pair, which is a typical capability of remotely controllable antenna masts used for EUT disturbance measurements. In this case, electromagnetic absorbers shall be placed on the ground between the antennas, with the absorber patch extending for a minimum area beyond the antennas in all directions, and it shall be demonstrated that a quasi free-space condition is fulfilled (i.e. SA measurement results within  $\pm 1$  dB of the ideal response at any frequency). For site validation with  $d > 3$  m, the equation  $h > d \times 8/3$  is used to determine the set-up configuration, or an alternative set-up that has been demonstrated to fulfil the  $\pm 1$  dB reference SA can be used.



#### Key

$d_{\text{nominal}}$  validation distance

$h$  height of the antennas above a ground plane or above ground level

$C_T, C_R$  coaxial feed cables for transmit and receive antennas oriented horizontally behind the antennas for a distance as close to 2 m as physically possible. In a FAR, route the cables horizontally as far as possible, preferably straight through a hole in the chamber wall, or use optical fibre connected to an RF-optical link on the output of the antenna.

NOTE Reference SA is obtained separately for all geometries of Figure 17.

**Figure 17 – Typical quasi free-space test site reference SA measurement set-up**

#### 6.10.3 NSA method for FAR sites

This subclause describes the NSA method applied to FARs. The antenna geometry is given in 6.10.1. Site attenuation (SA,  $A_s$  as a quantity in dB) is the transmission loss measured between the connectors of two antennas on a particular site. For free-space sites, no antenna height scanning is applied, which is denoted by the term “site insertion loss” (see 3.1.26).

For a free-space environment,  $A_s$  (in dB) can be approximated by Equation (14) [13]:

$$A_s = 20 \lg \left( \frac{5Z_0}{2\pi} \times \frac{d}{\sqrt{1 - \frac{1}{(\beta d)^2} + \frac{1}{(\beta d)^4}}} \right) - 20 \lg(f_M) + F_{aR} + F_{aT} \quad (14)$$

where

$F_{aR}, F_{aT}$  are the antenna factors of the receive antenna and the transmit antenna in dB(m<sup>-1</sup>);

$d$  is the distance between the phase centres of both antennas in m;

$Z_0$  is the system impedance (i.e. 50 Ω);

$\beta$  is defined as  $2\pi/\lambda$ ; and

$f_M$  is the frequency in MHz.

The theoretical NSA ( $A_{N\text{theo}}$ ) in dB(m<sup>2</sup>) is defined as SA with respective antenna factors subtracted, thus Equation (14) is rewritten as Equation (15):

$$A_{N\text{theo}} = 20 \lg \left( \frac{5Z_0}{2\pi} \times \frac{d}{\sqrt{1 - \frac{1}{(\beta d)^2} + \frac{1}{(\beta d)^4}}} \right) - 20 \lg(f_M) \quad (15)$$

Below 60 MHz at a 5 m distance, or below 110 MHz at a 3 m distance, it is necessary to apply near field correction factors for each of the required measurement positions of Table 5, for comparison with the theoretical NSA values of Figure 18 and Equation (15). Near field correction factors are specific to the antennas, test distance, and test volume used; while these factors can be obtained by using a numerical modelling code such as NEC [3], sufficiently low uncertainties are obtained by the use of Equation (15). Alternatively, the RSM of 6.10.2 provides cancellation of near field terms if the same antennas and frequencies are used for both the reference SA measurement and subsequent FAR validation.

For measurement distances of 10 m and 30 m, the near-field terms in Equation (15) may be omitted, and the equation simplifies to Equation (16):

$$A_{N\text{theo}} = 20 \lg \left( \frac{5Z_0 d}{2\pi} \right) - 20 \lg(f_M) \quad (16)$$

If simplified Equation (16) is used instead of Equation (15), the error introduced is less than 0,1 dB at frequencies above 60 MHz for 5 m distance, and above 110 MHz for 3 m distance. The error will be greater than 0,1 dB below these frequencies, due to near-field effects. For a 3 m distance, the maximum error is 1 dB at 30 MHz. To reduce this error to less than  $\pm 0,3$  dB, Equation (15) should be used.

NOTE 1 Frequencies below 110 MHz for 3 m measurement distances, and below 60 MHz for 5 m measurement distances, include near field effects. These are calculated for each individual test site.

The free space antenna factors of the transmit antenna and the receive antenna are required for this procedure. Site validation for each measurement position shall be performed in three steps as follows.

- $V_{\text{DIRECT}}$  is the reference level measured by the receiver with the cables connected directly together;
- $V_{\text{SITE}}$  is the level measured by the receiver with the antennas in place;
- the SA deviation ( $\Delta A_s$ ) is calculated in dB using Equation (17):

$$\Delta A_s = V_{\text{DIRECT}} - V_{\text{SITE}} - A_{N\text{theo}} - F_{aT} - F_{aR} \quad (17)$$

where  $A_{N\text{theo}}$  is calculated using Equation (16), and the result is compared with the applicable criterion, as specified in 6.10.4.

NOTE 2 The distance  $d$  between the reference points of the transmit and receive antennas (defined during antenna calibration) is used as  $d_{\text{nominal}}$ . The effective distance between the antennas varies with frequency due to their phase centre positions. The transmission loss can be compensated by the ratio of the effective distance to  $d_{\text{nominal}}$ . Because an antenna calibration is not defined for the nominal test distance, the variation in effective measurement distance due the variation of phase centre locations when LPDA antennas are used can be applied as a correction. The additional uncertainty due to this correction and due to any mutual coupling of the antennas can be avoided by using the RSM.

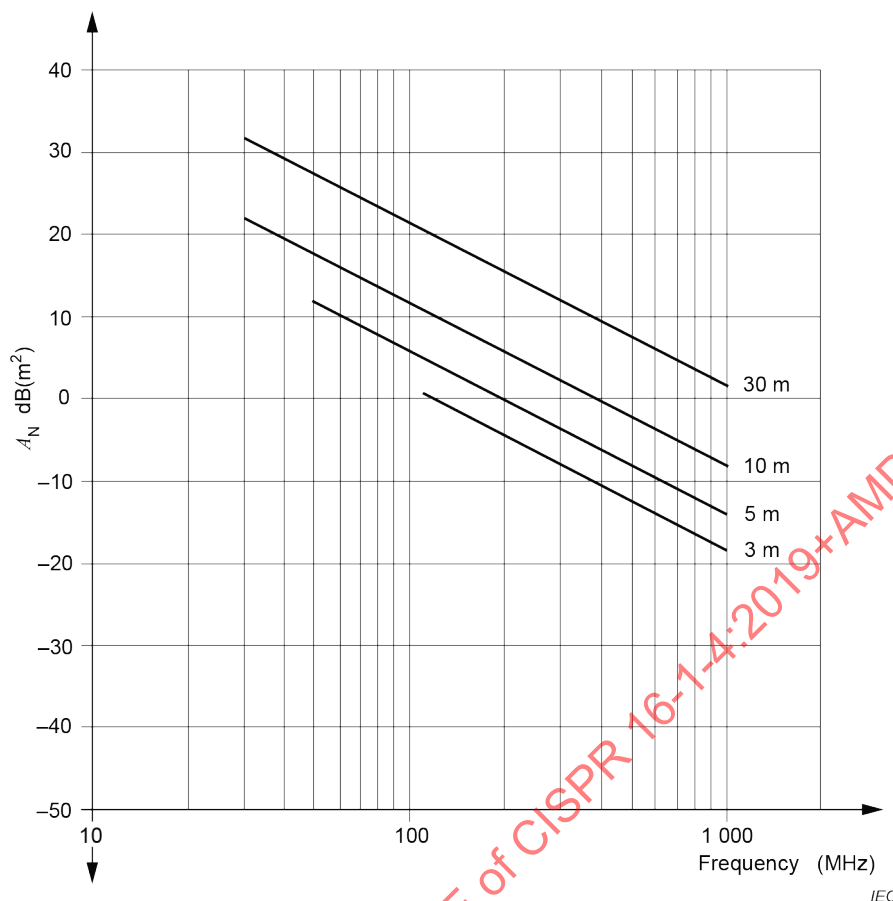


**Figure 18 – Theoretical free-space NSA as a function of frequency for different measurement distances [see Equation (16)]**

#### 6.10.4 Site validation criteria for FAR sites

The SA deviation  $\Delta A_s$  shall be less than  $\pm 4$  dB for both horizontal and vertical polarizations and for each measurement position and measurement frequency range.

#### 6.11 Evaluation of set-up table and antenna tower

##### 6.11.1 General

A set-up table as specified in D.5 typically positions the EUT for field strength measurements. The shape, construction, and material permittivity of the set-up table can influence the field strength measurement results (see [2], [5], [6], [8]). Subclause 6.11.2 describes a procedure to determine the influence of the set-up table for the 30 MHz to 18 GHz frequency range, and to estimate its related uncertainty contribution to field strength measurements. An evaluation shall be performed on any set-up table with a height of more than 0,15 m.

NOTE Only horizontal polarization of a transmit antenna above the set-up table is used in the evaluation. Horizontal polarization, rather than vertical polarization, accounts for the worst-case effects from the table.

The antenna tower does not require additional evaluation, because any perturbation effects will be included in the site validation measurement (see 6.4) and in the  $S_{VSWR}$  measurement (see 7.3).

### 6.11.2 Evaluation procedure for set-up table influences

To evaluate the influence of the set-up table, two transmission measurements are performed: one with the set-up table present, the second with the set-up table absent. During the two measurements, a transmit antenna is maintained in a specific arrangement. The difference between the measurement results with and without the set-up table gives an estimate of the influence caused by the set-up table. The measurement procedure is as follows.

The set-up table shall be placed in the typical position on the test site with the largest dimension (i.e. the diagonal for a set-up table with a rectangular top, or the radius for a table with a circular top) oriented in the direction of the receive antenna (see Figure 19).

For frequencies up to 1 GHz, a small biconical antenna with an overall length of less than 0,40 m shall be used. For frequencies above 1 GHz, an antenna in accordance with 7.4.2 (for example a broadband dipole) shall be used.

Refer to Figure 19 and Figure 20 for placement of the transmit antenna. The antenna shall be placed above the set-up table in horizontal polarization with a distance of 0,1 m between the table surface and the antenna reference point (balun). The antenna shall be positioned with the reference point midway between the centre and the edge of the set-up table top in the direction of the receive antenna. A signal generator shall feed the antenna. The transmit antenna and the receive antenna shall be aligned with the antenna elements parallel to each other and orthogonal to the measurement axis. During the measurement, frequency steps shall be less than or equal to 0,5 % of the highest frequency used. The receive antenna voltage shall be at least 20 dB above the noise level of the measurement equipment. The influence of cabling can be minimized by using long cables or by using ferrite tubes. Routing the cables horizontally to the rear a minimum of 2 m is typically sufficient. Either way, the influence shall be defined as negligible if the receive voltage does not change by more than 0,3 dB when the cable routing is changed by more than 0,5 m from its original position.

**EXAMPLE** A cable with ferrite tubes is routed horizontally for a distance of 1,6 m. To check the cable influence, the cable is re-routed to drop vertically from a point 2,1 m from the connection to the antenna. Then the field strength is re-measured to determine whether the influence is no more than 0,3 dB.

The aim is that there are no changes in the measurement set-up apart from the table being present or absent. The transmit antenna, and its cable connecting to the signal generator, shall be supported in such a way that they retain identical positions in space with and without the table present. A mast, tripod, or tower as used during NSA/RSM measurements (see 6.4) or  $S_{VSWR}$  (see 7.3) shall be used to support the transmit antenna and cable.

Antenna heights and distances shall be as follows:

- For all frequencies, the distance between the receive antenna and the transmit antenna shall be as required for the radiated disturbance measurement.
- At or below 1 GHz, measurements shall be made from at least 200 MHz to 1 GHz. In an OATS or SAC, the receive antenna height shall be scanned as required in the radiated disturbance measurement (typically between 1 m and 4 m). In a FAR, the receive antenna shall be fixed at the height required for the radiated disturbance measurement.

**NOTE** Below 200 MHz the influence of the set-up table is negligible when applying this verification procedure.

- Above 1 GHz, measurements shall be performed over the same frequency range (e.g. 1 GHz to 18 GHz), and the antenna height shall be set (e.g. 1 m to 4 m), as required for the radiated disturbance measurement.

The magnitude of the difference between the two measurement results at each frequency, written as  $\Delta(f)$  and expressed in dB, shall be calculated using Equation (18).

$$\Delta(f) = |V_{R,with}(f) - V_{R,without}(f)| \quad (18)$$

where

$V_{R,with}(f)$  is the maximum voltage at the receive antenna at a specific frequency, expressed in dB(μV), measured with the set-up table present;

$V_{R,without}(f)$  is the maximum voltage at the receive antenna at a specific frequency, expressed in dB(μV), measured with the set-up table absent.

The maximum magnitude of the difference between the two measurement results recorded across the frequency range, written as  $\Delta_{max}$  and expressed in dB, shall be used as the estimated maximum deviation. This shall be calculated in accordance with Equation (19).

$$\Delta_{max} = \max |V_{R,with}(f) - V_{R,without}(f)| \quad (19)$$

The standard uncertainty  $u_{table}$  caused by the set-up table is estimated by assuming a rectangular distribution for the measured maximum difference  $\Delta_{max}$ . Then  $u_{table}$  (in dB) can be calculated using Equation (20).

$$u_{table} = \frac{1}{\sqrt{3}} \Delta_{max} \quad (20)$$

The value  $u_{table}$  shall be measured and considered in the uncertainty budget (see CISPR 16-4-2) in the following frequency ranges:

- 200 MHz to 1 GHz;
- 1 GHz to 6 GHz;
- 6 GHz to 18 GHz.

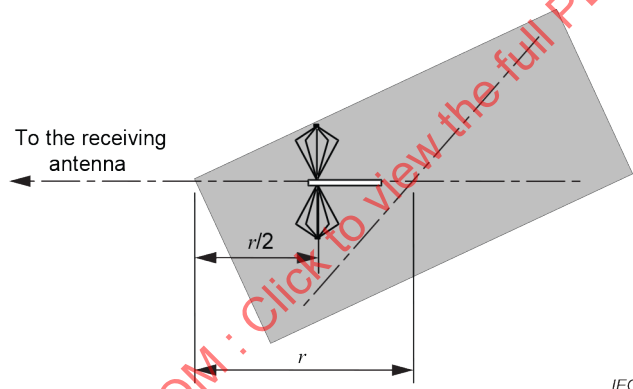


**Figure 19 – Position of the antenna relative to the edge above a rectangle set-up table (top view)**

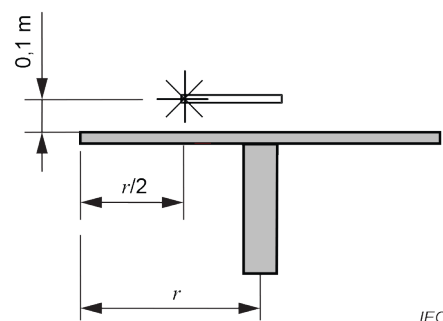


**Figure 20 – Antenna position above the set-up table (side view)**

NOTE Set-up table construction and types of materials will vary among test laboratories. It is sufficient to determine the worst-case value of  $\Delta$  (or  $V_{R,with}$ ) in the determination of  $u_{table}$ .

## 7 Test sites for measurement of radio disturbance field strength for the frequency range 1 GHz to 18 GHz

### 7.1 General

The test site shall rely on reflection-free conditions; it may be necessary to use absorbing material and/or to raise the height of the EUT to achieve these free-space conditions.

NOTE In the case of floor-standing equipment tests, reflection-free conditions might not be achieved close to the ground.

## 7.2 Reference test site

The reference test site shall be a free-space, open-area test site (FSOATS), with precautions to ensure that reflections do not influence the measurement results.

NOTE The FSOATS is the ideal concept of the test site.; Aa practical approximation of an FSOATS is a FAR that meets the validation requirements given in 7.3.

## 7.3 Test site validation

### 7.3.1 General

A test site shall be considered acceptable for radiated disturbance measurements in the 1 GHz to 18 GHz range if it satisfies the criterion provided in 7.3.2. Two site validation procedure options are provided: the  $S_{VSWR}$  standard test procedure (see 7.6) and the  $S_{VSWR}$  reciprocal test procedure (see 7.7). For the purposes of testing per CISPR standards, site validation measurements shall be performed from 1 GHz to the maximum frequency in use at the test facility; the maximum frequency shall be at least 2 GHz.

Test sites used for measurements in the 1 GHz to 18 GHz range shall have a design that minimizes the influence of reflections upon the received signal,; for example, an anechoic chamber. If the site is not designed to provide fully-anechoic conditions, for example a semi-anechoic chamber, use of absorbing material to cover part of the metal ground plane is required, as described in the following paragraphs.

In cases where the test volume extends from the conducting floor of the facility to above the EUT, as may be typical for facilities used primarily for testing floor-standing EUTs, for the validation measurement absorber shall be placed in the test volume as necessary. To accommodate testing of floor-standing equipment that cannot be positioned above the ground plane, illumination of the test volume for a height of up to 30 cm may be obstructed by absorber placed on the ground plane.

When measuring the disturbance of an EUT size smaller than the validated diameter, the diameter of the validated test volume is assumed to apply. In this case the antenna position is adjusted such that the distance between the EUT and the antenna reference point is identical to the distance used for the  $S_{VSWR}$  validation measurements.

NOTE 1 For EUTs smaller than the validated test volume, the rationale is that the RX antenna position in relation to the front of the EUT be adjusted to remain at the distance used in  $S_{VSWR}$  validation. It is assumed that a smaller EUT will remain within the half-power beamwidth of the RX antenna and since the chamber is validated for the largest EUT and therefore the widest beamwidth of the RX antenna, the requirements of 7.6.6.1 in CISPR 16-2-3:2010 are met.

During the disturbance measurement of a floor-standing EUT, floor absorber used during the site validation may be removed in the immediate area (footprint) of the EUT, and for up to 10 cm surrounding the EUT footprint.

In facilities where the test volume is above the height of the absorber, as may be typical of facilities used for testing table-top equipment, absorber may be placed under the test volume for both site validation and equipment tests. Photographs showing the site absorber configuration and transmit antenna and receive antenna locations shall be included in the site validation report.

Site validation is performed by measurements of the  $S_{VSWR}$ . The site validation method evaluates a given test volume for the specific combination of site, receive antenna, test distance (described in CISPR 16-2-3), and absorbing material placed on the ground plane, if needed to meet the criterion of 7.3.2.



Influences of the receive antenna mast located as used for the site validation tests, and permanently-fixed objects in the test volume (such as a permanently-installed turntable), are evaluated by and included in this site validation procedure. Removable objects, such as a removable set-up table, are not required to be in place during the site validation tests if their influence is to be evaluated separately using the additional procedures of 6.11 of this document.

CISPR 16-2-3 provides a description of the EUT measurement method used for testing in 1 GHz to 18 GHz. The purpose of the  $S_{VSWR}$  procedure is to check for the influence of reflections that may be incident upon an EUT of arbitrary size and shape placed within the test volume as evaluated using this procedure.

The  $S_{VSWR}$  is the ratio of maximum received signal to minimum received signal, caused by interference between direct (intended, wanted) and reflected (unwanted) signals, or given by Equation (21):

$$S_{VSWR} = \frac{E_{\max}}{E_{\min}} = \frac{V_{\max}}{V_{\min}} \quad (21)$$

where

$E_{\max}$  and  $E_{\min}$  are the maximum and minimum received signals, and

$V_{\max}$  and  $V_{\min}$  are the corresponding measured voltages when a receiver or spectrum analyzer is used for reception.

For the procedures that follow, decibels (dB) are typically used for the measurements and calculations. In this case,  $S_{VSWR}$  is given by Equation (22):

$$S_{VSWR,dB} = 20 \lg \left( \frac{V_{\max}}{V_{\min}} \right) = 20 \lg \left( \frac{E_{\max}}{E_{\min}} \right) = V_{\max,dB} - V_{\min,dB} = E_{\max,dB} - E_{\min,dB} \quad (22)$$

NOTE 2 When decibels are used,  $S_{VSWR,dB}$  may be taken as the difference of maximum to minimum signal received in units of dBm, dB(μV), or dB(μV/m), as appropriate for the instrumentation or signal detector used.

NOTE 3 The value of  $S_{VSWR}$  or  $S_{VSWR,dB}$  is computed separately from the maximum and minimum signal obtained at each frequency and polarization for a set of six measurements as described in 7.6 or 7.7.

### 7.3.2 Acceptance criterion for site validation

The  $S_{VSWR}$  is directly related to influences of undesired reflections. The acceptance criterion for 1 GHz to 18 GHz site validations is:

$$S_{VSWR} \leq 2:1, \text{ or } S_{VSWR,dB} \leq 6,0 \text{ dB},$$

for  $S_{VSWR}$  measured in accordance with the procedures of 7.6 or 7.7.

## 7.4 Antenna requirements for $S_{VSWR}$ standard test procedure

### 7.4.1 General

To provide illumination of all reflecting surfaces during this test, and to simulate the possible low-directivity radiation patterns exhibited by many EUTs, this subclause specifies characteristics for equipment used for  $S_{VSWR}$  testing. For this purpose, RX and TX antennas are used.



The following subclauses define the performance criteria for the TX antennas for the  $S_{VSWR}$  test; see 4.6.2 for the performance criteria of RX antennas. Type test results supplied by the manufacturer may be used to provide evidence that the antenna performance criteria are met.

The TX and RX patterns shall be measured according to the procedures of Annex I of CISPR 16-1-6:2014/AMD1:2016.

For both the TX and RX antennas, one or more antennas can be used to cover the whole entire frequency range for the  $S_{VSWR}$  test.

NOTE It is assumed that both antennas also meet the performance criteria requirements at all frequencies used for the  $S_{VSWR}$  test.

## 7.4.2 Transmit antenna

### 7.4.2.1 General

The antenna used as a transmit source shall be linearly polarized, and shall have a radiation pattern with the following detailed characteristics. Radiation pattern data shall be available with a frequency step size less than or equal to 1 GHz.

Different frequency step sizes are required due to the change of the radiation pattern with frequency. Typical TX antenna radiation patterns do not change rapidly with frequency, while some LPDA RX antenna radiation patterns do.

### 7.4.2.2 Transmit antenna E-plane radiation pattern

An E-plane radiation pattern for an antenna with simple linear polarization can be measured at one of many possible cut planes (constant azimuth angle) around the radiation sphere. The cut plane for pattern measurements shall be selected by the antenna manufacturer and described in the antenna characterization report. One convenient choice typically is the plane containing the connector and the cable routing.

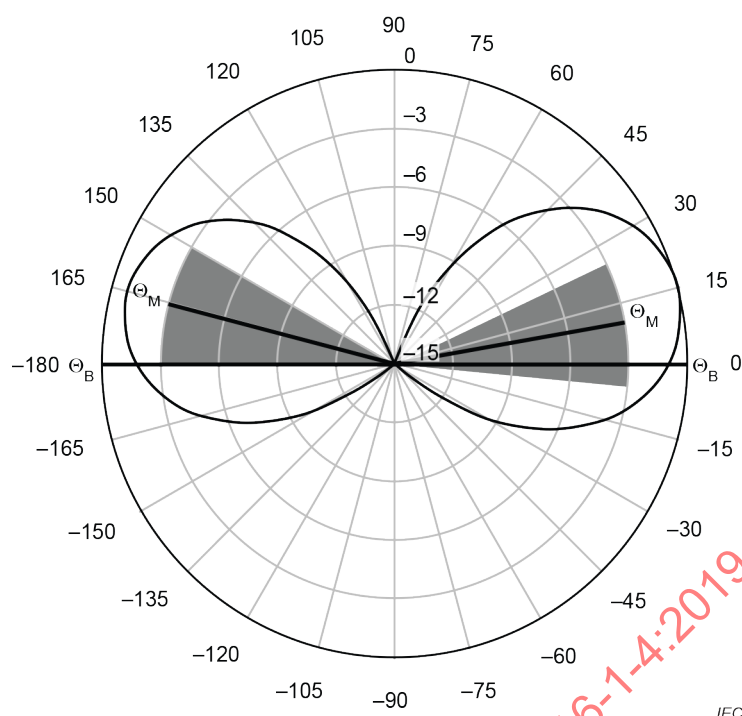
- Choose a main lobe direction, designated as  $\Theta_M$ , for the right side and the left side of each pattern plot.  $\Theta_M$  shall be between  $0^\circ \pm 15^\circ$  and  $180^\circ \pm 15^\circ$ , respectively.
- Draw the so-called forbidden area symmetrical to the main lobe directions on both sides of the pattern<sup>2</sup> where the amplitude is  $\leq -3$  dB for  $\pm 15^\circ$ .

NOTE This limit ensures a smooth pattern in the boresight region, and an acceptable omnidirectional behaviour.

- The E-plane pattern shall not enter the forbidden area.

Figure 21 shows an example radiation pattern that meets the preceding E-plane requirements.

<sup>2</sup> This limit ensures a smooth pattern in the boresight region, and an acceptable omnidirectional behaviour.



NOTE The example plot is for an antenna that meets the E-plane requirements of this subclause. The main lobe directions,  $\Theta_M$ , for the right side and the left side of each pattern plot are between  $0^\circ \pm 15^\circ$  and  $180^\circ \pm 15^\circ$  respectively. The shaded areas represent the “forbidden area” where amplitude would be  $\leq -3$  dB for  $\pm 15^\circ$  of each main lobe. The antenna pattern does not enter the forbidden area.

**Figure 21 – Transmit antenna E-plane radiation pattern example  
(this example is for informative purposes only)**

#### 7.4.2.3 Transmit antenna H-plane radiation pattern

Only one plane is possible for H-plane pattern measurement of a dipole antenna, i.e. the plane orthogonal to the dipole axis intersecting the centre of the dipole. This plane can include a balun, an input connector, and the input cable, depending on whether a metallic cable or optical fiber is used. The manufacturer of the antenna shall describe the set-up used to measure the radiation patterns, including the feed cabling and connector locations, in the test report of the antenna.

- Average the radiation pattern data (in dB) over the range of  $\pm 135^\circ$  ( $0^\circ$  is the boresight angle,  $\Theta_B$ ). The maximum step size for this pattern data is  $5^\circ$  in the frequency range of 1 GHz to 6 GHz, and  $1^\circ$  from 6 GHz to 18 GHz.
- The pattern shall not exceed the following deviations from the  $\pm 135^\circ$ -averaged value:

| Angle range                                                 | 1 GHz to 6 GHz | 6 GHz to 18 GHz |
|-------------------------------------------------------------|----------------|-----------------|
| $-60^\circ$ to $+60^\circ$                                  | $\pm 2$ dB     | $\pm 3$ dB      |
| $-60^\circ$ to $-135^\circ$ , $+60^\circ$ to $+135^\circ$   | $\pm 3$ dB     | $\pm 4$ dB      |
| $-135^\circ$ to $-180^\circ$ , $+135^\circ$ to $+180^\circ$ | $< +3$ dB      | $< +4$ dB       |

NOTE Although a lower bound on the H-plane pattern is not specified outside of  $\pm 135^\circ$ , it is desirable for the H-plane pattern not to show a null at  $\pm 180^\circ$ , but to be omnidirectional as best as possible. Guidance provided by the antenna manufacturer on the routing of the feed cabling and antenna mast, if available, will help to minimize the possible influence on the H-plane pattern outside of  $\pm 135^\circ$ .

Figure 22 shows an example pattern plot that meets the preceding H-plane pattern requirements.

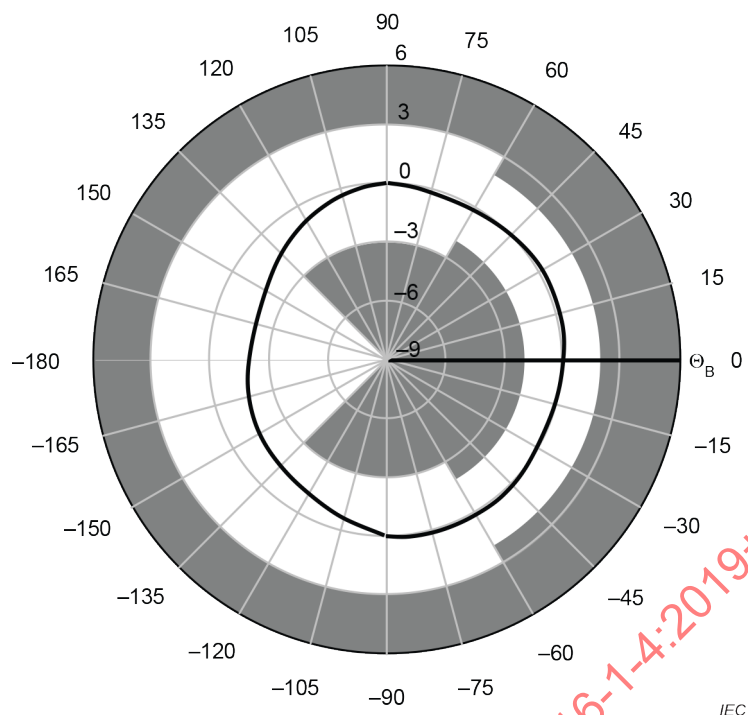


Figure 22a – Transmit antenna H-plane radiation pattern – 1 GHz to 6 GHz

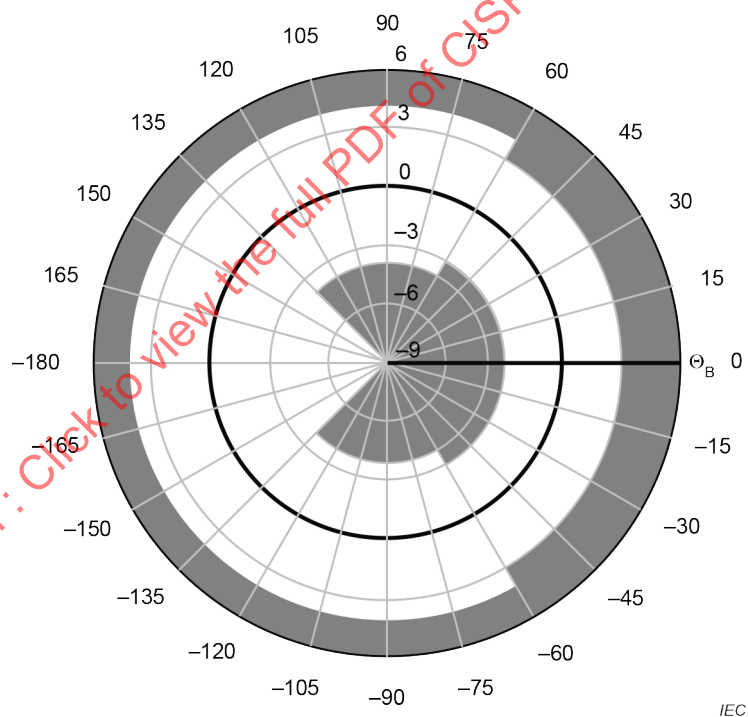


Figure 22b – Transmit antenna H-plane radiation pattern – 6 GHz to 18 GHz

NOTE The example plot is for an antenna that meets the H-plane requirements. The shaded areas represent the maximum permitted deviations stated in this subclause. This example antenna meets the requirements because the pattern does not enter the shaded regions.

Figure 22 – Transmit antenna H-plane radiation pattern  
(this example is for informative purposes only)

#### 7.4.3 Antennas and test equipment for the $S_{VSWR}$ reciprocal test procedure

For the  $S_{VSWR}$  reciprocal test procedure (see 7.7), the antenna used to transmit into the test volume shall be the same type as used for later EUT radiated disturbance measurements, and

shall meet the requirements of 4.6.2. The isotropic field probe used shall be omnidirectional, with anisotropy of no more than 3 dB.

## 7.5 Required positions for site validation testing

### 7.5.1 General

Site validation tests shall be performed for a volume in the shape of a cylinder. The bottom of the cylinder is established by the surface that is used to support the EUT. The top of the cylinder is chosen as the maximum height that an EUT and its vertical overhead cabling would occupy. The diameter of the cylinder is the largest diameter required to accommodate an EUT including cables. For cables that leave the test volume, a 30 cm section of these cables shall be assumed to establish the dimensions of the volume. To accommodate floor-standing equipment that cannot be raised above the supporting surface, test-volume illumination for a height of up to 30 cm from the bottom of the test volume is allowed to be obstructed by absorber placed on the ground plane. For the standard test procedure of 7.6, the  $S_{VSWR}$  is evaluated by placing the receive antenna at the position for which the volume shall be validated, and varying the transmit source location across the defined positions. Alternatively, for the  $S_{VSWR}$  reciprocal test procedure of 7.7, the positions described in this subclause are used for the placement of the field probe in the test volume.

The required locations to perform the  $S_{VSWR}$  measurements are dependent upon the dimensions of the test volume. Details of the conditional measurement position requirements are given in 7.8. The  $S_{VSWR}$  is evaluated for each required location and polarization by a sequence of six measurements, along a line to the reference point of the receive antenna. All of the possible required locations are illustrated in Figure 23 and Figure 24, including the conditional locations described in 7.8. The sequences of six measurements along the lines to the receive antenna are indicated by dots in these figures.

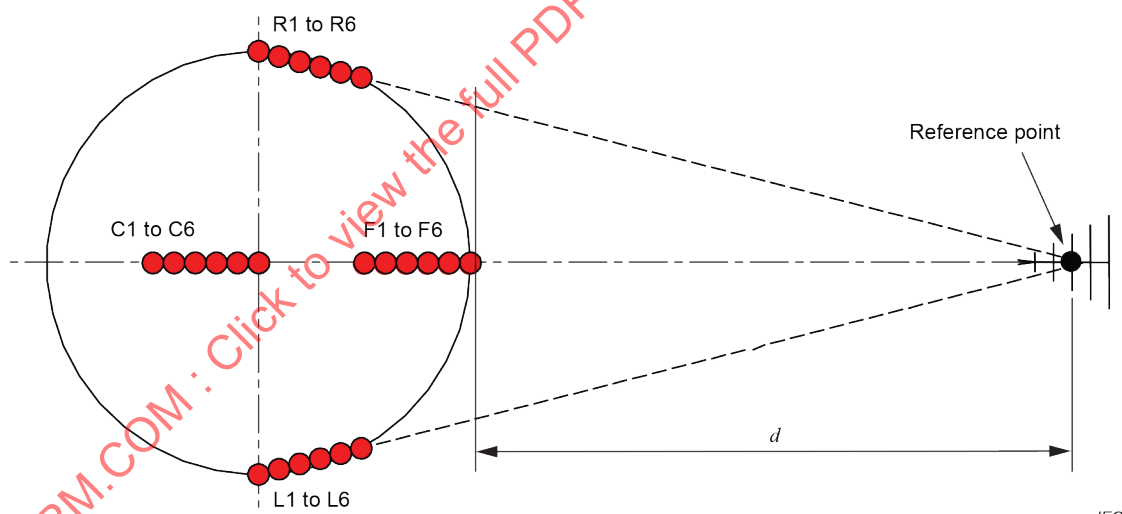


**Figure 23 –  $S_{VSWR}$  measurement positions in a horizontal plane**  
(see 7.5.2 for description)

### 7.5.2 Descriptions of $S_{VSWR}$ measurement positions in a horizontal plane (Figure 23)

This subclause describes how the  $S_{VSWR}$  measurement positions are found in a horizontal plane illustrated in Figure 23.

- Front positions 1 to 6 (F1 to F6): The front positions are on a line from the centre of the test volume to the receive antenna reference point. To locate these positions, first locate

F6 at the front extent of the test volume, on the measurement axis spaced away at the test distance,  $d$  from the reference point of the receive antenna.

F5 to F1 are measured relative to F6 as follows, moving away from the receive antenna:

- 1) F5 = F6 + 2 cm away from the receive antenna
  - 2) F4 = F6 + 10 cm away from the receive antenna
  - 3) F3 = F6 + 18 cm away from the receive antenna
  - 4) F2 = F6 + 30 cm away from the receive antenna
  - 5) F1 = F6 + 40 cm away from the receive antenna
- b) Right positions 1 to 6 (R1 to R6): These positions are located relative to position R6. R6 is found by determining the right extent of the test volume (position R1), then moving on a line toward the receive antenna reference point through 40 cm (see Figure 23).

Positions R5 to R1 are measured relative to R6 as follows, moving away from the receive antenna:

- 1) R5 = R6 + 2 cm away from the receive antenna
  - 2) R4 = R6 + 10 cm away from the receive antenna
  - 3) R3 = R6 + 18 cm away from the receive antenna
  - 4) R2 = R6 + 30 cm away from the receive antenna
  - 5) R1 = R6 + 40 cm away from the receive antenna
- c) Left positions 1 to 6 (L1 to L6): These positions are located relative to position L6. L6 is found by determining the left extent of the test volume (position L1), then moving on a line toward the receive antenna reference point through 40 cm (see Figure 23).

Positions L5 to L1 are measured relative to L6 as follows, moving away from the receive antenna:

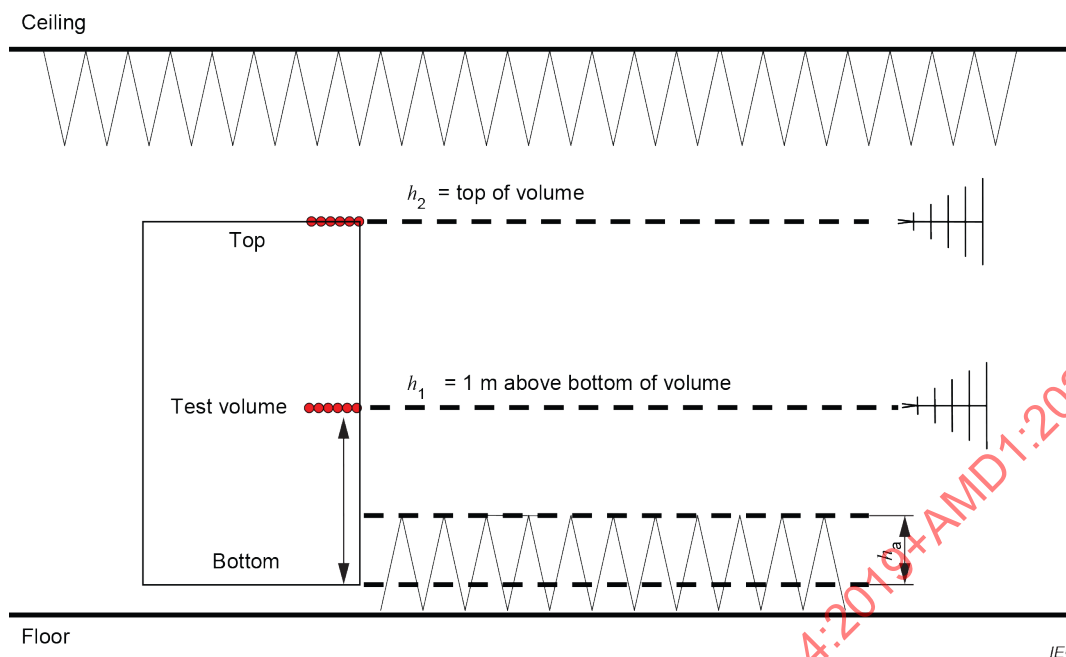
- 1) L5 = L6 + 2 cm away from the receive antenna
  - 2) L4 = L6 + 10 cm away from the receive antenna
  - 3) L3 = L6 + 18 cm away from the receive antenna
  - 4) L2 = L6 + 30 cm away from the receive antenna
  - 5) L1 = L6 + 40 cm away from the receive antenna
- d) Centre positions 1 to 6 (C1 to C6): These positions are located relative to position C6. Position C6 is at the centre of the test volume. Positions C1 to C6 are required to be tested when the test volume diameter is greater than 1,5 m (see 7.8).

C5 to C1 are measured relative to C6, moving away from the receive antenna as follows:

- 1) C5 = C6 + 2 cm away from the receive antenna
- 2) C4 = C6 + 10 cm away from the receive antenna
- 3) C3 = C6 + 18 cm away from the receive antenna
- 4) C2 = C6 + 30 cm away from the receive antenna
- 5) C1 = C6 + 40 cm away from the receive antenna

### 7.5.3 Descriptions of $S_{VSWR}$ additional measurement positions (Figure 24)

In addition to the locations indicated in Figure 23, an additional  $S_{VSWR}$  test plane at the top of the test volume may be required, depending upon the height of the test volume. Figure 24 illustrates the additional height requirement for  $S_{VSWR}$  measurements. The test at the second height is to be performed at the front position only.



#### Key

- $h_a$  the portion of the test volume that is obstructed by absorber placed on the floor (30 cm maximum)
- $h_1$  height located at the middle of the test volume, or 1,0 m above the bottom of the test volume, whichever is lower
- $h_2$  height located at the top of the test volume and required to be tested when  $h_2$  is separated by at least 0,5 m from  $h_1$  (see 7.8 for details)

**Figure 24 –  $S_{VSWR}$  positions (height requirements)**

#### 7.5.4 Summary of $S_{VSWR}$ measurement positions

Table 7 provides a summary of the  $S_{VSWR}$  measurement positions. In Table 7, the positions are grouped according to height ( $h_1$ ,  $h_2$ ) and location (front, left, right, centre). For each location, a reference position is designated for use in the calculations required by Equation (23) (see 7.6). The positions are designated as  $P_{mnopq}$ , where the subscripts correspond to the position names as listed in the first column of Table 7.

**Table 7 –  $S_{VSWR}$  measurement position designations (1 of 3)**

| Position name                                                                                  | Location | Height | Polarization | Reference position for $d_{ref}$ [see Equation (23)] | Location relative to reference position |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|--------|--------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| <b>Front positions (Front, <math>h_1</math>) at first height</b>                               |          |        |              |                                                      |                                         |
| F1h1H                                                                                          | Front    | $h_1$  | Horizontal   | F6h1                                                 | +40 cm away from the receive antenna    |
| F1h1V                                                                                          | Front    | $h_1$  | Vertical     | F6h1                                                 | +40 cm away from the receive antenna    |
| F2h1H                                                                                          | Front    | $h_1$  | Horizontal   | F6h1                                                 | +30 cm away from the receive antenna    |
| F2h1V                                                                                          | Front    | $h_1$  | Vertical     | F6h1                                                 | +30 cm away from the receive antenna    |
| F3h1H                                                                                          | Front    | $h_1$  | Horizontal   | F6h1                                                 | +18 cm away from the receive antenna    |
| F3h1V                                                                                          | Front    | $h_1$  | Vertical     | F6h1                                                 | +18 cm away from the receive antenna    |
| F4h1H                                                                                          | Front    | $h_1$  | Horizontal   | F6h1                                                 | +10 cm away from the receive antenna    |
| F4h1V                                                                                          | Front    | $h_1$  | Vertical     | F6h1                                                 | +10 cm away from the receive antenna    |
| F5h1H                                                                                          | Front    | $h_1$  | Horizontal   | F6h1                                                 | +2 cm away from the receive antenna     |
| F5h1V                                                                                          | Front    | $h_1$  | Vertical     | F6h1                                                 | +2 cm away from the receive antenna     |
| F6h1H                                                                                          | Front    | $h_1$  | Horizontal   | F6h1                                                 | = Reference position (Front, $h_1$ )    |
| F6h1V                                                                                          | Front    | $h_1$  | Vertical     | F6h1                                                 | = Reference position (Front, $h_1$ )    |
| <b>Centre positions (Centre, <math>h_1</math>) at first height<br/>(if required – see 7.8)</b> |          |        |              |                                                      |                                         |
| C1h1H                                                                                          | Centre   | $h_1$  | Horizontal   | C6h1                                                 | +40 cm away from the receive antenna    |
| C1h1V                                                                                          | Centre   | $h_1$  | Vertical     | C6h1                                                 | +40 cm away from the receive antenna    |
| C2h1H                                                                                          | Centre   | $h_1$  | Horizontal   | C6h1                                                 | +30 cm away from the receive antenna    |
| C2h1V                                                                                          | Centre   | $h_1$  | Vertical     | C6h1                                                 | +30 cm away from the receive antenna    |
| C3h1H                                                                                          | Centre   | $h_1$  | Horizontal   | C6h1                                                 | +18 cm away from the receive antenna    |
| C3h1V                                                                                          | Centre   | $h_1$  | Vertical     | C6h1                                                 | +18 cm away from the receive antenna    |
| C4h1H                                                                                          | Centre   | $h_1$  | Horizontal   | C6h1                                                 | +10 cm away from the receive antenna    |
| C4h1V                                                                                          | Centre   | $h_1$  | Vertical     | C6h1                                                 | +10 cm away from the receive antenna    |
| C5h1H                                                                                          | Centre   | $h_1$  | Horizontal   | C6h1                                                 | +2 cm away from the receive antenna     |
| C5h1V                                                                                          | Centre   | $h_1$  | Vertical     | C6h1                                                 | +2 cm away from the receive antenna     |
| C6h1H                                                                                          | Centre   | $h_1$  | Horizontal   | C6h1                                                 | = Reference position (centre, $h_1$ )   |
| C6h1V                                                                                          | Centre   | $h_1$  | Vertical     | C6h1                                                 | = Reference position (centre, $h_1$ )   |

Table 7 (2 of 3)

| Position name                          | Location | Height | Polarization | Reference position for $d_{\text{ref}}$ [see Equation (23)] | Location relative to reference position                                |
|----------------------------------------|----------|--------|--------------|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| <b>Right positions at first height</b> |          |        |              |                                                             |                                                                        |
| R1h1H                                  | Right    | $h_1$  | Horizontal   | R6h1                                                        | +40 cm away from the receive antenna at the right extent of the volume |
| R1h1V                                  | Right    | $h_1$  | Vertical     | R6h1                                                        | +40 cm away from the receive antenna at the right extent of the volume |
| R2h1H                                  | Right    | $h_1$  | Horizontal   | R6h1                                                        | +30 cm away from the receive antenna                                   |
| R2h1V                                  | Right    | $h_1$  | Vertical     | R6h1                                                        | +30 cm away from the receive antenna                                   |
| R3h1H                                  | Right    | $h_1$  | Horizontal   | R6h1                                                        | +18 cm away from the receive antenna                                   |
| R3h1V                                  | Right    | $h_1$  | Vertical     | R6h1                                                        | +18 cm away from the receive antenna                                   |
| R4h1H                                  | Right    | $h_1$  | Horizontal   | R6h1                                                        | +10 cm away from the receive antenna                                   |
| R4h1V                                  | Right    | $h_1$  | Vertical     | R6h1                                                        | +10 cm away from the receive antenna                                   |
| R5h1H                                  | Right    | $h_1$  | Horizontal   | R6h1                                                        | +2 cm away from the receive antenna                                    |
| R5h1V                                  | Right    | $h_1$  | Vertical     | R6h1                                                        | +2 cm away from the receive antenna                                    |
| R6h1H                                  | Right    | $h_1$  | Horizontal   | R6h1                                                        | = Reference position (Right, $h_1$ )                                   |
| R6h1V                                  | Right    | $h_1$  | Vertical     | R6h1                                                        | = Reference position (Right, $h_1$ )                                   |
| <b>Left positions at first height</b>  |          |        |              |                                                             |                                                                        |
| L1h1H                                  | Left     | $h_1$  | Horizontal   | L6h1                                                        | +40 cm away from the receive antenna at the left extent of the volume  |
| L1h1V                                  | Left     | $h_1$  | Vertical     | L6h1                                                        | +40 cm away from the receive antenna at the left extent of the volume  |
| L2h1H                                  | Left     | $h_1$  | Horizontal   | L6h1                                                        | +30 cm away from the receive antenna                                   |
| L2h1V                                  | Left     | $h_1$  | Vertical     | L6h1                                                        | +30 cm away from the receive antenna                                   |
| L3h1H                                  | Left     | $h_1$  | Horizontal   | L6h1                                                        | +18 cm away from the receive antenna                                   |
| L3h1V                                  | Left     | $h_1$  | Vertical     | L6h1                                                        | +18 cm away from the receive antenna                                   |
| L4h1H                                  | Left     | $h_1$  | Horizontal   | L6h1                                                        | +10 cm away from the receive antenna                                   |
| L4h1V                                  | Left     | $h_1$  | Vertical     | L6h1                                                        | +10 cm away from the receive antenna                                   |
| L5h1H                                  | Left     | $h_1$  | Horizontal   | L6h1                                                        | +2 cm away from the receive antenna                                    |
| L5h1V                                  | Left     | $h_1$  | Vertical     | L6h1                                                        | +2 cm away from the receive antenna                                    |
| L6h1H                                  | Left     | $h_1$  | Horizontal   | L6h1                                                        | = Reference position (Left, $h_1$ )                                    |
| L6h1V                                  | Left     | $h_1$  | Vertical     | L6h1                                                        | = Reference position (Left, $h_1$ )                                    |



**Table 7 (3 of 3)**

| Position name                                                               | Location | Height | Polarization | Reference position for $d_{\text{ref}}$ [see Equation (23)] | Location relative to reference position |
|-----------------------------------------------------------------------------|----------|--------|--------------|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| <b>Front positions at second height<br/>(if required – see 7.8)</b>         |          |        |              |                                                             |                                         |
| F1h2H                                                                       | Front    | $h_2$  | Horizontal   | F6h2                                                        | +40 cm away from the receive antenna    |
| F1h2V                                                                       | Front    | $h_2$  | Vertical     | F6h2                                                        | +40 cm away from the receive antenna    |
| F2h2H                                                                       | Front    | $h_2$  | Horizontal   | F6h2                                                        | +30 cm away from the receive antenna    |
| F2h2V                                                                       | Front    | $h_2$  | Vertical     | F6h2                                                        | +30 cm away from the receive antenna    |
| F3h2H                                                                       | Front    | $h_2$  | Horizontal   | F6h2                                                        | +18 cm away from the receive antenna    |
| F3h2V                                                                       | Front    | $h_2$  | Vertical     | F6h2                                                        | +18 cm away from the receive antenna    |
| F4h2H                                                                       | Front    | $h_2$  | Horizontal   | F6h2                                                        | +10 cm away from the receive antenna    |
| F4h2V                                                                       | Front    | $h_2$  | Vertical     | F6h2                                                        | +10 cm away from the receive antenna    |
| F5h2H                                                                       | Front    | $h_2$  | Horizontal   | F6h2                                                        | +2 cm away from the receive antenna     |
| F5h2V                                                                       | Front    | $h_2$  | Vertical     | F6h2                                                        | +2 cm away from the receive antenna     |
| F6h2H                                                                       | Front    | $h_2$  | Horizontal   | F6h2                                                        | = Reference position (Front, $h_2$ )    |
| F6h2V                                                                       | Front    | $h_2$  | Vertical     | F6h2                                                        | = Reference position (Front, $h_2$ )    |
| NOTE These $S_{\text{VSWR}}$ measurements may be performed in any sequence. |          |        |              |                                                             |                                         |

## 7.6 $S_{\text{VSWR}}$ site validation – standard test procedure

In the following procedure, the positions are designated as  $P_{\text{mnopq}}$ , where the subscripts correspond to the position names as listed in the first column of Table 7. The measured signal,  $M$ , is the received electric field strength or voltage measurement at each position, and is similarly denoted by subscripts as  $M_{\text{mnopq}}$ . For example,  $P_{\text{F1h1H}}$  is the position F1, at height 1, horizontal polarization, and its measured signal (in dB) is referred to as  $M_{\text{F1h1H}}$ .

- Locate the transmit source with its reference point at front position 6, height 1, in horizontal polarization ( $P_{\text{F6h1H}}$ ). Locate the receive antenna, also in horizontal polarization, at the test distance  $d$ , measured from the source to the reference point of the receive antenna. Note that the receive antenna height shall be located at the same height as the transmit source for all measurements.
- Verify that the received signal displayed will be at least 20 dB above the ambient and above the measuring receiver or spectrum analyzer displayed noise across the entire frequency range to be measured. If not, it may be necessary to use different equipment (antennas, cables, signal generator, preamplifier) and/or use partial frequency ranges as appropriate to maintain a level of 20 dB above the displayed noise floor.
- Record the measured signal level,  $M_{\text{F6h1H}}$  at each frequency. Swept measurements or stepped frequency increments may be used. If stepped increments are used, the frequency increment shall be 50 MHz or less.
- Repeat steps b) and c) with the transmit source at the other five positions shown in Table 8 (see 7.9) for the front, height 1, horizontal polarization. In total, there will be six measurements for front, height 1, horizontal polarization ( $M_{\text{F1h1H}}$  through  $M_{\text{F6h1H}}$ ) varying in separation distance from the receive antenna by the increments shown in Table 7.
- Change the polarization of the transmit source and receive antenna to vertical, then repeat the above procedure for positions  $P_{\text{F1h1V}}$  through  $P_{\text{F6h1V}}$ , to obtain  $M_{\text{F1h1V}}$  through  $M_{\text{F6h1V}}$ .
- For all measurements, normalize the measured field strength or voltage data to the distance of the reference position shown in Table 7, using Equation (23):

$$M'_{\text{mnopq}} = M_{\text{mnopq}} + 20 \lg \left( \frac{d_{\text{mnopq}}}{d_{\text{ref}}} \right) \text{ dB} \quad (23)$$

where

|                     |                                                                                                                                                                                                                         |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $d_{\text{mnopq}}$  | is the actual separation distance for the measurement location;                                                                                                                                                         |
| $d_{\text{ref}}$    | is the separation distance measured to the reference position;                                                                                                                                                          |
| $M_{\text{mnopq}}$  | is the measured signal (field strength or receiver voltage) in dB. Note that each measurement location has a different reference position corresponding to position 6, as indicated in Table 7 for $P_{\text{mnopq}}$ ; |
| $M'_{\text{mnopq}}$ | is normalized measured field strength or voltage data relative to the distance of the reference position shown in Table 7.                                                                                              |

- g) Using Equation (21) or Equation (22) (see 7.3.1), calculate the  $S_{\text{VSWR}}$  for horizontal polarization. Using Equation (22),  $S_{\text{VSWR,dB}}$  can be obtained by subtracting the minimum received signal,  $M_{\text{min,dB}}$ , from the maximum received signal,  $M_{\text{max,dB}}$ , after distance corrections have been applied [i.e. step per 7.6 f)] for the six positions. Repeat the calculation for readings obtained using vertical polarization.
- h) The  $S_{\text{VSWR}}$  for each polarization shall fulfil the acceptance criteria of 7.3.2.
- i) Repeat steps a) to through h) for the left and right positions of the test volume. Note that when the transmit source antenna is moved to the left or right, its boresight direction shall be aimed towards the receive antenna. However, the receive antenna shall remain facing towards the centre (not aimed at the side positions), which is the same direction it will be facing later during EUT measurements.
- j) If required by 7.8, repeat the above procedure for the measurements at the centre position, and for the measurements required at the second height. When measurements are performed at the second height, the receive antenna shall be at the same height as the transmit antenna.

## 7.7 $S_{\text{VSWR}}$ site validation – reciprocal test procedure using an isotropic field probe

For shielded facilities (i.e. fully-anechoic chamber or semi-anechoic chambers), it is permitted to evaluate  $S_{\text{VSWR}}$  using an isotropic field probe placed at the required locations of Table 7, and illuminating the test volume with the same antenna that is used later as the receive antenna for EUT radiated disturbance measurements. For the purposes of this document, this method is termed the “reciprocal” method of  $S_{\text{VSWR}}$  site validation. In this  $S_{\text{VSWR}}$  reciprocal test procedure, the antenna to later be used as the receive antenna in EUT disturbance measurement is termed the “transmit” antenna, because it will be used to transmit to a probe located in the test volume. The isotropic field probe is required to fulfil the radiation pattern specifications of 7.4.2. The probe shall be capable of being aligned with the polarization of the transmit antenna, i.e. the location and orientation of the sensing elements within the probe shall be known.

The  $S_{\text{VSWR}}$  site validation reciprocal test procedure using an isotropic field probe is as follows.

- a) Place the field probe at the front position 6, height 1, in horizontal polarization ( $P_{\text{F6h1H}}$ ). Place the transmit antenna at the test distance  $d$  as measured from the perimeter of the test volume to the reference point of the antenna. The transmit antenna height shall be at the same height as the probe for all positions.
- b) Verify that field strength magnitude is sufficient to allow proper functioning of the probe. For guidance on the equipment and procedures necessary to establish appropriate field strengths, refer to the manufacturer’s operating specifications for the probe (adequate sensitivity and measurement uncertainty). In addition, the transmit system and probe system should be checked for linearity, and harmonics shall be suppressed to a level of at least 15 dB below the primary signal. Use of a directional coupler is recommended to monitor forward power during the test, because variations in the output power level will produce variations in the test results. It is important to provide stable output signals, because any signal variation due to instability of the signal source (e.g. bad cable

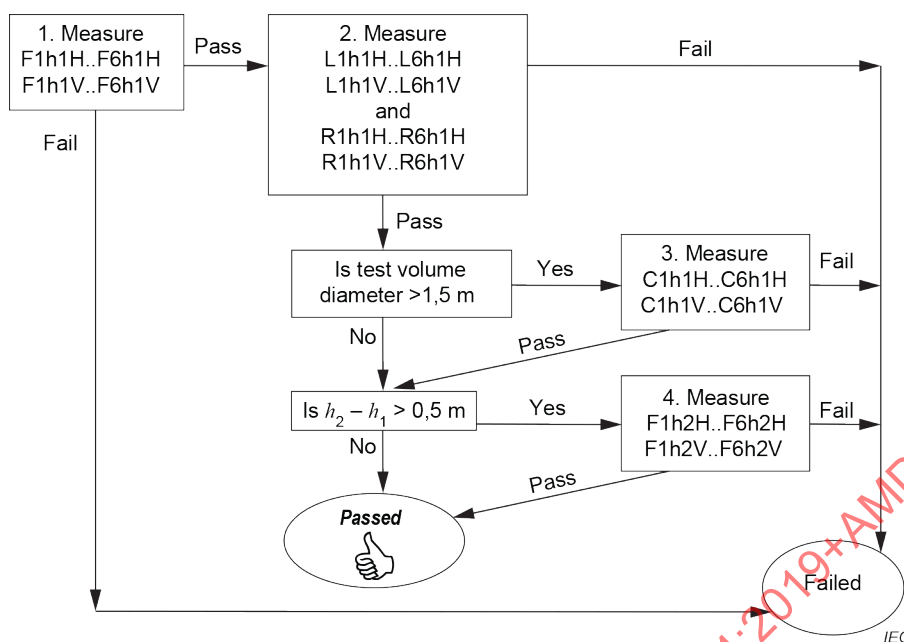
connections, variations with warm-up time of the power amplifier, etc.) can produce additional variations of the results (i.e. artificially high  $S_{VSWR}$  results).

- c) Record the measured signal level,  $M_{F6h1H}$ , at each frequency. Swept measurements or stepped frequency increments may be used. If stepped increments are used, the frequency increment shall be 50 MHz or less.
- d) Repeat steps b) and c) with the field probe at the other five positions shown in Table 8 (see 7.9) for the front, height 1, horizontal polarization. In total, there will be six measurements for front, height 1, horizontal polarization ( $M_{F1h1H}$  through  $M_{F6h1H}$ ) varying in separation distance from the receive antenna by the increments shown in Table 7.
- e) Change the polarization of the field probe and antenna to vertical, and repeat the above procedure for positions  $P_{F1h1V}$  through  $P_{F6h1V}$ , to obtain  $M_{F1h1V}$  through  $M_{F6h1V}$ .
- f) For all measurements, normalize the obtained data using Equation (23).
- g) Using Equation (21) or Equation (22) (see 7.3.1), calculate the  $S_{VSWR}$  for horizontal polarization. Using Equation (22),  $S_{VSWR,dB}$  can be obtained by subtracting the minimum received signal,  $M_{min,dB}$ , from the maximum received signal,  $M_{max,dB}$ , after distance corrections have been applied [i.e. per 7.7 f)] for the six positions. Repeat the calculation for the readings obtained using vertical polarization.
- h) The  $S_{VSWR}$  for both polarizations shall fulfil the acceptance criteria of 7.3.2.
- i) Repeat the above procedure for the left and right positions of the test volume. Note that for this reciprocal  $S_{VSWR}$  procedure the probe may be adjusted to maintain a constant direction facing at the reference point of the transmit antenna. However, the transmit antenna shall remain facing toward the centre of the volume (not aimed at the side positions) in the same direction it will be facing during later EUT measurements.
- j) If required by 7.8, repeat the above procedure for the measurements at the centre position, and for any measurements required at the second height. When measurements are performed at the second height, the probe shall be at the same height as the transmit antenna.

## 7.8 $S_{VSWR}$ conditional measurement position requirements

As indicated in Figure 23, Figure 24, and Table 7, additional measurement positions are required to be tested depending upon the size of the test volume. Figure 25 presents a flow chart specifying when these additional measurements are required.

When additional measurement positions are required,  $S_{VSWR}$  is to be determined at each test frequency from each group of six measurements independently for horizontal and vertical polarization, using the procedures of 7.6 or 7.7.



NOTE Measurements are not required to be performed in the sequence shown, and may proceed in any order such that all the required data is obtained.

Figure 25 –  $S_{VSWR}$  conditional measurement position requirements

## 7.9 $S_{VSWR}$ site validation test report

Table 8 lists a summary of all of the possible required  $S_{VSWR}$  measurements and calculations (normalized), including the results from the required positions and the conditional positions of 7.8. The  $S_{VSWR}$  calculations and reporting requirements apply for each test frequency.

Table 8 –  $S_{VSWR}$  reporting requirements

| Location | Height | Polarization | Type        | $S_{VSWR}$<br>dB                                                                        |
|----------|--------|--------------|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| Front    | $h_1$  | Horizontal   | Required    | $= \text{Max} (M'_{F1h1H} \dots M'_{F6h1H}) - \text{Min} (M'_{F1h1H} \dots M'_{F6h1H})$ |
| Front    | $h_1$  | Vertical     | Required    | $= \text{Max} (M'_{F1h1V} \dots M'_{F6h1V}) - \text{Min} (M'_{F1h1V} \dots M'_{F6h1V})$ |
| Right    | $h_1$  | Horizontal   | Required    | $= \text{Max} (M'_{R1h1H} \dots M'_{R6h1H}) - \text{Min} (M'_{R1h1H} \dots M'_{R6h1H})$ |
| Right    | $h_1$  | Vertical     | Required    | $= \text{Max} (M'_{R1h1V} \dots M'_{R6h1V}) - \text{Min} (M'_{R1h1V} \dots M'_{R6h1V})$ |
| Left     | $h_1$  | Horizontal   | Required    | $= \text{Max} (M'_{L1h1H} \dots M'_{L6h1H}) - \text{Min} (M'_{L1h1H} \dots M'_{L6h1H})$ |
| Left     | $h_1$  | Vertical     | Required    | $= \text{Max} (M'_{L1h1V} \dots M'_{L6h1V}) - \text{Min} (M'_{L1h1V} \dots M'_{L6h1V})$ |
| Centre   | $h_1$  | Horizontal   | Conditional | $= \text{Max} (M'_{C1h1H} \dots M'_{C6h1H}) - \text{Min} (M'_{C1h1H} \dots M'_{C6h1H})$ |
| Centre   | $h_1$  | Vertical     | Conditional | $= \text{Max} (M'_{C1h1V} \dots M'_{C6h1V}) - \text{Min} (M'_{C1h1V} \dots M'_{C6h1V})$ |
| Front    | $h_2$  | Horizontal   | Conditional | $= \text{Max} (M'_{F1h2H} \dots M'_{F6h2H}) - \text{Min} (M'_{F1h2H} \dots M'_{F6h2H})$ |
| Front    | $h_2$  | Vertical     | Conditional | $= \text{Max} (M'_{F1h2V} \dots M'_{F6h2V}) - \text{Min} (M'_{F1h2V} \dots M'_{F6h2V})$ |

## 7.10 Limitations of the $S_{VSWR}$ site validation method

The measurement points chosen for 7.5 and contained in the preceding procedures are intended to provide an overall measure of the  $S_{VSWR}$  of the test site across the frequency range of 1 GHz to 18 GHz. Note however that the peak  $S_{VSWR}$  may not always be captured using the procedures of 7.6 or 7.7 at any specific frequency  $f$ . Therefore, statements about  $S_{VSWR}$  compliance based on measurements at any single frequency should be avoided.

However, the peak found by the above procedures within adjacent frequency octaves ( $0,5f$  to  $2f$ ) is typically representative of the worst case  $S_{VSWR}$  for all frequencies inclusive in the band.

In cases where more accuracy of the  $S_{VSWR}$  results is desired at a single frequency, the above method can be improved by measuring more than six locations along the lines shown in Figure 23 and Figure 24. The additional data collection points should be spaced unequally, and selected based on a distance translation of the source antenna (or field probe with the reciprocal  $S_{VSWR}$  method) using quarter-wavelength steps at the frequency of interest.

### 7.11 Alternative test sites

Any test site that achieves free-space conditions is a possible alternative test site.

## 8 Common mode absorption devices

### 8.1 General

Common mode absorption devices (CMADs) are applied on cables leaving the test volume during a radiated disturbance measurement. CMADs are used in radiated disturbance measurements to reduce variations in the measurement results between different test sites, due to possible differing values of common mode impedance and symmetry at the point where cables leave the test site (e.g. turntable centre). The basic characteristics of CMADs can be expressed in terms of  $S$ -parameters. Derived performance quantities, such as insertion loss or reflection coefficient, can be determined from these  $S$ -parameters. This clause specifies measurement methods for the verification of the  $S$ -parameters of a CMAD.

### 8.2 CMAD $S$ -parameter measurements

$S$ -parameters measured in a test jig, as described in 8.3, are used to characterize the properties of a CMAD. The values of the complex  $S$ -parameters are evaluated at the reference planes indicated in Figure 26. The reference method for the measurement of  $S$ -parameters with the highest possible accuracy uses a vector network analyzer (VNA) and the TRL calibration method, as described in 8.4.

### 8.3 CMAD test jig

A test jig used for measuring the  $S$ -parameters of a CMAD under test shall have a cylindrical metal rod above a metal ground plane, as shown in Figure 26. The metal rod between the vertical flanges of the test jig consists of three sections: one section forming a transmission line in the jig between the two reference planes, and two adaptor sections between the reference planes and the adaptor ports.

The effects on CMAD measurement results from the adaptor sections and the adaptor ports can be eliminated by using the TRL calibration method described in 8.4, providing a low uncertainty for the final measurements. Any type of adaptor may be used for the measurements of 8.4. Examples of adaptors are shown in Figures 29 to 31 (see 8.6).

The diameter  $d$  of the cylindrical rod shall be 4 mm. The height above the ground plane,  $h$ , is defined by the dimensions of the CMAD; typical values are 30 mm, 65 mm, and 90 mm. The measurement shall be performed at the height defined by the construction of the CMAD. The distance between the reference plane and the vertical flange of the jig (adaptor section),  $L_A$ , shall be at least  $2h$  (see Figure 26). The distances between the reference planes and the CMAD ends,  $D_A$  and  $D_B$ , should be as small as possible, but not larger than  $h$ . The metal ground plane of the test jig shall be greater than  $(L_{\text{jig}} + 4h)$  in length, and greater than  $4h$  in width.

The characteristic impedance,  $Z_{\text{ref}}$ , is given by the internal diameter of the line,  $d$  (defined to be 4 mm), and by the height of the centre of the rod above the ground plane,  $h$ :

$$Z_{\text{ref}} = \frac{Z_0}{2\pi} \cosh^{-1}\left(\frac{2h}{d}\right) \text{ in } \Omega \quad (24)$$

where

$Z_0$  is the free-space impedance (i.e.  $120\pi$ ) in  $\Omega$ ;

$d$  is the test conductor diameter, defined to be 4 mm;

$h$  is the height of the centre of the test conductor above the ground plane.

EXAMPLE Typical values of  $Z_{\text{ref}}$  for various heights  $h$  are:

$h = 30 \text{ mm} \rightarrow Z_{\text{ref}} = 204 \Omega$

$h = 65 \text{ mm} \rightarrow Z_{\text{ref}} = 248 \Omega$

$h = 90 \text{ mm} \rightarrow Z_{\text{ref}} = 270 \Omega$

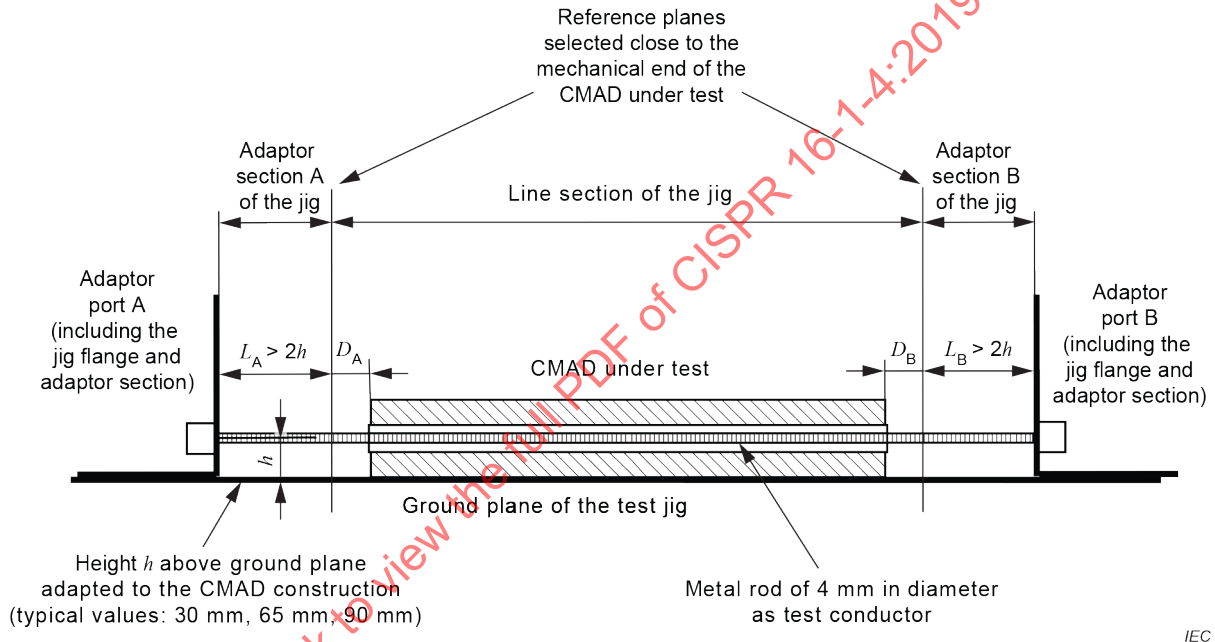


Figure 26 – Definition of the reference planes inside the test jig

#### 8.4 Measurement method using the TRL calibration

The through-reflect-line (TRL) calibration method is recommended for measuring the  $S$ -parameters of CMADs. Use of this calibration procedure allows selection of the reference plane inside the test jig such that it is in close proximity to the location where the CMAD under test will be placed, thus distances  $D_A$  and  $D_B$  can be minimized (see Figure 26). The calibration requires a metal rod (termed “line”) with the same diameter and height as the transmission line section of the jig. The characteristic impedance and length of the line section shall be known exactly, and are introduced into the calibration data used by the firmware of the VNA, or by external correction calculations.

The length of the line section used for a TRL calibration process determines the frequency range in which the TRL calibration can be performed. This frequency limitation results from the mathematical procedure used in the TRL calibration method, where at some frequencies a divide-by-zero (or very small values) condition is possible and shall be avoided.

If the length of the “line” reference is  $L$ , the frequency range shall be limited to between low and high frequencies  $f_L$  and  $f_H$  as follows:



$$f_L = 0,05 \frac{c}{L} \quad (25)$$

$$f_H = 0,45 \frac{c}{L} \quad (26)$$

where  $c$  is  $3 \times 10^8$  m/s. A “line” length of 0,6 m is appropriate for calibration in the frequency range 30 MHz to 200 MHz. If the measurement has to be extended to higher frequencies, a second “line” calibration is necessary. A second calibration with a “line” length of 0,12 m would be appropriate for the frequency range 150 MHz to 1 000 MHz.

Four calibration configurations are necessary for the TRL calibration method, as follows.

- “reflect” (port A): Measuring the complex value  $S_{11}$  of the adaptor section and adaptor without any other connection (simulating an open-circuit condition) [Figure 27a];
- “reflect” (port B): Measuring the complex value  $S_{22}$  of the adaptor section and adaptor without any other connection (simulating an open-circuit condition) [Figure 27b];
- “through”: Measuring the complex values  $S_{11}$ ,  $S_{12}$ ,  $S_{21}$ ,  $S_{22}$  with the two adaptor sections directly connected together (without the line section in between) [Figure 27c];
- “line”: Measuring the complex values  $S_{11}$ ,  $S_{12}$ ,  $S_{21}$ ,  $S_{22}$  with the line section introduced [Figure 27d]

These calibration measurements yield 10 complex numbers for each frequency point. If the VNA includes a firmware for TRL calibration, it will use these reference measurements to calculate the proper corrections for the TRL measurement. If the VNA does not support the TRL calibration, the necessary corrections may be made independent of the VNA according to the procedure described in CISPR TR 16-3.

The properties of the adaptor sections and adaptor ports outside of the calibration planes do not need to be known for the TRL calibration; rather, these are measured in the calibration procedure and are compensated correctly by the TRL calibration. Different types of adaptors may be used. It is recommended to use the same type of adaptors and the same length of the adaptor section on both ends of the test jig. It is also recommended that the two adaptor sections are the same length, i.e.  $L_A = L_B$ .

After calibration, the CMAD under test is introduced into the line section of the test jig. The adaptor sections and adaptors shall be exactly the same as used for the calibration. The length of the metal rod can be different from the length of the “line” used for the calibration, but the diameter (4 mm) and the height above the ground plane shall be the same as used for the calibration. The metal rod inside the CMAD should be positioned as accurately as possible in the centre of the CMAD opening. The length of the metal rod can be selected such that the reference plane corresponds with the physical ends of the CMAD (i.e.  $D_A$  as small as possible). Typical CMADs have a length of 0,6 m. In this case, the 4 mm line section can be used for calibration covering the frequency range of 30 MHz to 200 MHz, as well as for the measurement of the CMAD (also including the frequency range above 200 MHz, calibrated by a shorter line section). The measurement results for a CMAD under test using the VNA measurement corrected by the TRL calibration is a set of the four  $S$ -parameters referenced to the characteristic impedance of the transmission line section (empty jig),  $Z_{0,jig}$ .



Figure 27a – Configuration for the calibration measurement “reflect port A”



Figure 27b – Configuration for the calibration measurement “reflect port B”

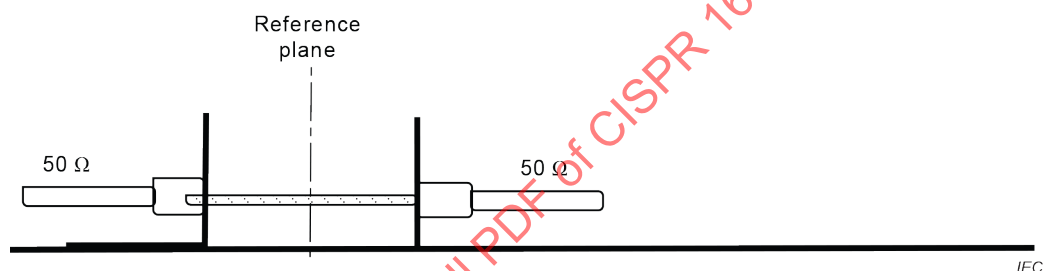


Figure 27c – Configuration for the calibration measurement “through”

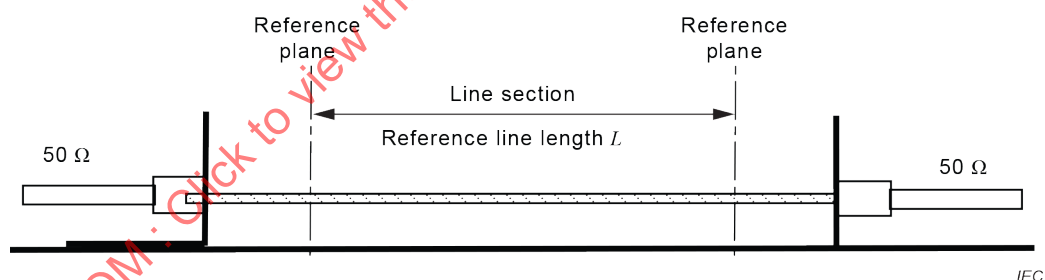


Figure 27d – Configuration for the calibration measurement “line”

NOTE The length  $L$  of the reference line for the calibration need not to be the same as the length used for the measurement of the CMAD. The length of the reference line for the calibration procedure is selected according to the frequency range needed.

Figure 27 – The four configurations for the TRL calibration

## 8.5 Specification of ferrite clamp-type CMAD

Ferrite clamp-type CMADs are used during radiated disturbance measurements below 1 GHz for the purpose of reducing compliance uncertainty. The characteristics of a CMAD are measured according to provisions of 8.1 to 8.3, and referenced to the characteristic impedance of the empty jig,  $Z_{0,jig}$ .

A comparison of available ferrite clamp-type CMADs has shown that a magnitude of  $S_{21}$  less than 0,25 is required to provide sufficient decoupling. These values can be achieved with CMADs having a magnitude of  $S_{11}$  as shown in Figure 28.



Ferrite clamp CMADs shall meet the following specifications.

- a) the magnitude of  $S_{21}$  shall be less than 0,25 in the frequency range 30 MHz to 200 MHz;
- b) the magnitude of  $S_{11}$  shall be within the following limit range in the frequency range 30 MHz to 200 MHz:
  - upper limit 0,75 at 30 MHz, and 0,55 at 200 MHz (decreasing linearly with the logarithm of the frequency);
  - lower limit 0,6 at 30 MHz, and 0,4 at 200 MHz (decreasing linearly with the logarithm of the frequency).

A specification in the frequency range from 200 MHz to 1 000 MHz is not required, because radiated disturbance measurements are not seriously affected by cable termination conditions at these frequencies.

A rationale for using  $S$ -parameters for the specification of ferrite-type CMADs is provided in CISPR TR 16-3.

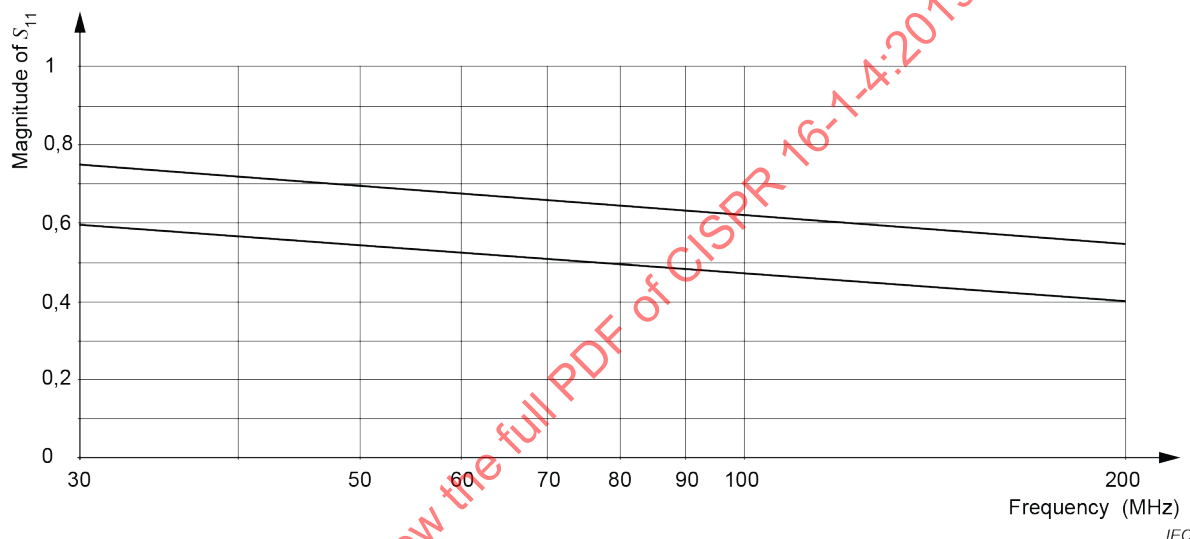


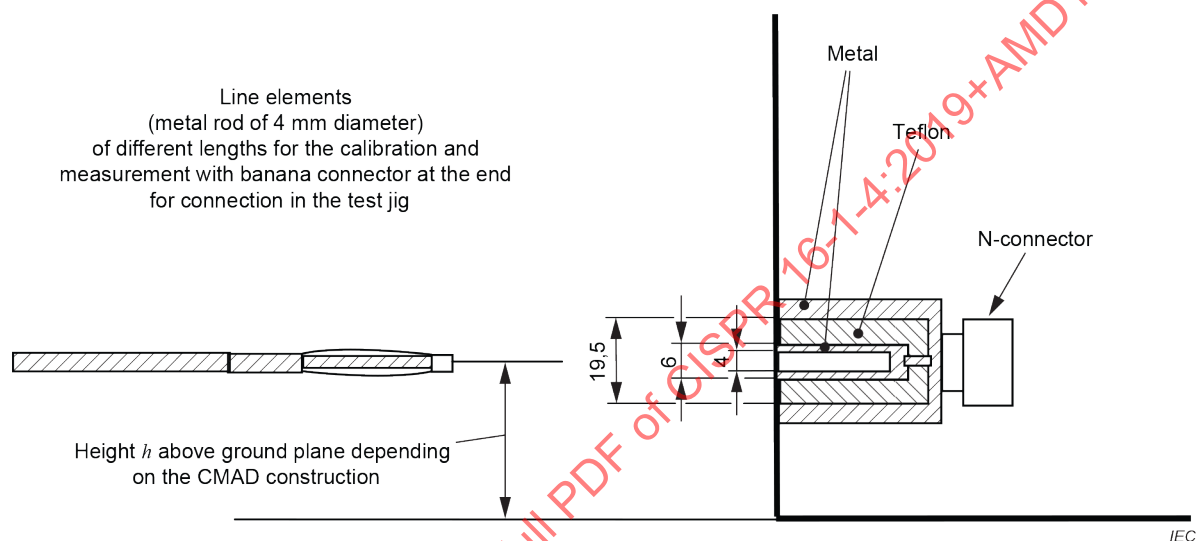
**Figure 28 – Limits for the magnitude of  $S_{11}$ ,  
measured according to the provisions of 8.1 to 8.3**

#### **8.6 CMAD performance (degradation) check using spectrum analyzer and tracking generator**

The complex  $S$ -parameters of a CMAD cannot be measured without using a VNA. However, VNA instruments may not be available in all EMC test laboratories. For laboratories that do not have access to VNA instruments, a simpler method to check the functioning of a CMAD is defined in this subclause, using a spectrum analyzer with tracking generator. This instrumentation set-up measures only the magnitude of the insertion loss, but this measured value will not be directly related to the  $S$ -parameters measured at the reference planes shown in Figure 26. Nonetheless, an EMC laboratory can periodically repeat the same insertion loss measurement with their in-house test set-up, using the exact same conditions (impedance and geometry of the test set-up), then record and compare the history of the results to decide whether the CMAD is still in acceptable condition. This approach permits degradation of CMAD performance to be detected. If some degradation becomes apparent, a reference measurement shall be performed using a VNA with the TRL calibration method of 8.4.

Any adaptor construction (Figures 26 and 27, Figures 29 to 31) can be used for this performance/degradation check. To avoid resonance effects in cables between test jig and measurement instrument, it is necessary to include two 10 dB attenuators close to the test jig connection during this performance check.

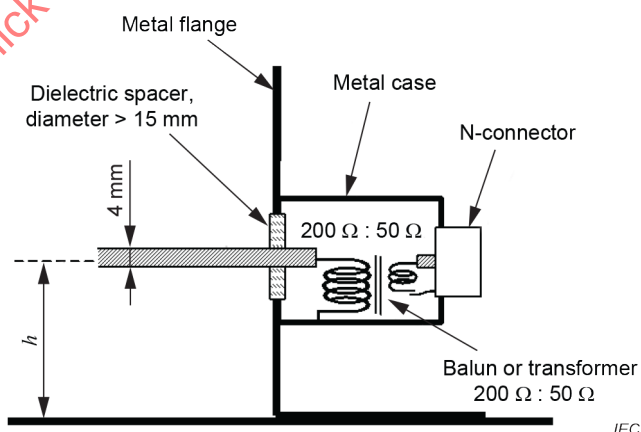
- a) When  $50\ \Omega$  adaptors are used (Figure 29), the insertion loss measurement for the performance/degradation check is the difference in dB between attenuation measurements for the following two configurations:
- 1) configuration 1: direct connection of the two attenuators without the test jig;
  - 2) configuration 2: the two attenuators connected to the test jig with the CMAD included.
- b) If matching adaptors (Figure 30 or Figure 31) are used, the insertion loss measurement for the degradation check is the difference between the attenuation measured for the following two configurations:
- 1) configuration 1: the two attenuators connected to the test jig without the CMAD (empty jig);
  - 2) configuration 2: the two attenuators connected to the test jig with the CMAD included.



Dimensions in mm

NOTE The bottom sides of the vertical flange are electrically bonded to the metallic ground plane.

**Figure 29 – Example of a  $50\ \Omega$  adaptor construction in the vertical flange of the jig**



NOTE If the centre tap of the balanced port is connected to the balun case, it should be disconnected.

**Figure 30 – Example of a matching adaptor with balun or transformer**

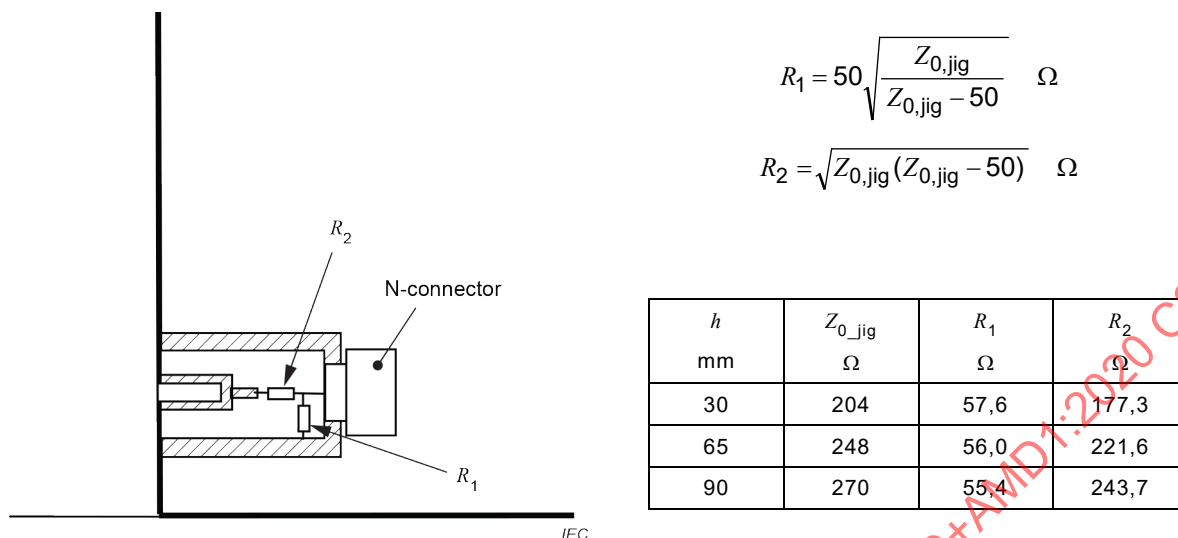


Figure 31 – Example of a matching adaptor with resistive matching network

## 9 Reverberating chamber for total radiated power measurement

### 9.1 General

For some types of equipment operating in the microwave frequency range, because of the existence of complex three-dimensional radiation patterns that are sensitive to equipment operating conditions and its surroundings, the measurement of total radiated power is considered to be a significant parameter related to disturbance control. It can be measured by placing the equipment in a suitable chamber with metal walls. To avoid effects of standing waves that would otherwise produce non-uniform distribution of energy density with position in the chamber, rotating stirrers (paddles, tuners) are installed. With proper size, shape, and position, the energy density at any position in the chamber varies randomly with a constant statistical distribution law in phase, amplitude, and polarization.

### 9.2 Chamber

#### 9.2.1 Chamber size and shape

The linear dimensions of the chamber shall be large relative to the wavelength of the lowest frequency of interest. It shall also be large enough to accommodate the equipment under test, the stirrer(s), and the measuring antennas. Microwave equipment varies in size from small table-top ovens having a volume of about 0,2 m<sup>3</sup>, to large units 1,7 m high with a 760 mm base. The chamber may be of any shape, provided its three dimensions are of the same order of magnitude. The three dimensions should preferably be different. For a lowest frequency of 1 GHz, the chamber shall have a volume at least 8 m<sup>3</sup>. The actual dimensions will depend on the physical characteristics of the chamber. See 9.2.4 for method of test of the suitability of the chamber.

The walls and the stirrers shall be metallic. Joints between the metallic members shall be mechanically sound and of low electrical resistance along the whole length, and there shall be no surface corrosion. No absorbing material, such as wood, shall be placed inside the chamber.

#### 9.2.2 Door, openings in walls, and mounting brackets

The enclosure door shall be large enough to allow the passage of operators and equipment. It shall open outward, and fit tightly to minimize energy losses. For convenience in mounting the transmit antenna and the receive antenna inside the chamber, mounting brackets may be fixed to the walls.

### 9.2.3 Stirrers

#### 9.2.3.1 General

The following describes two examples of stirrers. Other shapes are permitted, provided stirring efficiency meets the criteria in 9.2.4.

#### 9.2.3.2 Rotating vanes

If rotating vanes are used, two vanes are placed on adjacent walls of the chamber spaced at least  $1/4$  of the maximum wavelength used distant from the walls, and of sufficient thickness to be rigid. They shall be of the maximum length allowed by the wall sizes, and their width shall be about  $1/5$  of their length.

#### 9.2.3.3 Rotating paddles

If rotating paddles are used, two or three paddles are mounted on the walls of the chamber. The paddles shall be mutually at right angles. The paddles may be of the shape shown in Figure 32, and rotate about an axis parallel to their length. The diameter of the swept cylindrical space shall be at least equal to the maximum wavelength used, and the lengths shall be the maximum allowed by the wall sizes. The structure shall be rigid.

*Dimensions in millimetres*

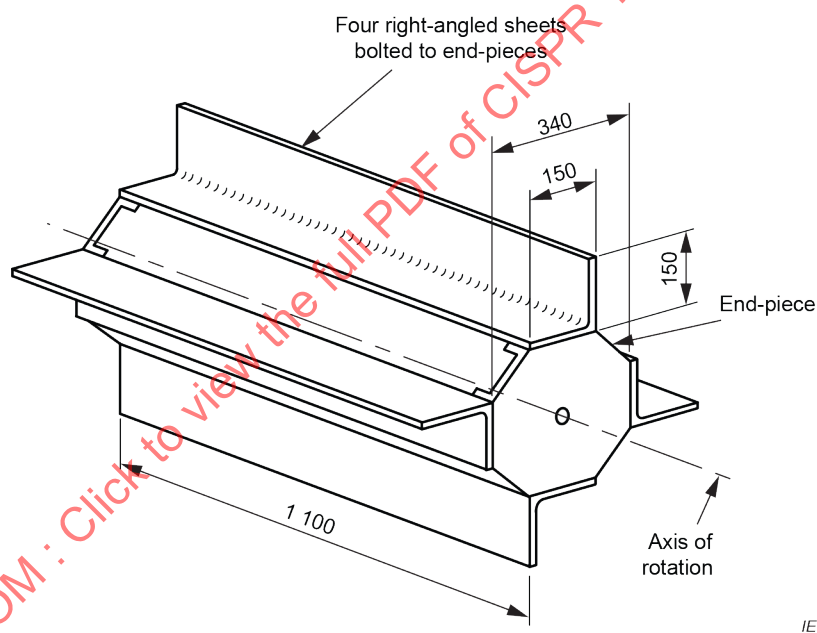


**Figure 32 – Example of a typical paddle stirrer**

#### 9.2.3.4 Rotating speed

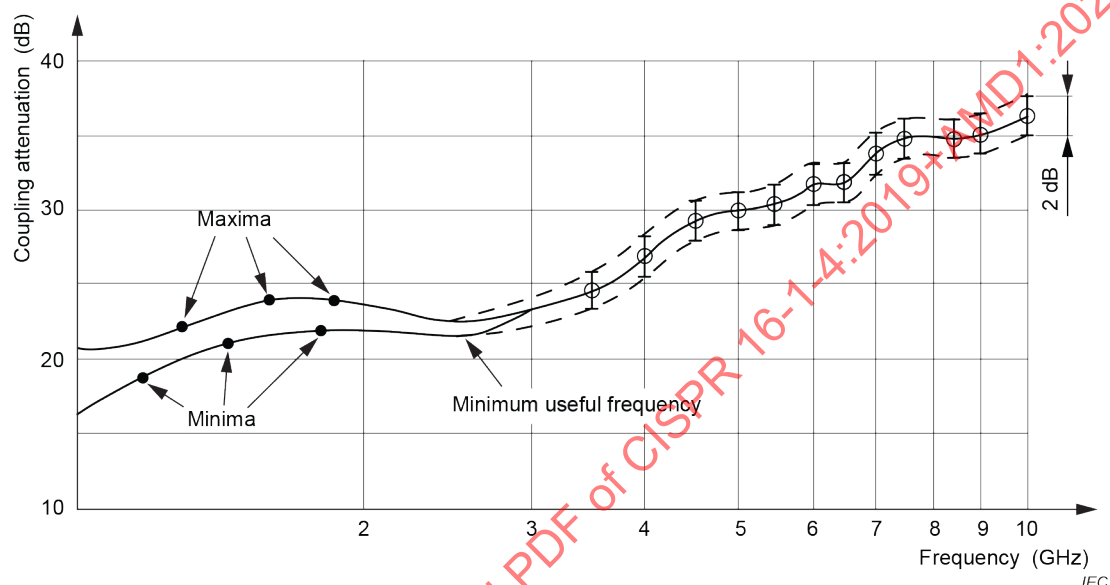
The rotation speeds of the stirrers shall be different. The longest time for one rotation of the stirrers shall be less than  $1/5$  of the integrating time of the measuring instrument. For the measuring equipment described in 9.2.5, a suitable rate is between 50 r/min and 200 r/min. The motors used to rotate the stirrers, together with their reduction gear, should preferably be outside the walls of the chamber.

### 9.2.4 Test for the efficiency of the stirrers

The desired uniform distribution of energy in the chamber is shown by the smoothness of the variation with frequency of coupling attenuation (described in 9.2.5). At low frequencies, due to the longer wavelengths, it is more difficult to achieve this uniformity, and there exist

pronounced maxima and minima. The greater the efficiency of the stirrers, the smaller are these maxima and minima, and hence the usable frequency is lower.

The coupling attenuation is measured over the usable frequency range of the chamber. At the lower frequencies, where the maxima and minima are observable, values shall be measured at about 100 MHz intervals. The receive antenna then remains fixed, the transmit antenna is rotated at 45° intervals, and the test is repeated for each position and at each frequency. The entire test shall be repeated again with the receive antenna rotated at 90°. The stirrers are considered satisfactory when: (1) the envelope of the curve of the maxima and the minima does not exceed 2 dB for any position of the transmit antenna, and (2) the means of the four curves are within an envelope of 2 dB or less. Figure 33 shows a typical result.



NOTE All measured points should lie inside the 2 dB envelope marked by the dotted line.

**Figure 33 – Range of coupling attenuation as a function of frequency for a chamber using the stirrer shown in Figure 32**

### 9.2.5 Coupling attenuation

The coupling attenuation of a chamber is the insertion loss measured between the terminals of the transmit antenna and the receive antenna in the chamber. A calibrated signal generator, whose power output can be accurately measured, is used to feed power to a low-loss transmit antenna (e.g. a horn antenna) located inside the chamber or on a chamber wall. A receive antenna may be placed at any point in the chamber, provided it is at least 1/4 wavelength distant from the walls and is not pointing toward the transmit antenna, towards the nearest chamber wall, or aligned with any of the chamber axes.

A low-noise RF amplifier is connected to the receive antenna via a high-pass filter; its output is connected through a band-pass filter to a diode detector. The band-pass filter shall be tuned to the frequency of interest, and be of the specified bandwidth. The output of the detector is connected to a peak reading voltmeter with a specified peak-hold time (the hold time will depend on the equipment being measured). A spectrum analyzer may also be used for this measurement. The power absorbed by the transmit antenna,  $P$ , is noted. The signal generator is then connected to the input of the low-noise amplifier, and its power output,  $p$ , is adjusted to give the same voltmeter reading. The power absorbed by the low-noise amplifier is noted. The coupling attenuation is given by  $10 \lg (P/p)$  dB.

## **10 TEM cells for immunity to radiated disturbance measurement**

Radiated immunity measurements may be performed in TEM waveguides using the methods specified in IEC 61000-4-20 [22].

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of CISPR 16-1-4:2019+AMD1:2020 CSV

## **Annex A** (normative)

### **Parameters of antennas**

#### **A.1 General**

Various CISPR publications specify particular antennas to be used in making measurements; other types of antennas can be used provided the results are equivalent to those obtained with the specified antenna. The comparison of these antennas to the specified antennas is supported by specifying appropriate parameters. These parameters shall be specified as part of any CISPR acceptance of a new antenna type. Antenna manufacturers shall also use this information as guidance in specifying the most useful aspects of antennas used for radiated disturbance measurements.

Manufacturers are requested to supply generic information on each antenna model, including the following parameters:

- free-space antenna factor in a 50  $\Omega$  system;
- return loss or VSWR;
- radiation patterns, at sufficient frequency increments to indicate significant changes (including beamwidth information);
- frequency-dependent measurement uncertainty values for both horizontal and vertical polarizations, to account for deviation from the free-space antenna factor caused by mutual coupling to a ground plane when the antenna is scanned in height between 1 m and 4 m;
- balun DM/CM conversion, especially for biconical and hybrid antennas; and
- XPR, especially for LPDA and hybrid antennas.

#### **A.2 Preferred antennas**

##### **A.2.1 General**

If there is an alleged non-compliance to an electric field strength limit, the value measured by a low-uncertainty antenna is preferred. A low-uncertainty antenna is one for which the field strength with a CISPR test set-up can be measured with a lower uncertainty than is required for other antennas, and that meets the field strength accuracy criterion of 4.1. Low-uncertainty antennas are described in A.2.3.

##### **A.2.2 Calculable antenna**

A calculable standard dipole antenna achieves the lowest uncertainty for electric field strength measurements. The antenna factor of a calculable dipole can be calculated for free-space and at any height and polarization above a well-defined ground plane. The principles of the calculable standard dipole are described in CISPR 16-1-5, where only the resonant dipole conditions are described. However, using widely available numerical electromagnetic modelling, the antenna factor for a single dipole length can be calculated over a broad frequency band with uncertainties less than  $\pm 0,3$  dB. For example, for a measurement at 30 MHz, a dipole that is resonant at 80 MHz can be used. The model-derived antenna factor principle can also be extended to multi-wire antennas, which cover an even broader bandwidth.

##### **A.2.3 Low-uncertainty antennas**

Low-uncertainty antennas are biconical and LPDA antennas whose basic parameters and characteristics are described in this subclause. These are broadband and have reasonable

sensitivity, i.e. their antenna factors are not too high. Calculable dipoles can be used, and potentially have the lowest uncertainty. The XPR shall meet requirements in 4.5.5, and any balun shall meet the requirements indicated in 4.5.4. The antenna factor shall be determined by a calibration laboratory that provides traceability to national standards, and is selected to minimize the uncertainty of antenna factor determination.

Acceptable types of low-uncertainty antennas are biconical antennas used over the frequency range 30 MHz to 250 MHz, and LPDA antennas over the range 250 MHz to 1 GHz. The reasons for this cross-over frequency are: an LPDA antenna has a phase centre error due to its length, which is reduced by starting at 250 MHz; and, most biconical antennas are affected by a resonance above 290 MHz and exhibit radiation pattern distortion above 260 MHz, unless open-structure elements (portable or collapsible) are used. The actual cross-over frequency between biconical and LPDA antennas can be between 200 MHz and 250 MHz, with a slight increase in phase centre uncertainties associated with LPDA antennas below 250 MHz; see A.4.2 of CISPR 16-1-6:2014. Hybrid antennas, which cover the entire frequency band 30 MHz to 1 000 MHz, are not a preferred type because the uncertainties are higher than with separate biconical and LPDA antennas mainly due to the greater length of a hybrid antenna, especially when used at a distance of 3 m from the source (as opposed to instead of the 10 m standard distance).

The low-uncertainty biconical antenna has an element tip-to-tip length of approximately  $1,35 \text{ m} \pm 0,03 \text{ m}$  (depending on balun width), six wire elements emanating in a cone shape, with a broadest diameter of approximately 0,52 m. The balun shall be a 200  $\Omega$  design (200  $\Omega$  to 50  $\Omega$  transformer ratio), which ensures better sensitivity at 30 MHz, and lower mutual coupling with the environment.

NOTE The low-uncertainty biconical antenna is based on the original shown in MIL-STD-461A [7], designed to operate from 20 MHz to 200 MHz. Collapsible-element versions of biconical antennas give better performance than the closed "cage" element versions above 250 MHz.

The low-uncertainty LPDA is designed to have a lowest frequency of 200 MHz (i.e. the longest element is resonant at 200 MHz, approximately 0,75 m) and with length of  $0,75 \text{ m} \pm 0,12 \text{ m}$  between the longest and shortest elements (the latter being resonant above 1 GHz). The reason for not having the longest element at 250 MHz is that it is not bounded by other array elements thus the radiation pattern is distorted. The antenna length of 0,75 m distinguishes it from other LPDA designs of twice the length that achieve a higher gain but will have a greater phase centre error, and LPDAs of less than 0,6 m in length that are not likely to have an antenna factor that increases smoothly and monotonically with frequency (with any sharp rises in antenna factor deviating by no more than 1,5 dB from a regression line across the whole frequency range). Phase centre errors with LPDAs can be minimized by applying a correction to the measured field strength taking the antenna-to-EUT distance into account; see 7.3.1 of CISPR 16-2-3:2016.

### A.3 Simple dipole antennas

#### A.3.1 General

If a laboratory is not able to get an antenna calibrated, an alternative is to use a dipole antenna, either in the form of a calculable dipole or a tuned dipole. A tuned dipole is relatively simple to construct and gives a low uncertainty for field strength measurement comparable to the antennas described in A.2. The antenna factors of a tuned dipole shall be verified either by a laboratory that provides traceability to national standards and tries to minimize the uncertainty of antenna factor determination, or by measuring the site insertion loss between a pair of similar dipoles above a ground plane (that conforms to Annex D) and comparing it with the calculated coupling, allowing for the loss of the baluns (see Annex C of CISPR 16-1-5). A drawback of the tuned dipole is its long length at the lower end of the frequency range, for example it is 4,8 m long at 30 MHz, which at a measurement distance of 3 m will result in errors caused by amplitude and phase gradients. Also, a dipole is most sensitive to its surroundings when it is tuned, so that the mutual impedance with its image in the ground plane can change the antenna factor by up to 6 dB for a horizontally polarized 30 MHz dipole



scanned in height from 1 m to 4 m above a ground plane. For this reason, a shortened dipole tuned to 80 MHz is recommended for use below 80 MHz.

### A.3.2 Tuned dipole

A practical and simple design of a tuned dipole comprises a half-wavelength-resonant dipole with a series-parallel coaxial stub balun. The tip-to-tip dipole lengths are approximately 0,48 wavelength, depending on the radius of the dipole element. Free-space antenna factors can be computed from the following equation, which gives the factor in decibels. This does not include the balun loss, for which an averaged value of 0,5 dB can be added to the antenna factor, and this loss factor shall be verified. The antenna factor is:

$$F_a = 20 \lg(f_M) - 31,4$$

where  $F_a$  is the AF in dB(m<sup>-1</sup>), and  $f_M$  is the frequency in MHz.

Because the tuned dipole is more sensitive to its surroundings than a broadband antenna (except at its resonant frequency, excluding LPDAs) it is unlikely that the overall uncertainty in the use of a tuned dipole will be less than that of the low-uncertainty antennas of 4.5.2.

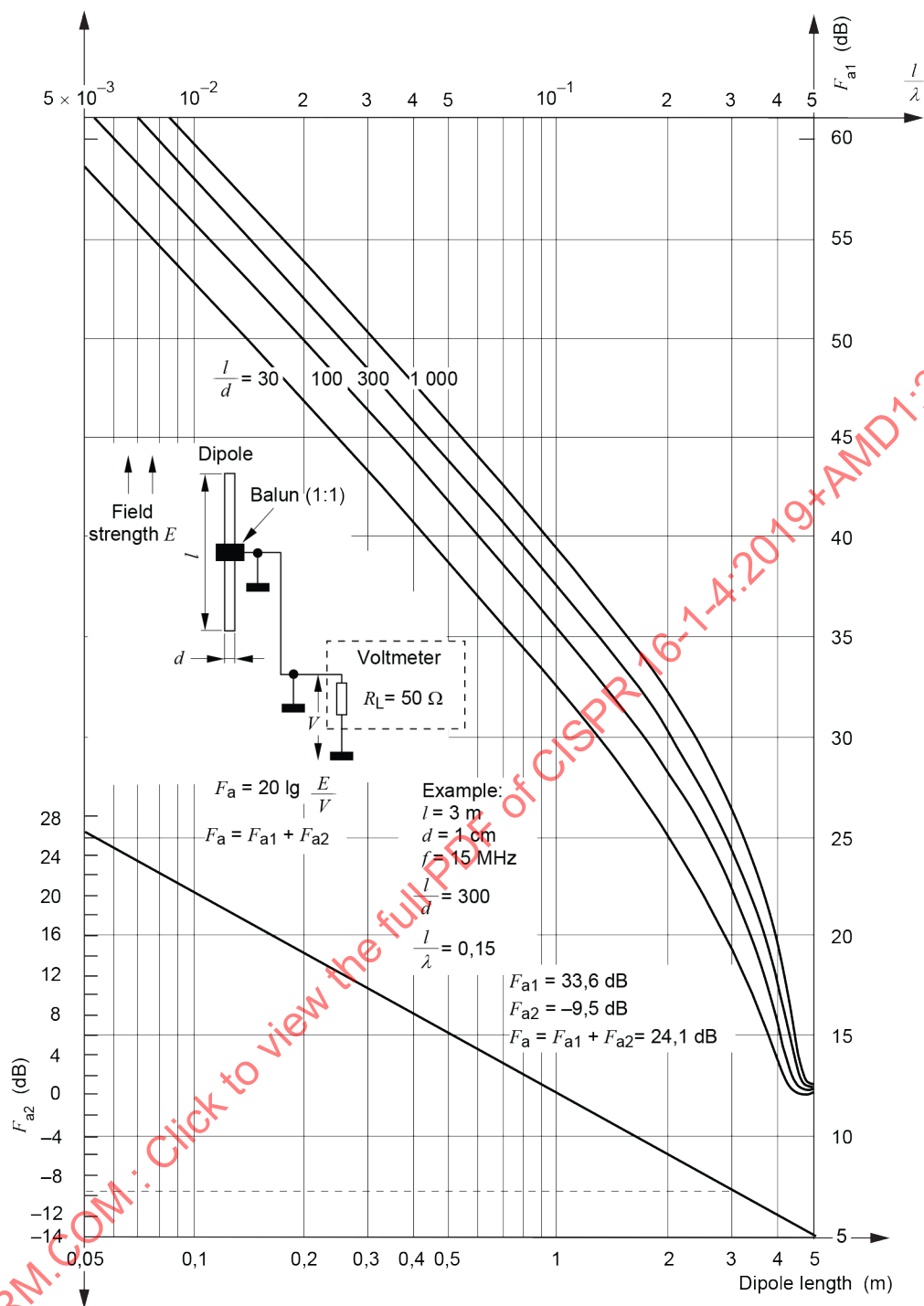
### A.3.3 Shortened dipole

A dipole shorter than one half-wavelength may be used provided:

- a) the total length is greater than 1/10-wavelength at the frequency of measurement;
- b) it is connected to a cable sufficiently well matched at the receiver end, to ensure a return loss at the cable input of greater than 10 dB. The calibration shall take account of the return loss;
- c) it has a polarization discrimination equivalent to that of a tuned dipole (see 4.5.3). To obtain this, a balun is needed that fulfils the balun imbalance test in 4.5.4.
- d) for determination of the measured field strength, a calibration curve (antenna factor) is determined and used for the measuring distance (i.e. at a distance of at least three times the length of the dipole);

NOTE Antenna factors thus obtained should make it possible to fulfil the requirement of measuring uniform sine-wave fields with an accuracy not worse than  $\pm 3$  dB. Examples of calibration curves are given in Figure A.1, which shows the theoretical relation between field strength and receiver input voltage for a receiver with input impedance of 50  $\Omega$ , and for various  $l/d$  ratios. In this figure, the balun is considered as an ideal 1:1 transformer. However, these curves do not account for the losses of the balun, the cable, and any mismatch between the cable and the receiver.

- e) in spite of the sensitivity loss of a field-strength meter due to a high antenna factor attributed to the shortened length of the dipole, the measuring limit of a field-strength meter (determined for example by the receiver noise level and the AF of the dipole) shall remain at least 10 dB below the disturbance limit.



NOTE See NOTE in A.3.3 item d).

Figure A.1 – Short dipole antenna factors for  $R_L = 50 \Omega$

## A.4 Broadband antenna parameters

### A.4.1 General

Broadband antennas used for CISPR measurements are those antennas that are linearly polarized and are intended for use over a wide frequency range. This does not prevent the use of antennas with limited length adjustment or the addition of antenna element sections. The input impedance of such antennas typically is a complex quantity. Other parameters that can be specified are described below.

## **A.4.2 Antenna type**

### **A.4.2.1 General**

Subclauses A.4.2.2 to A.4.2.7 describe the physical parameters of broadband antennas that should be provided. Note that some parameters may not apply to every antenna.

### **A.4.2.2 Antenna style of fixed or variable length or diameter**

If the antenna has a variable length, specify the number of sections that are added or subtracted to change the basic fixed length.

NOTE Fully-tunable antennas are not considered to be broadband and hence are not considered in A.4. Also, the diameter of a loop antenna generally is not variable.

### **A.4.2.3 Depth to width ratio or loop diameter**

Provide dimension in metres. For an LPDA, for example, the length of the boom along the measurement axis and the width of the largest element would be provided.

### **A.4.2.4 Active or passive antenna**

A broadband antenna is considered an active antenna if it contains amplifiers, preamplifiers, and other non-linear active devices that amplify the signal or shape the frequency response or both.

### **A.4.2.5 Mounting arrangement**

Provide any special mounting requirements beyond those that can be accommodated by a typical tripod or antenna positioner.

### **A.4.2.6 Connector type**

Specify BNC, N, SMA, etc. as appropriate. Specify the pin depth tolerance, and state that it should be verified with a pin-depth gauge.

### **A.4.2.7 Balun type**

Specify if the balun is discrete, distributed, tunable, etc. Specify the balun transformer ratio.

## **A.4.3 Specification of the antenna**

### **A.4.3.1 Frequency range**

Specify the frequency range in megahertz or kilohertz where the antenna operates within its characteristics. If there is a defined fall-off characteristic in decibels per octave at either end of the range, so specify.

### **A.4.3.2 Gain and antenna factor**

#### **A.4.3.2.1 Gain**

Specify typical or actual gain in decibels relative to an isotropic radiator (dBi).

#### **A.4.3.2.2 Antenna factor**

Specify the individual AF in dB(m<sup>-1</sup>). See CISPR 16-1-6 for antenna calibration procedures.

#### **A.4.3.3 Directivity and radiation pattern for linear polarization**

Specify antenna pattern and directivity in degrees with a polar plot for both the E-plane and H-plane at a sufficient number of frequencies that show any significant changes with frequency. For antennas with relatively low directivity (e.g. less than 6 dBi), specify the front-to-back ratio in decibels. If omnidirectional, for example having a Hertzian dipole pattern, this shall be stated.

#### **A.4.3.4 VSWR and impedance**

Indicate the minimum return loss and nominal input impedance in ohms. Additionally, the minimum return loss can be expressed as maximum VSWR.

#### **A.4.3.5 Active antenna performance**

For antennas with active amplified gain, specify the intermodulation product levels, the electric and magnetic field strength immunity level from outside disturbances, and any appropriate check(s) to determine overload or improper operation.

#### **A.4.3.6 Power handling**

For immunity testing transmit use, specify maximum and transient power handling capability, in watts.

#### **A.4.3.7 Other conditions**

Specify the temperature and humidity range in which the antenna is operated, and any precautions if used in an unprotected area exposed to the weather.

#### **A.4.4 Antenna calibration**

Methods of antenna calibration are given in CISPR 16-1-6.

#### **A.4.5 Antenna user information**

##### **A.4.5.1 Antenna use**

Provide a description of the use of the antenna. Ensure that any special precautions or limitations are cited to reduce the chance of misuse.

##### **A.4.5.2 Physical limitations**

Indicate if there are any physical limitations in using the antenna such as the following:

- a) minimum height above the ground plane;
- b) preferred polarization with respect to the ground plane;
- c) special use, i.e. use as a receive antenna or a transmit antenna only. Normally, this is limited to the power-handling capability of the balun for passive antennas, or the non-bidirectional characteristics for active antennas. State if power handling is limited by arcing across non-welded antenna element connections;
- d) simple ohmic check to determine continuity integrity of the antenna;
- e) minimum separation of the closest antenna element to the EUT being measured.

**Annex B**  
(XXX)

**(Void)**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of CISPR 16-1-4:2019+AMD1:2020 CSV

## **Annex C**

(normative)

### **Large-loop antenna system for magnetic field induced-current measurements in the frequency range of 9 kHz to 30 MHz**

#### **C.1 General**

This annex sets forth information and data concerning measurement of current induced in a large-loop antenna system (LLAS) by the magnetic field emitted by a single EUT, positioned in the centre of the LLAS, in the frequency range of 9 kHz to 30 MHz. Subclause 4.7 of this document, and CISPR 16-2-3, refer to use of this LLAS; see also [9].

A description of the LLAS is given in this annex, as well as the method for validation of the individual loop antennas comprising the LLAS. Conversion factors are given to relate magnetic field induced-current data to magnetic field data that would have been obtained if the same EUT was measured using a single-loop magnetic field antenna positioned at a specified distance from that EUT.

#### **C.2 Construction of an LLAS**

The LLAS (see Figure C.1) consists of three mutually perpendicular large-loop antennas, which are described in Clause C.3. The entire LLAS is supported by a non-metallic base.

A 50  $\Omega$  coaxial cable between the current probe of each LLA and the coaxial switch, and between this switch and the measuring equipment, shall have surface transfer impedance less than 10 m $\Omega$ /m at 100 kHz, and less than 1 m $\Omega$ /m at 10 MHz. This requirement is met when using, for example, double-braided shield RG-223/U coaxial cable.

All connectors shall have surface transfer impedance comparable with that of the coaxial cable. This requirement is met, for example, when using good quality BNC collet-lock type connectors (see [1]).

All cables shall be equipped with ferrite absorbers (labelled F in Figure C.1), providing a common-mode series resistance of  $R_s > 100 \Omega$  at 10 MHz. This requirement is met when constructing the ferrite absorber from, for example, twelve rings (toroids) of type 3E1 from Ferroxcube (minimum size: 29 mm outer diameter by 19 mm inner diameter by 7,5 mm height).

#### **C.3 Construction of a large-loop antenna (LLA)**

Each LLA of the LLAS is constructed from coaxial cable having surface transfer impedance as specified in C.2. In addition, the resistance of the inner conductor of each LLA shall be sufficiently low (see NOTE 1). Both requirements are met, for example, when using double-braided shield RG-223/U coaxial cable.

To keep each LLA in its circular shape, and to protect the slit construction, as in the example of Figure C.2, the cable is inserted in a thin-walled non-metallic tube, with inner diameter of approximately 25 mm. Other non-metallic constructions serving the same purposes may be used.

The standard diameter of each LLA is defined as  $D = 2$  m (i.e. the reference diameter). If necessary, e.g. in the case of a large EUT,  $D$  may be increased. However, in the frequency range up to 30 MHz, the maximum diameter allowed is 4 m. Further increase of the diameter can result in non-reproducible resonances of the LLAS response at the high-frequency end of

the measuring range. The validation method specified in C.4 applies for LLAS loops with diameters of 2 m, 3 m, or 4 m.

Note that by increasing the diameter, the LLA sensitivity to ambient noise increases proportionally to the diameter, and its sensitivity to wanted signals is inversely proportional to the diameter-squared.

Each LLA contains two opposite slits, positioned symmetrically with respect to the current probe of each LLA (see Figure C.2). Such a slit, made in the outer conductor of the coaxial antenna cable as shown in Figure C.3, shall have a width of less than 7 mm. The slit is bridged by two parallel sets of 100  $\Omega$  resistors in series. The centre of each series circuit is connected to the inner conductor of the coaxial antenna cable.

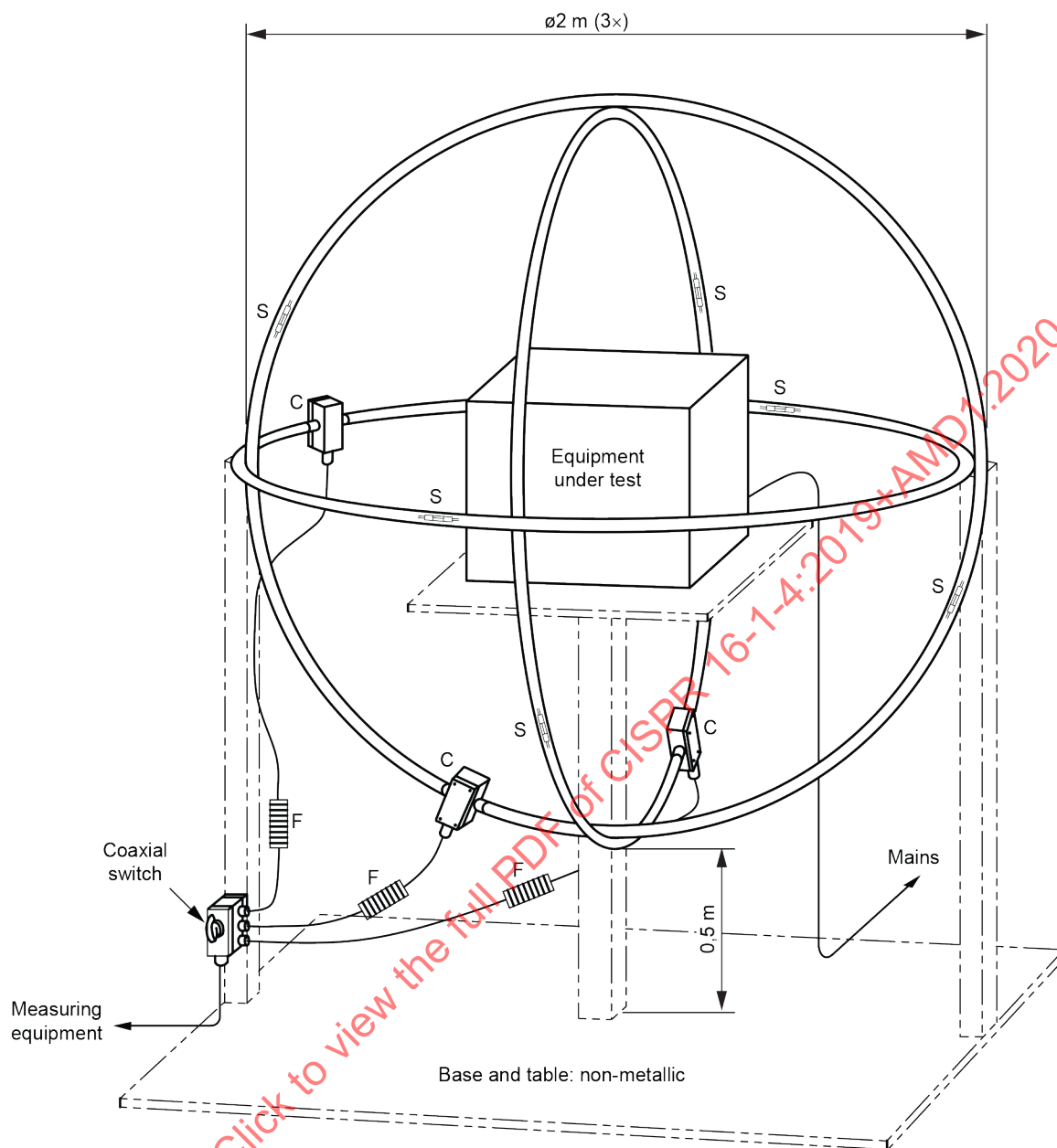
At each side of the slit, the outer conductor of the coaxial antenna cable may be bonded to a strap of printed circuit board material with two copper rectangles, separated by at least 5 mm, to obtain a rigid slit construction (see Figure C.4).

The current probe around the inner conductor of the LLA coaxial cable shall have a sensitivity of 1 V/A over the frequency range of 9 kHz to 30 MHz. The insertion impedance of the current probe should be sufficiently low (see NOTE).

NOTE To obtain a flat frequency response for each LLA at the lower end of the 9 kHz to 30 MHz frequency range, the resistive part of the insertion impedance,  $R_c$ , of the current probe is designed to be much smaller than  $2\pi f L_c$  at  $f = 9$  kHz, where  $L_c$  represents the inductance of the current probe. In addition,  $R_c + R_i$  is to be less than or equal to  $X_i/10 = (2\pi f L)/10$  at 9 kHz, where  $R_i$  is the resistance of the inner conductor of the loop and  $L$  is the loop inductance. This inductance is about 1,5  $\mu\text{H/m}$  along the circumference; thus, for each standard LLA whose diameter is 2 m,  $X_i \approx 0,5 \Omega$  at  $f = 9$  kHz.

The outer conductor of the LLA cable shall be bonded to the metal box containing the current probe (see Figure C.5). The maximum dimensions of this box are: 80 mm width, 120 mm length, and 80 mm height.

To avoid unwanted capacitive coupling between the EUT and the LLAS, the distance between the EUT and components of the LLAS shall be at least 0,10 times the loop diameter. Particular attention should be paid to the leads of an EUT. Cables shall be routed together and leave the test volume in the same octant of the LLAS, no closer than 0,4 m to any of the LLAS loops (see Figure C.6).



IEC

#### Components

- S antenna slit
- C current probe
- F ferrite absorber

**Figure C.1 – The LLAS, consisting of three mutually perpendicular large-loop antennas**



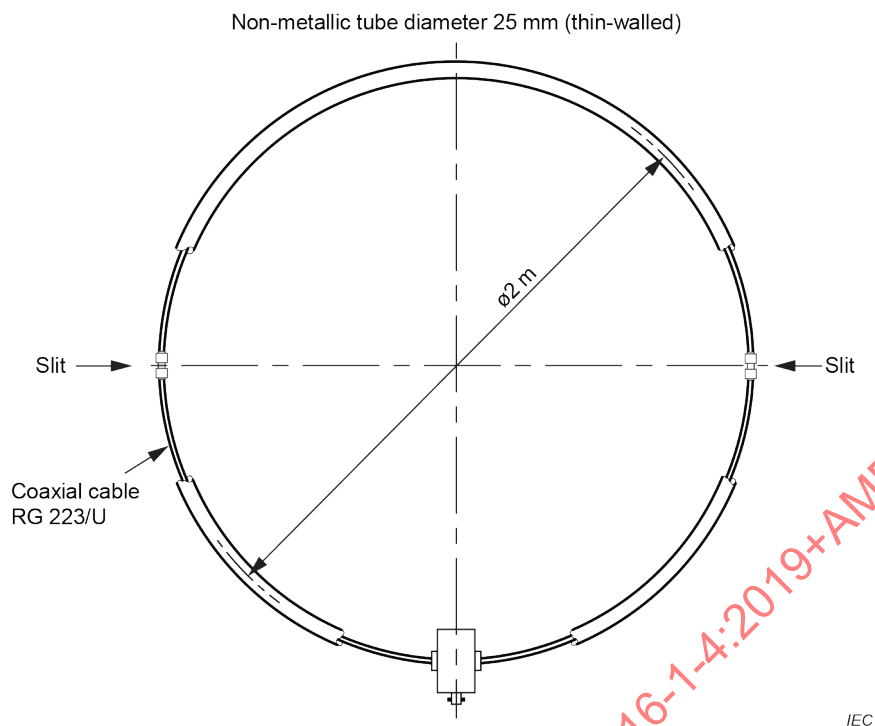


**Figure C.2 – An LLA containing two opposite slits, positioned symmetrically with respect to the current probe C**

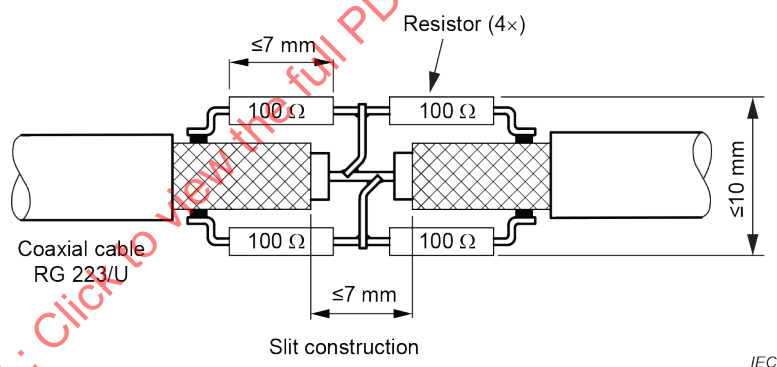


**Figure C.3 – Construction of an LLA slit**

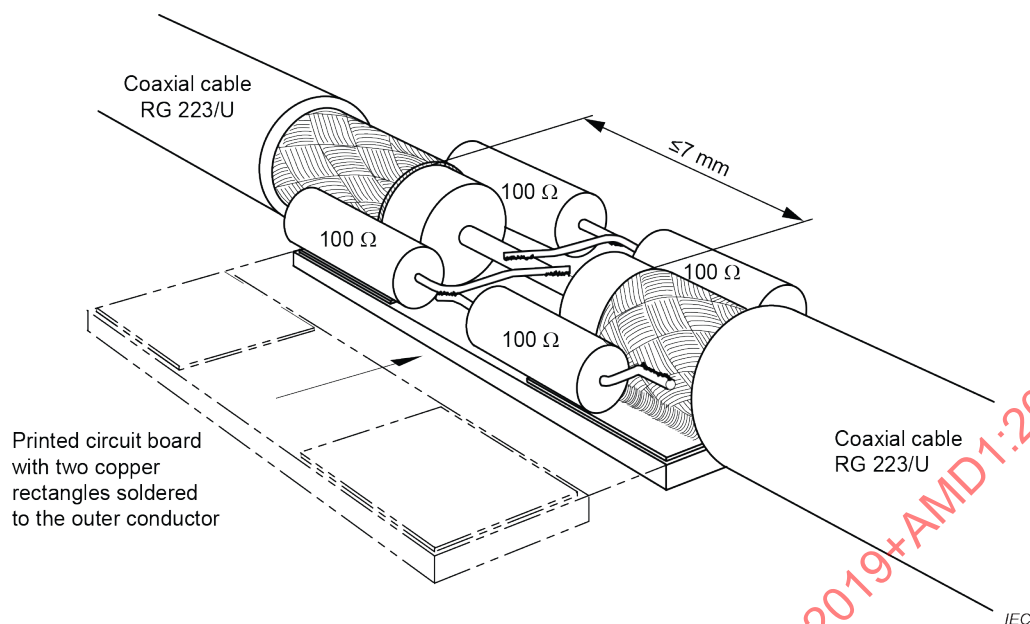


**Figure C.4 – Example of an LLA slit construction using a strap of printed circuit board to obtain a rigid construction**

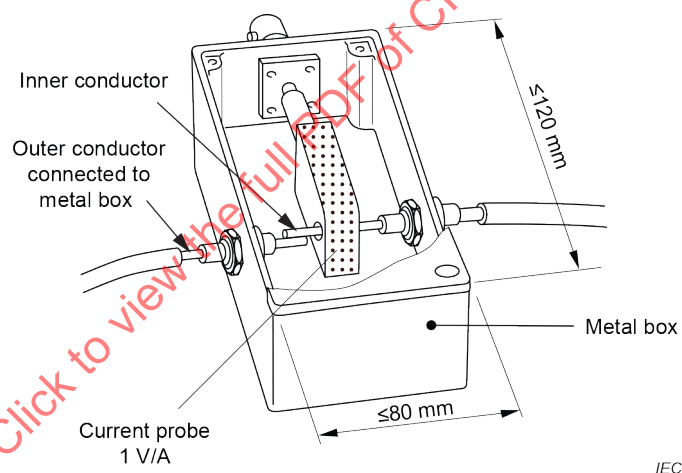


**Figure C.5 – Construction of the metal box containing the current probe**

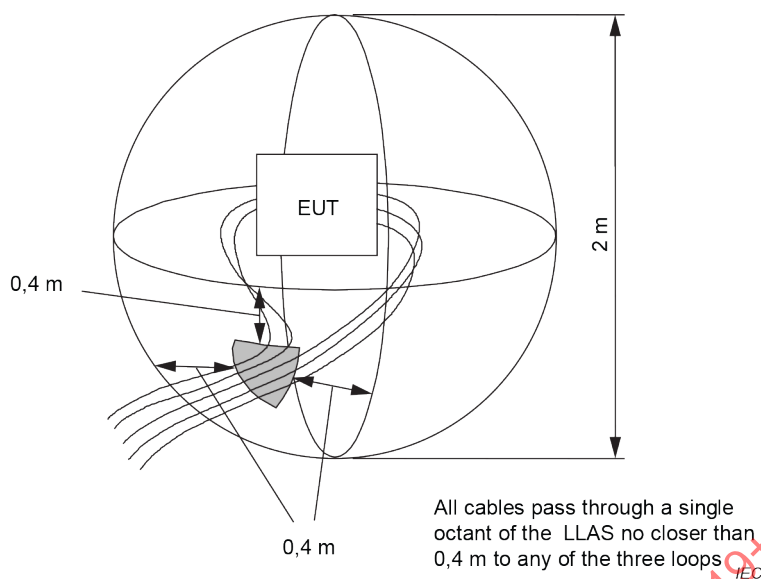


**Figure C.6 – Example showing the routing of several cables from an EUT to minimize capacitive coupling from the leads to the LLAS**

#### C.4 Validation of an LLAS

The validation of the LLAS shall be carried out by measuring the current induced in each of the three LLAs by means of the LLAS verification dipole connected to a 50  $\Omega$  RF generator, as described in C.5. The magnetic field emitted by the dipole allows verification of the magnetic field sensitivity of the LLAS. The electric field emitted by the LLAS verification dipole is intended to verify that the electric field sensitivity of the LLAS is sufficiently low.

The validation of an LLAS shall be performed at the site where the LLAS measurements normally take place. This is to account for the effect of the floor, walls, and similar objects or surfaces in the specific environment of the LLAS.

Validation measurements shall be performed at least at the following frequencies: 9 kHz, 100 kHz, 1 MHz, 2 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz, 20 MHz, 25 MHz, and 30 MHz.

The induced current shall be measured as a function of frequency in the range of 9 kHz to 30 MHz at the eight positions of the LLAS verification dipole shown in Figure C.7. During this measurement, the LLAS verification dipole shall be in the plane of the LLA under test.

In each of the eight positions, the measured validation factor, expressed in dB( $\Omega$ ) as  $20 \lg(V_{go}/I_l)$ , where  $V_{go}$  is the open circuit voltage of the RF generator and  $I_l$  is the measured current, shall not deviate by more than  $\pm 3$  dB from the applicable reference validation factor given in Figure C.8 and Table C.1.

The reference validation factors given in Figure C.8 and Table C.1 are valid for an LLAS with circular loops having diameters of  $D = 2$  m, 3 m, or 4 m.

Tabular values of the curves presented in Figure C.8 are given in Table C.1. These tabular values shall be used for the LLAS validation.

Background material and the equations for calculating the reference validation factors are given in CISPR TR 16-3:2020 [23].

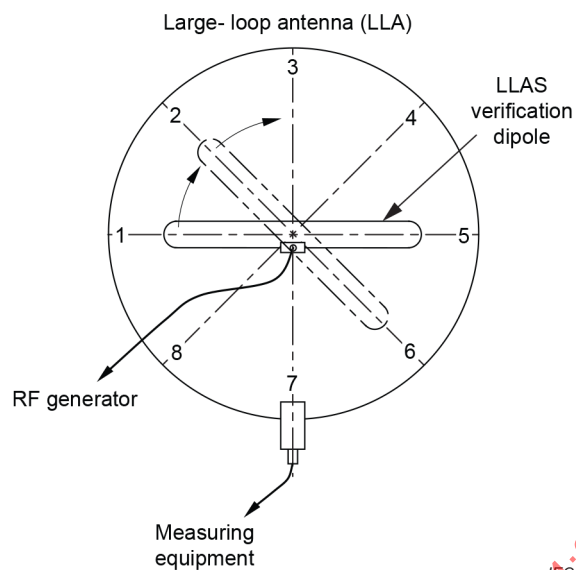


**Figure C.7 – The eight positions of the LLAS verification dipole during validation of an LLA**

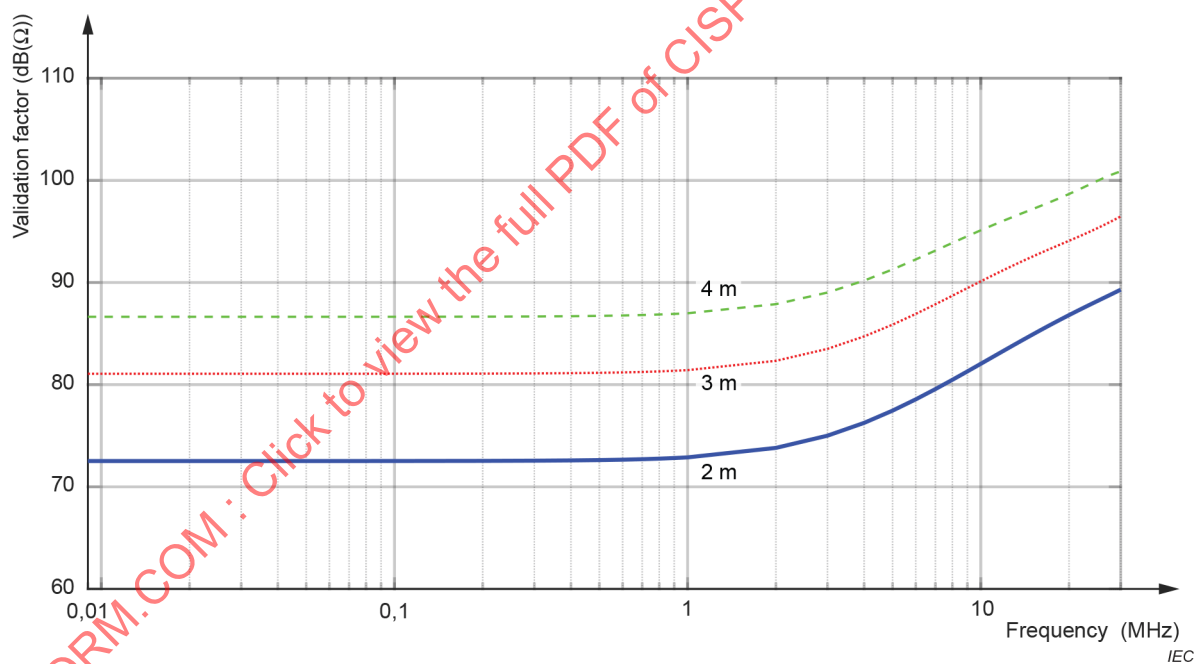


**Figure C.8 – Reference validation factors for loops of 2 m, 3 m, and 4 m diameters**

**Table C.1 – Reference validation factors of Figure C.8 for loops of 2 m, 3 m, and 4 m diameters**

| Frequency<br><br>MHz | Reference validation factor |          |          | Frequency<br><br>MHz | Reference validation factor |          |          |
|----------------------|-----------------------------|----------|----------|----------------------|-----------------------------|----------|----------|
|                      | 2 m LLAS                    | 3 m LLAS | 4 m LLAS |                      | 2 m LLAS                    | 3 m LLAS | 4 m LLAS |
|                      | dB(Ω)                       |          |          |                      | dB(Ω)                       |          |          |
| 0,009                | 72,52                       | 81,07    | 86,64    | 7                    | 79,57                       | 87,87    | 93,13    |
| 0,01                 | 72,52                       | 81,07    | 86,64    | 8                    | 80,47                       | 88,71    | 93,88    |
| 0,02                 | 72,52                       | 81,07    | 86,64    | 9                    | 81,30                       | 89,45    | 94,54    |
| 0,03                 | 72,52                       | 81,07    | 86,64    | 10                   | 82,04                       | 90,12    | 95,11    |
| 0,04                 | 72,52                       | 81,07    | 86,64    | 11                   | 82,72                       | 90,71    | 95,62    |
| 0,05                 | 72,52                       | 81,07    | 86,64    | 12                   | 83,34                       | 91,24    | 96,07    |
| 0,06                 | 72,52                       | 81,07    | 86,65    | 13                   | 83,90                       | 91,72    | 96,47    |
| 0,07                 | 72,52                       | 81,07    | 86,65    | 14                   | 84,42                       | 92,15    | 96,84    |
| 0,08                 | 72,52                       | 81,07    | 86,65    | 15                   | 84,90                       | 92,54    | 97,18    |
| 0,09                 | 72,52                       | 81,07    | 86,65    | 16                   | 85,34                       | 92,89    | 97,50    |
| 0,1                  | 72,52                       | 81,07    | 86,65    | 17                   | 85,75                       | 93,22    | 97,80    |
| 0,2                  | 72,54                       | 81,08    | 86,66    | 18                   | 86,13                       | 93,53    | 98,10    |
| 0,3                  | 72,55                       | 81,10    | 86,68    | 19                   | 86,48                       | 93,82    | 98,39    |
| 0,4                  | 72,58                       | 81,13    | 86,70    | 20                   | 86,81                       | 94,09    | 98,67    |
| 0,5                  | 72,61                       | 81,16    | 86,73    | 21                   | 87,12                       | 94,35    | 98,94    |
| 0,6                  | 72,65                       | 81,20    | 86,77    | 22                   | 87,41                       | 94,60    | 99,21    |
| 0,7                  | 72,70                       | 81,24    | 86,82    | 23                   | 87,68                       | 94,85    | 99,47    |
| 0,8                  | 72,75                       | 81,30    | 86,87    | 24                   | 87,94                       | 95,09    | 99,72    |
| 0,9                  | 72,81                       | 81,36    | 86,93    | 25                   | 88,19                       | 95,32    | 99,96    |
| 1                    | 72,88                       | 81,42    | 86,99    | 26                   | 88,43                       | 95,56    | 100,18   |
| 2                    | 73,81                       | 82,33    | 87,88    | 27                   | 88,66                       | 95,79    | 100,38   |
| 3                    | 75,01                       | 83,51    | 89,02    | 28                   | 88,88                       | 96,02    | 100,57   |
| 4                    | 76,26                       | 84,72    | 90,19    | 29                   | 89,09                       | 96,25    | 100,73   |
| 5                    | 77,46                       | 85,88    | 91,28    | 30                   | 89,30                       | 96,47    | 100,88   |
| 6                    | 78,56                       | 86,93    | 92,26    | -                    | -                           | -        | -        |

## C.5 Construction of the LLAS verification dipole antenna

The LLAS verification dipole, shown in Figure C.9, has been designed to emit simultaneously a magnetic field, which should be measured by the LLAS, and an electric field, which should be rejected by the LLAS.

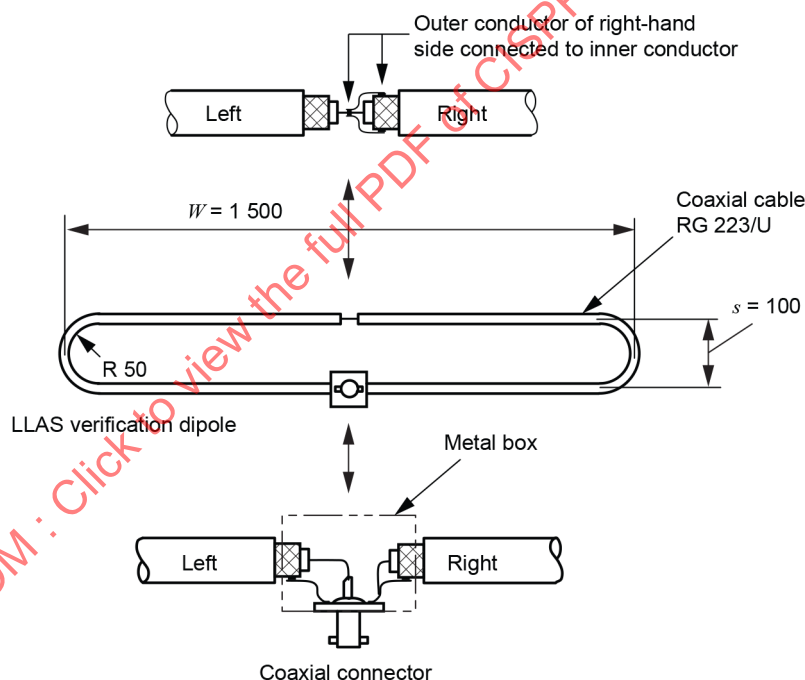
The LLAS verification dipole antenna shall be constructed in accordance with Figure C.9, using RG-223/U or similar type of coaxial cable. It shall have a width  $W = 150$  cm and a spacing  $s = 10$  cm (cable centre to cable centre distances), as depicted in Figure C.9. A slit in the outer conductor of the coaxial cable shall separate the dipole into two halves. One half of the dipole (the right-hand half in Figure C.9) shall be short-circuited near the connector as well as near the slit opposite from the connector. Short-circuited means that the inner and outer conductors of the coaxial cable shall be electrically bonded together. This half shall be connected to the reference-ground of the coaxial connector (BNC or similar type). The inner conductor of the coaxial cable, forming the left-hand half of the dipole in Figure C.9, shall be connected to the centre-pin of the coaxial connector, and its outer conductor connected to the reference ground of that coaxial connector.

A small metal box shall be used to screen the connections near the coaxial connector. The outer conductor of the two halves of the dipole coaxial cable and the reference ground of the coaxial connector shall be bonded to this box.

A small metal box may be used to screen the connections near the BNC connector. The outer conductor of the two halves of the coaxial cable, and the reference ground of the BNC connector, are bonded to this box.

To obtain a rigid construction, the dipole is supported by a non-conductive base.

*Dimensions in millimetres*



NOTE Distances indicated are cable centre to cable centre distances.

**Figure C.9 – Construction of the LLAS verification dipole antenna**

## C.6 Conversion factors

### C.6.1 General

This subclause deals with the factor that converts the current measured in an LLA with a non-standard diameter to a current that would have been measured using an LLA with the standard diameter of  $D = 2$  m (see Figure C.10 and Table C.2). It also deals with the factor that converts the current ( $I$ ) induced in an LLA by an EUT into a magnetic field strength  $H$  at a

specified distance from the EUT (see Figure C.11 and Table C.3). Background material and the equations for calculating these conversion factors are given in CISPR TR 16-3:2020 [23].

## C.6.2 Current conversion factors for an LLAS with non-standard diameter

The difference  $S_D$  in decibels, between the current measured in an LLA with diameter  $D$ , in m, and the current that would be measured using an LLA having the standard diameter  $D = 2$  m, expressed in logarithmic units (such as dB(μA)), is given in Figure C.10 (and Table C.2) for several values of  $D$ , as determined using Equation (C.1):

$$S_D = I_{Dm} - I_{2m} \quad (\text{C.1})$$

where  $I_{Dm}$  and  $I_{2m}$  are the values of the induced currents in an LLA with diameter  $D$  and the standard 2 m diameter LLA, respectively, both expressed in logarithmic units (such as dB(μA)).

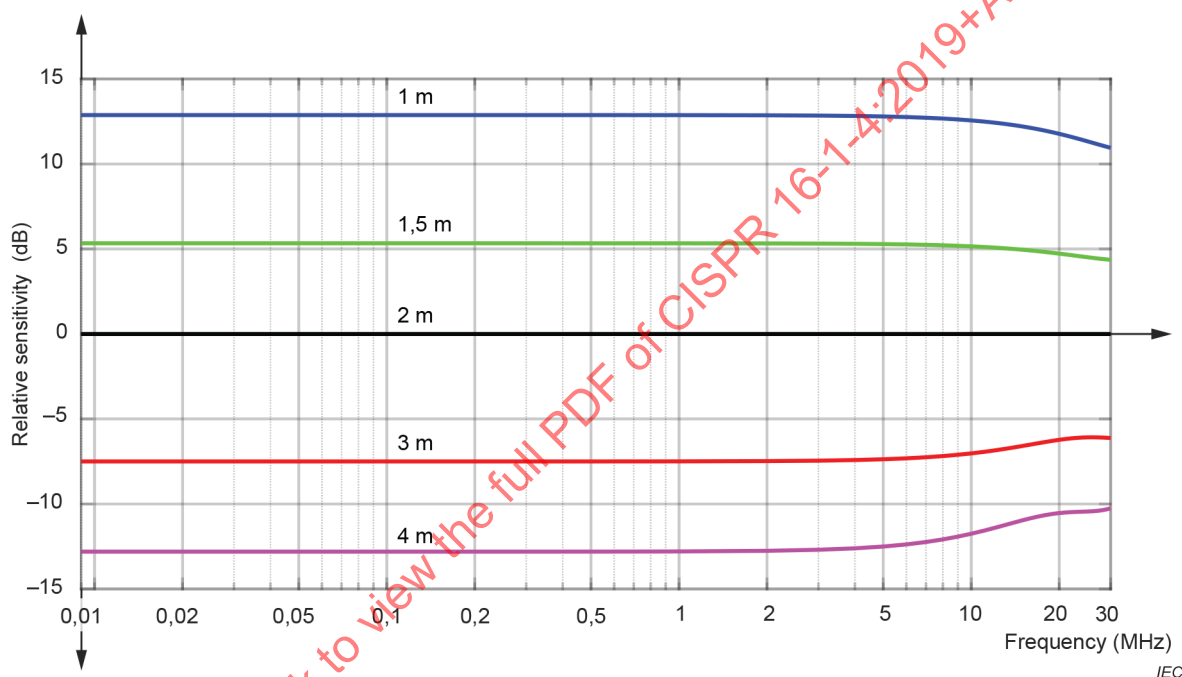


Figure C.10 – Sensitivity  $S_D$  of an LLA with diameter  $D$  relative to an LLA with 2 m diameter

**Table C.2 – Sensitivity  $S_D$  of an LLA with diameter  $D$  relative to an LLA with 2 m diameter (Figure C.10)**

| Frequency<br>MHz | LLAS diameter $D$ |       |       |        | Frequency<br>MHz | LLAS diameter $D$ |       |       |        |
|------------------|-------------------|-------|-------|--------|------------------|-------------------|-------|-------|--------|
|                  | 1 m               | 1,5 m | 3 m   | 4 m    |                  | 1 m               | 1,5 m | 3 m   | 4 m    |
|                  | dB                | dB    | dB    | dB     |                  | dB                | dB    | dB    | dB     |
| 0,009            | 12,88             | 5,34  | -7,50 | -12,80 | 7                | 12,72             | 5,24  | -7,25 | -12,24 |
| 0,01             | 12,88             | 5,34  | -7,50 | -12,80 | 8                | 12,67             | 5,22  | -7,18 | -12,08 |
| 0,02             | 12,88             | 5,34  | -7,50 | -12,80 | 9                | 12,62             | 5,19  | -7,11 | -11,92 |
| 0,03             | 12,88             | 5,34  | -7,50 | -12,80 | 10               | 12,56             | 5,16  | -7,02 | -11,75 |
| 0,04             | 12,88             | 5,34  | -7,50 | -12,80 | 11               | 12,50             | 5,12  | -6,94 | -11,58 |
| 0,05             | 12,88             | 5,34  | -7,50 | -12,80 | 12               | 12,43             | 5,08  | -6,85 | -11,41 |
| 0,06             | 12,88             | 5,34  | -7,50 | -12,80 | 13               | 12,36             | 5,04  | -6,76 | -11,25 |
| 0,07             | 12,88             | 5,34  | -7,50 | -12,80 | 14               | 12,29             | 5,00  | -6,67 | -11,09 |
| 0,08             | 12,88             | 5,34  | -7,50 | -12,80 | 15               | 12,21             | 4,96  | -6,58 | -10,96 |
| 0,09             | 12,88             | 5,34  | -7,50 | -12,80 | 16               | 12,12             | 4,91  | -6,50 | -10,84 |
| 0,1              | 12,88             | 5,34  | -7,50 | -12,80 | 17               | 12,04             | 4,87  | -6,42 | -10,73 |
| 0,2              | 12,88             | 5,33  | -7,50 | -12,80 | 18               | 11,95             | 4,82  | -6,35 | -10,65 |
| 0,3              | 12,88             | 5,33  | -7,50 | -12,80 | 19               | 11,86             | 4,77  | -6,28 | -10,58 |
| 0,4              | 12,88             | 5,33  | -7,50 | -12,80 | 20               | 11,77             | 4,73  | -6,23 | -10,53 |
| 0,5              | 12,88             | 5,33  | -7,50 | -12,80 | 21               | 11,68             | 4,68  | -6,18 | -10,50 |
| 0,6              | 12,88             | 5,33  | -7,50 | -12,80 | 22               | 11,60             | 4,64  | -6,14 | -10,48 |
| 0,7              | 12,88             | 5,33  | -7,50 | -12,80 | 23               | 11,51             | 4,60  | -6,11 | -10,46 |
| 0,8              | 12,88             | 5,33  | -7,49 | -12,80 | 24               | 11,42             | 4,55  | -6,09 | -10,45 |
| 0,9              | 12,88             | 5,33  | -7,49 | -12,79 | 25               | 11,33             | 4,52  | -6,08 | -10,44 |
| 1                | 12,87             | 5,33  | -7,49 | -12,79 | 26               | 11,25             | 4,48  | -6,08 | -10,43 |
| 2                | 12,86             | 5,33  | -7,48 | -12,75 | 27               | 11,17             | 4,45  | -6,08 | -10,40 |
| 3                | 12,85             | 5,32  | -7,45 | -12,69 | 28               | 11,09             | 4,41  | -6,09 | -10,37 |
| 4                | 12,83             | 5,30  | -7,41 | -12,61 | 29               | 11,02             | 4,39  | -6,10 | -10,32 |
| 5                | 12,80             | 5,29  | -7,37 | -12,50 | 30               | 10,95             | 4,36  | -6,12 | -10,25 |
| 6                | 12,76             | 5,27  | -7,31 | -12,38 | -                | -                 | -     | -     | -      |

### C.6.3 Conversion of LLAS measured current to magnetic field strength

The conversion factor in Figure C.11 and Table C.3 represent the worst-case (highest) of all three polarizations when considering a source of magnetic field positioned in the centre of an LLA with its magnetic dipole moment perpendicular to the plane of that LLA, for all three loops of an LLAS. As such, this conversion factor may be used to estimate the worst-case magnetic field strength that would be measured with the loop antenna specified in 4.3, at a specific measurement distance (3 m, 10 m, or 30 m) from the EUT periphery, with the loop antenna centre at 1,3 m above the metallic ground plane of a test site, with the EUT's lowest surface positioned at 80 cm above the ground plane, and with the EUT rotated through all azimuth angles, for all three loop antenna polarizations. This field strength estimation may be obtained by adding the conversion factor of Figure C.11 and Table C.3 to the worst-case induced current level measured from the EUT with the three loops of the LLAS, at the frequency of measurement.

NOTE 1 Often, traditional magnetic field strength test methods (e.g. from CISPR 11 [24]) apply a loop antenna as specified in 4.3 and positioned in a vertical plane only while the EUT is rotated only around its vertical axis. In that case only the horizontal dipole moments, i.e. the dipole moments parallel to the ground plane, are measured. Consequently, in case the EUT also generates vertical dipole moments, the LLAS conversion factor cannot be used to compare the results of both measurement methods. However, the LLAS conversion factor can be used for comparisons with the magnetic field strength measurement method results when the loop antenna of 4.3 is positioned in a horizontal plane, in addition to the two vertical loop plane polarizations.



If the actual position of a disturbance source within an EUT is at a distance less than 0,5 m from the centre of the standard LLAS, the measurement results differ by less than 3 dB from those with that source in the centre of the LLAS.

The relation between the magnetic field strength  $H$  in dB(μA/m) measured at a distance  $d$  and the LLA current  $I$  in dB(μA) is per Equation (C.2):

$$H = I + C_{dA} \quad (\text{C.2})$$

where  $C_{dA}$  is the current-to-field conversion factor in dB(m<sup>-1</sup>) for a certain distance  $d$  when expressing  $H$  in dB(μA/m) (see also NOTE 2).

In general, the conversion factor is frequency-dependent; Figure C.11 (and Table C.3) present  $C_{dA}$  for standard measurement distances of 3 m, 10 m, and 30 m.

If the current is measured in an LLAS with a non-standard diameter  $D$ , Equation (C.2) can be written as Equation (C.3):

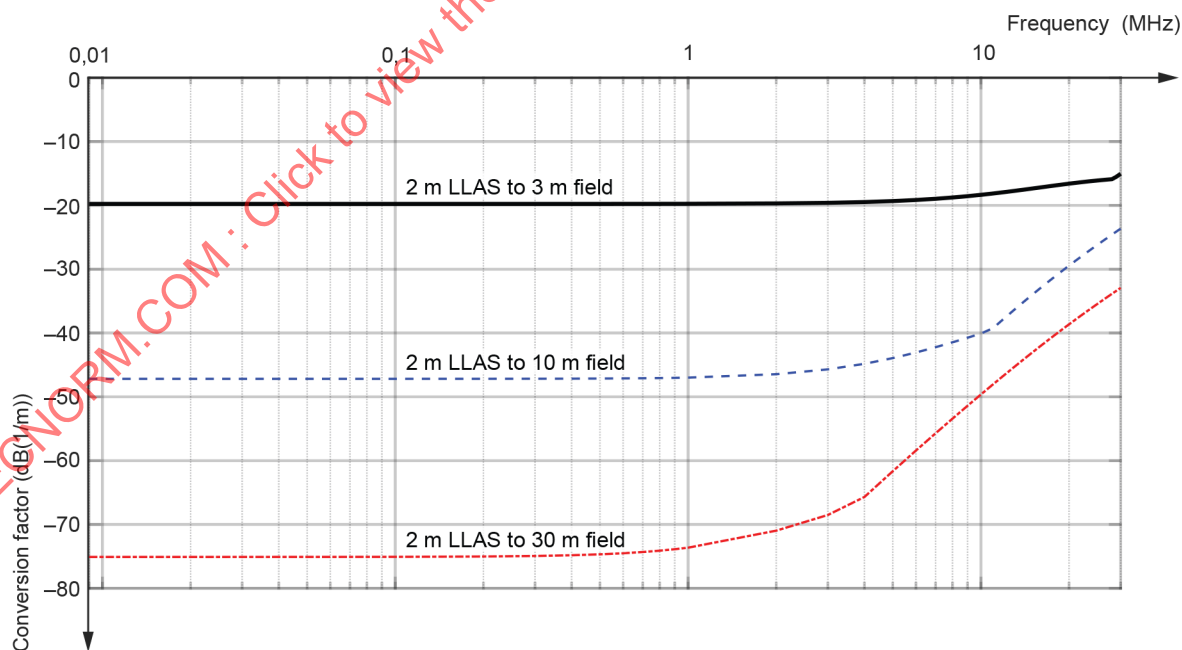
$$H = I - S_D + C_{dA} \quad (\text{C.3})$$

where  $H$  is expressed in dB(μA/m),  $I$  in dB(μA),  $S_D$  in dB, and  $C_{dA}$  in dB(m<sup>-1</sup>).

NOTE 2 For disturbance level calculations, CISPR uses the magnetic field strength  $H$  in dB(μA/m) instead of electric field strength  $E$  in dB(μV/m). In this context, the relation between  $H$  and  $E$  is given by Equation (C.4):

$$E = H + 51,5 \quad (\text{C.4})$$

where  $E$  is expressed in dB(μV/m) and  $H$  in dB(μA/m). The constant 51,5, in dB(Ω) in Equation (C.4), is explained in the NOTE in 4.3.2.



IEC

**Figure C.11 – Conversion factor  $C_{dA}$  [for conversion into dB(μA/m)] for three standard measurement distances  $d$**

**Table C.3 – Magnetic field strength conversion factor  $C_{dA}$  for three measurement distances (Figure C.11)**

| Frequency<br>MHz | 2 m LLAS to<br>3 m field | 2 m LLAS to<br>10 m field | 2 m LLAS to<br>30 m field | Frequency<br>(MHz) | 2 m LLAS to<br>3 m field | 2 m LLAS to<br>10 m field | 2 m LLAS to<br>30 m field |
|------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|
|                  | dB(1/m)                  | dB(1/m)                   | dB(1/m)                   |                    | dB(1/m)                  | dB(1/m)                   | dB(1/m)                   |
| 0,009            | -19,77                   | -47,18                    | -75,09                    | 7                  | -18,97                   | -42,23                    | -55,72                    |
| 0,01             | -19,77                   | -47,18                    | -75,09                    | 8                  | -18,76                   | -41,45                    | -53,41                    |
| 0,02             | -19,77                   | -47,18                    | -75,09                    | 9                  | -18,56                   | -40,74                    | -51,4                     |
| 0,03             | -19,77                   | -47,18                    | -75,09                    | 10                 | -18,35                   | -40,08                    | -49,63                    |
| 0,04             | -19,77                   | -47,18                    | -75,09                    | 11                 | -18,14                   | -39,24                    | -48,04                    |
| 0,05             | -19,77                   | -47,18                    | -75,08                    | 12                 | -17,93                   | -37,72                    | -46,61                    |
| 0,06             | -19,77                   | -47,18                    | -75,08                    | 13                 | -17,73                   | -36,36                    | -45,31                    |
| 0,07             | -19,77                   | -47,18                    | -75,08                    | 14                 | -17,54                   | -35,11                    | -44,12                    |
| 0,08             | -19,77                   | -47,18                    | -75,08                    | 15                 | -17,35                   | -33,97                    | -43,03                    |
| 0,09             | -19,77                   | -47,18                    | -75,08                    | 16                 | -17,18                   | -32,92                    | -42,02                    |
| 0,1              | -19,77                   | -47,18                    | -75,07                    | 17                 | -17,02                   | -31,95                    | -41,08                    |
| 0,2              | -19,77                   | -47,17                    | -75,02                    | 18                 | -16,87                   | -31,05                    | -40,21                    |
| 0,3              | -19,77                   | -47,16                    | -74,94                    | 19                 | -16,73                   | -30,22                    | -39,40                    |
| 0,4              | -19,77                   | -47,15                    | -74,82                    | 20                 | -16,60                   | -29,44                    | -38,63                    |
| 0,5              | -19,76                   | -47,13                    | -74,68                    | 21                 | -16,48                   | -28,71                    | -37,92                    |
| 0,6              | -19,76                   | -47,11                    | -74,51                    | 22                 | -16,37                   | -28,02                    | -37,25                    |
| 0,7              | -19,76                   | -47,09                    | -74,32                    | 23                 | -16,27                   | -27,37                    | -36,61                    |
| 0,8              | -19,76                   | -47,06                    | -74,11                    | 24                 | -16,18                   | -26,76                    | -36,01                    |
| 0,9              | -19,75                   | -47,02                    | -73,88                    | 25                 | -16,10                   | -26,18                    | -35,43                    |
| 1                | -19,75                   | -46,99                    | -73,64                    | 26                 | -16,03                   | -25,62                    | -34,89                    |
| 2                | -19,69                   | -46,46                    | -70,97                    | 27                 | -15,96                   | -25,10                    | -34,37                    |
| 3                | -19,60                   | -45,70                    | -68,52                    | 28                 | -15,90                   | -24,59                    | -33,87                    |
| 4                | -19,48                   | -44,83                    | -66,70                    | 29                 | -15,52                   | -24,11                    | -33,39                    |
| 5                | -19,33                   | -43,93                    | -61,65                    | 30                 | -15,04                   | -23,64                    | -32,93                    |
| 6                | -19,15                   | -43,06                    | -58,41                    | -                  | -                        | -                         | -                         |

## C.7 Examples

The following examples explain use of Equation (C.1), Equation (C.2), Equation (C.3), Figure C.8, Figure C.10, and Figure C.11.

- a) Given: measuring frequency  $f = 100$  kHz, LLA diameter  $D = 2$  m, current in LLA  $I = X$  dB( $\mu$ A).

Then using Equation (C.1) and Figure C.10, it follows that:

$$\text{at } d = 3 \text{ m: } H = [X/\text{dB}(\mu\text{A}) + C_{3A}/\text{dB}(\text{m}^{-1})] \text{ dB}(\mu\text{A}/\text{m}) = (X - 19,5) \text{ dB}(\mu\text{A}/\text{m})$$

$$\text{at } d = 3 \text{ m: } E = [X/\text{dB}(\mu\text{A}) + C_{3V}/\text{dB}(\Omega/\text{m})] \text{ dB}(\mu\text{V}/\text{m}) = [X + (51,5 - 19,5)] \text{ dB}(\mu\text{V}/\text{m})$$

- b) Given: measuring frequency  $f = 100$  kHz, LLA diameter  $D = 2$  m, current in LLA  $I = X$  dB( $\mu$ A).

Then, using Equation (C.2) and Figure C.11 (Table C.3), it follows that:

$$\text{at } d = 3 \text{ m: } H [\text{dB}(\mu\text{A}/\text{m})] = X [\text{dB}(\mu\text{A})] + C_{3A} [\text{dB}(\text{m}^{-1})] = (X - 19,77) \text{ dB}(\mu\text{A}/\text{m})$$

- c) Given: measuring frequency  $f = 100$  kHz, LLA diameter  $D = 4$  m, current in LLA  $I = X$  dB( $\mu$ A).

Then, using Equation (C.1) and Figure C.10 (Table C.2), it follows that the same EUT would induce a current:

$$I [\text{dB}(\mu\text{A})] = X [\text{dB}(\mu\text{A})] - S_4[\text{dB}] = X - (-12,80) = (X + 12,80) \text{ dB}(\mu\text{A})$$

in an LLA with the standard diameter  $D = 2$  m.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of CISPR 16-1-4:2019+AMD1:2020 CSV

## Annex D (normative)

### Construction details for open area test sites in the frequency range of 30 MHz to 1 000 MHz (see Clause 6)

#### D.1 General

Subclause 6.2 provides major construction considerations for open-area test sites. Additional details that are helpful in assuring a well-constructed site and an all-weather enclosure are described in this annex. The best way to assure the suitability of these construction practices is to perform site validation measurements, as described in 6.4.

#### D.2 Ground plane construction

##### D.2.1 Material

Metal is the recommended ground plane material for field strength test sites. However, for practical reasons, metallic ground planes cannot be specified for measurement of all equipment. Some examples of materials used for metallic ground planes include solid metal sheets, metal foil, perforated metal, expanded metal, wire cloth, wire screen, and metal grating. The ground plane should have no voids or gaps with linear dimensions that are an appreciable fraction of a wavelength at the highest measurement frequency. The recommended maximum opening size for screen, perforated metal, grating, or expanded metal type ground planes is 1/10-wavelength at the highest frequency of measurement (about 3 cm at 1 000 MHz). Material comprised of individual sheets, rolls, or pieces should be soldered or welded at the seams, preferably continuously but in no case with gaps longer than 1/10-wavelength. Thick dielectric coatings, such as sand, asphalt, or wood on top of metal ground planes can result in unacceptable site attenuation characteristics.

##### D.2.2 Roughness

The Rayleigh roughness criterion provides a useful estimate of maximum allowable RMS ground plane roughness (See Figure D.1). For most practical test sites, especially for 3 m separation distance applications, up to 4,5 cm of roughness is insignificant for measurement purposes. Even more roughness is allowed for 10 m and 30 m sites. The site validation procedure in 6.4 shall be performed to determine whether the roughness is acceptable. In Table D.1, the values of  $b$  are calculated according to the formula:

$$b = \frac{\lambda}{8 \sin \beta}$$

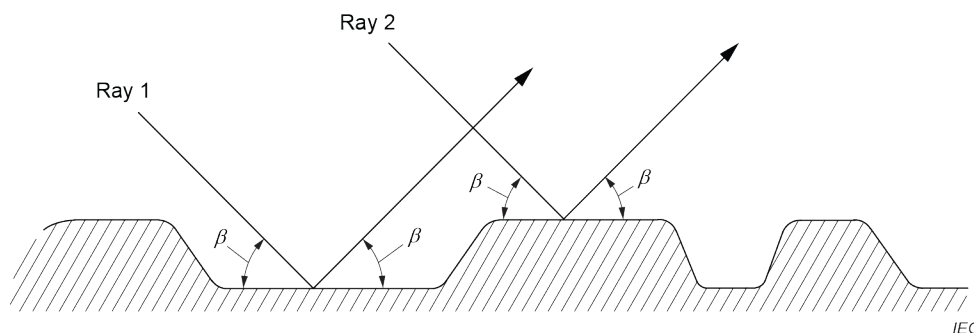


Figure D.1 – The Rayleigh criterion for roughness in the ground plane

Table D.1 – Maximum roughness for 3 m, 10 m and 30 m measurement distances

| Measurement distance $d$<br>m | Source height, $h_1$<br>m | Maximum receive antenna height, $h_2$<br>m | Maximum rms roughness<br>$b$ |                    |
|-------------------------------|---------------------------|--------------------------------------------|------------------------------|--------------------|
|                               |                           |                                            | In wavelengths               | At 1 000 MHz<br>cm |
| 3                             | 1                         | 4                                          | 0,15                         | 4,5                |
| 10                            | 1                         | 4                                          | 0,28                         | 8,4                |
| 30                            | 2                         | 6                                          | 0,49                         | 14,7               |

### D.3 Services to EUT

Electrical service or mains wiring to the EUT should be run under the ground plane to the maximum extent possible, and preferably at right angles to the measurement axis. All wires, cables, and plumbing to the turntable or mounting of the EUT should also be run under the ground plane. When underground routing is not possible, service to the EUT should be placed on top of, but flush with, and bonded to the ground plane.

### D.4 Weather-protection enclosure construction

#### D.4.1 Materials and fasteners

Up to 1 000 MHz, thin sections of fibreglass, and most other plastics, specially treated woods, and fabric material will not cause appreciable attenuation of EUT disturbance levels. Moisture absorption in some materials (e.g. wood and nylon), however, can cause transmission losses that are particularly critical if EUT disturbance levels are measured through such material. Care should be taken to ensure that air-deposited conductive particles and standing water and ice do not build up on the structure, or within the material forming the structure. Inspections should be made periodically for foreign objects that might lodge on the structure, causing measurement errors.

Use of metal above the ground plane should be kept to a minimum. Use of plastic or fabric fasteners is highly recommended. Any anchors, pilings, or similar foundations should be far enough removed from the test area so as not to affect the measurement.

#### D.4.2 Internal arrangements

All structural members should be non-reflective. Any blowers or ducts for heating, cooling, or air support should be outside the test area or outside the structure, unless they are made of non-conductive material or run below a metallic ground plane or well below a non-metallic ground plane. Temperature and humidity control may be required for the operation of the equipment. Any insulation or windows should be free of metal backing or framing. Any safety rails or stairs should also be non-conductive if located above the ground plane.

#### D.4.3 Size

The size of a weather-protection enclosure will depend upon the size of the EUT, and whether or not the entire antenna range is to be enclosed or only the area over the EUT, the area over the measuring set, or the area enclosing the receive antenna positioner and the highest extent of the receive antenna when making vertical polarization measurements.

#### D.4.4 Uniformity with time and weather

It is recommended that periodic site validation measurements be made in order to detect anomalies caused by degradation of the weather-protection enclosure due to weather conditions (e.g. moisture absorption) or contamination of enclosure materials. This measurement also checks the calibration of RF cabling and test instrumentation. A six-month interval is generally adequate, unless physical signs indicate material degradation sooner, i.e. material changes colour due to air-borne contaminants.

#### D.5 Turntable and set-up table

A turntable and a set-up table for supporting the EUT are recommended, for convenience in measuring electromagnetic disturbance levels from all sides of the EUT. The turntable contains the rotation assembly, and the set-up table is used for positioning the EUT on the test site. The following three set-up table and turntable configurations are considered in this subclause.

- a) For turntables with rotation assembly below the ground, the rotating surface (top) shall be flush with and electrically-connected to the ground plane. The rotating top carries the actual set-up table.
  - For table-top equipment, the height of the set-up table shall be  $0,8 \text{ m} \pm 0,01 \text{ m}$ , and the set-up table is placed such that its centre in the horizontal plane is at the centre of the turntable which is the unit performing the rotation. The set-up table shall be removed for the site validation measurement.
  - For floor-standing equipment, the EUT is to be insulated from the conductive surface of the turntable (which is flush with the ground plane). The height of the insulating support shall be up to 0,15 m, or as required by the product committee. The insulating support is not required when non-metallic roller casters are provided by the product. The insulating support shall be removed for the site validation measurement.
- b) For turntables with the rotation assembly integrated into the set-up table and placed on the turntable (which is flush with the ground plane) or on the ground plane without turntable, the set-up table shall have either a height of  $0,8 \text{ m} \pm 0,01 \text{ m}$  for table-top equipment, or a height not exceeding 0,15 m for floor-standing equipment. The set-up table shall be removed for the site validation measurement.
- c) In a FAR, the height of the EUT set-up table is not defined, and depends on the performance of the absorbing material and test volume of the FAR. The set-up table shall be removed for the site validation measurements.

An EUT/system that includes a support set-up table as part of the configuration under test should use the set-up table supplied with the system, not the generic set-up table at the test site.

## **D.6 Receive antenna mast installation**

The receive antenna should be mounted on a non-conducting support that will allow the antenna to be raised between 1 m and 4 m for measurement distances of 10 m and less, and between 1 m and 4 m, or between 2 m and 6 m, for distances greater than 10 m. The cable shall be connected to the antenna balun such that for horizontally polarized antennas, the cable is orthogonal to the axis of the antenna elements at all antenna heights, to maintain balance relative to ground.

The cabling from the receive antenna balun should drop vertically to the ground plane approximately 1 m or more to the rear of the receive antenna. From that point, the cable should be kept on or under the ground plane in a manner so as not to disturb the measurement. The cable between the antenna and the measuring receiver should be as short as practical to ensure acceptable received signal levels at 1 000 MHz.

For vertically polarized dipole-type antennas, the cabling to the measuring receiver should be maintained horizontal, i.e. parallel to the ground plane, for a distance of approximately 1 m or more to the rear of the receive antenna (away from the EUT) before dropping to the ground plane. An antenna boom approximately 1 m in length will suffice. The remaining cable routing to the measuring receiver is the same as for the horizontally-polarized case.

For both cases, the antenna factor should not be affected by the presence of the antenna positioners and disposition of the coaxial cabling attached to the antenna.

**Annex E**  
(xxx)

**(Void)**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of CISPR 16-1-4:2019+AMD1:2020 CSV



## Annex F (informative)

### Basis for $\pm 4$ dB site acceptability criterion (see Clause 6)

#### F.1 General

This annex describes the basis for the acceptability criterion of  $\pm 4$  dB for the normalized site attenuation (NSA) and the reference site method (RSM) measurements required in 6.4.

#### F.2 Error analysis

The error analysis in Table F.1 applies to the NSA measurement methods given in 6.4. The total estimated errors are the basis for the  $\pm 4$  dB site acceptability criterion, consisting of approximately 3 dB measurement uncertainty, and an additional allowable 1 dB for site imperfections.

The error budget in Table F.1 does not include uncertainties in the amplitude stability of the signal generator, tracking generator, or any amplifiers that may be used, nor does it include the potential errors in measurement technique. The output level of most signal and tracking generators will drift with time and temperature, and the gain of many amplifiers will drift as temperature changes. It is imperative that these sources of error be held to an insignificant amount or corrected in making the measurements, otherwise the site may fail to meet the acceptability criterion due to instrumentation problems alone.

**Table F.1 – Error budget**

| Error component                                                                                                                     | Measurement method        |                        |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|------------------------|
|                                                                                                                                     | Discrete frequency method | Swept frequency method |
|                                                                                                                                     | dB                        | dB                     |
| Antenna factor (Tx) <sup>a</sup>                                                                                                    | $\pm 1$                   | $\pm 1$                |
| Antenna factor (Rx) <sup>a</sup>                                                                                                    | $\pm 1$                   | $\pm 1$                |
| Voltmeter                                                                                                                           | 0                         | $\pm 1,6^b$            |
| Attenuator                                                                                                                          | $\pm 1$                   | 0                      |
| Site imperfections                                                                                                                  | $\pm 1$                   | $\pm 1$                |
| Totals                                                                                                                              | $\pm 4$                   | $\pm 4,6$              |
| <sup>a</sup> At frequencies above 800 MHz, $F_a$ errors may approach $\pm 1,5$ dB.<br><sup>b</sup> From the operating instructions. |                           |                        |

From the operating instructions for some automatic spectrum analyzers, for example, if everything is done to remove or compensate every potential error as much as possible, the remaining amplitude errors are:

- 1)  $\pm 0,2$  dB calibrator uncertainty,
- 2)  $\pm 1,0$  dB frequency response flatness,
- 3)  $\pm 1,0$  dB input attenuator switching,
- 4)  $\pm 0,4$  dB RF and IF gain uncertainty.

This gives a total potential error of  $\pm 2,6$  dB, which does not include  $\pm 0,05$  dB/K temperature drift. In practice, when performing substitution type measurements, the errors associated with the frequency response flatness and input attenuator switching are usually 1 dB less, so that the total error band for the spectrum analyzer as a two-terminal voltmeter is  $\pm 1,6$  dB or less, which is used in Table F.1.

Many attenuators have far poorer absolute accuracy, but some are better. The total error budget could thus be increased or decreased in the discrete measurements. If an external attenuator is used with an automatic spectrum analyzer in swept frequency measurements, this error budget is also increased.

These error budgets do not contain errors from time- and temperature-induced drifts of the gains, output levels, or amplitude responses of the test equipment. Such errors can exist, and steps shall be taken to avoid them by making the measurements as rapidly as possible.

In practice, the errors accounted for above in the preceding discussion seldom are all in the same direction. Meeting the  $\pm 4$  dB criterion for a well-constructed and well-located site may actually allow more than  $\pm 1$  dB site anomaly variation from ideal.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of CISPR 16-1-4:2019+AMD1:2020 CSV

## Annex G (informative)

### Examples of uncertainty budgets for site validation of a COMTS using RSM with a calibrated antenna pair (see 6.6)

#### G.1 Quantities to be considered for antenna pair reference site attenuation calibration using the averaging technique

The measurand  $A_{\text{APR}}$  is calculated using Equation (G.1), and an example uncertainty budget is shown in Table G.1.

$$A_{\text{APR}} = V_{\text{DIRECT}} - V_{\text{SITE}} + \delta V_{\text{M1}} + \delta V_{\text{M2}} + \delta V_{\text{M3}} + \delta V_{\text{SDAPR}} + \delta V_{\text{NL}} + \delta V_{\text{NF}} + \delta V_{\text{SRTX}} + \delta V_{\text{SRRX}} + \delta V_{\text{AM}} \quad (\text{G.1})$$

**Table G.1 – Antenna pair reference site attenuation calibration  
using the large-OATS averaging technique**

| Input quantity $X_i$                                                  | Uncertainty of $x_i$ |                                   | $u(x_i)$ | $c_i$ | $c_i u(x_i)$ |
|-----------------------------------------------------------------------|----------------------|-----------------------------------|----------|-------|--------------|
|                                                                       | dB                   | Probability distribution function | dB       |       | dB           |
| Receiver reading $V_{\text{DIRECT}}$                                  | $\pm 0,5$            | Rectangular                       | 0,29     | 1     | 0,29         |
| Receiver reading $V_{\text{SITE}}$                                    | $\pm 0,5$            | Rectangular                       | 0,29     | 1     | 0,29         |
| Mismatch:                                                             |                      |                                   |          |       |              |
| generator-receiver $\delta V_{\text{M1}}$                             | $\pm 0,1$            | U-shaped                          | 0,07     | 1     | 0,07         |
| generator-antenna $\delta V_{\text{M2}}$                              | $\pm 0,2$            | U-shaped                          | 0,14     | 1     | 0,14         |
| antenna-receiver $\delta V_{\text{M3}}$                               | $\pm 0,2$            | U-shaped                          | 0,14     | 1     | 0,14         |
| Standard deviation of mean $A_{\text{APR}}$ $\delta V_{\text{SDAPR}}$ | $\pm 0,6$            | Normal ( $k = 1$ )                | 0,6      | 1     | 0,6          |
| Receiver corrections:                                                 |                      |                                   |          |       |              |
| Nonlinearity $\delta V_{\text{NL}}$                                   | $\pm 0,1$            | Normal ( $k = 2$ )                | 0,05     | 1     | 0,05         |
| Noise floor proximity $\delta V_{\text{NF}}$                          | $\pm 0,0$            | Normal ( $k = 2$ )                | 0        | 1     | 0            |
| Secondary radiation of antenna cable:                                 |                      |                                   |          |       |              |
| Transmit antenna $\delta V_{\text{SRTX}}$                             | $\pm 0,3$            | Rectangular                       | 0,17     | 1     | 0,17         |
| Receive antenna $\delta V_{\text{SRRX}}$                              | $\pm 0,3$            | Rectangular                       | 0,17     | 1     | 0,17         |
| Antenna Mast $\delta V_{\text{AM}}$                                   | $\pm 0,15$           | Rectangular                       | 0,09     | 1     | 0,09         |

The expanded uncertainty is:  $U = 2 u_c(A_{\text{APR}}) = 1,37$  dB.

## G.2 Quantities to be considered for antenna pair reference site attenuation calibration using a REFTS

The measurand  $A_{\text{APR}}$  is calculated using Equation (G.2), and an example uncertainty budget is shown in Table G.2.

$$A_{\text{APR}} = V_{\text{DIRECT}} - V_{\text{SITE}} + \delta V_{\text{M1}} + \delta V_{\text{M2}} + \delta V_{\text{M3}} + \delta V_{\text{REFTS}} + \delta V_{\text{NL}} + \delta V_{\text{NF}} + \delta V_{\text{SRTX}} + \delta V_{\text{SRRX}} + \delta V_{\text{AM}} \quad (\text{G.2})$$

**Table G.2 – Antenna pair reference site attenuation calibration using REFTS**

| Input quantity $X_i$                         | Uncertainty of $x_i$ |                                   | $u(x_i)$ | $c_i$ | $c_i u(x_i)$ |
|----------------------------------------------|----------------------|-----------------------------------|----------|-------|--------------|
|                                              | dB                   | Probability distribution function | dB       |       | dB           |
| Receiver reading $V_{\text{DIRECT}}$         | $\pm 0,5$            | Rectangular                       | 0,29     | 1     | 0,29         |
| Receiver reading $V_{\text{SITE}}$           | $\pm 0,5$            | Rectangular                       | 0,29     | 1     | 0,29         |
| Mismatch:                                    |                      |                                   |          |       |              |
| generator-receiver $\delta V_{\text{M1}}$    | $\pm 0,1$            | U-shaped                          | 0,07     | 1     | 0,07         |
| generator-antenna $\delta V_{\text{M2}}$     | $\pm 0,2$            | U-shaped                          | 0,14     | 1     | 0,14         |
| antenna-receiver $\delta V_{\text{M2}}$      | $\pm 0,2$            | U-shaped                          | 0,14     | 1     | 0,14         |
| REFTS influence $\delta V_{\text{REFTS}}$    | $\pm 1,0$            | Rectangular                       | 0,58     | 1     | 0,58         |
| Receiver corrections:                        |                      |                                   |          |       |              |
| Nonlinearity $\delta V_{\text{NL}}$          | $\pm 0,1$            | Normal ( $k = 2$ )                | 0,05     | 1     | 0,05         |
| Noise floor proximity $\delta V_{\text{NF}}$ | $\pm 0,0$            | Normal ( $k = 2$ )                | 0        | 1     | 0            |
| Secondary radiation of antenna cable:        |                      |                                   |          |       |              |
| Transmit antenna $\delta V_{\text{SRTX}}$    | $\pm 0,3$            | Rectangular                       | 0,17     | 1     | 0,17         |
| Receive antenna $\delta V_{\text{SRRX}}$     | $\pm 0,3$            | Rectangular                       | 0,17     | 1     | 0,17         |
| Antenna Mast $\delta V_{\text{AM}}$          | $\pm 0,15$           | Rectangular                       | 0,09     | 1     | 0,09         |

The expanded uncertainty is:  $U = 2 u_c(A_{\text{APR}}) = 1,34$  dB.

### G.3 Quantities to be considered for COMTS validation using an antenna pair reference site attenuation

The measurand  $\Delta A_s$  is calculated using Equation (G.3), and an example uncertainty budget is shown in Table G.3.

$$\Delta A_s = V_{\text{DIRECT}} - V_{\text{SITE}} - A_{\text{APR}} + \delta V_{\text{M1}} + \delta V_{\text{M2}} + \delta V_{\text{M3}} + \delta V_{\text{NL}} + \delta V_{\text{NF}} + \delta V_{\text{SRTX}} + \delta V_{\text{SRRX}} \quad (\text{G.3})$$

**Table G.3 – COMTS validation using an antenna pair reference site attenuation**

| Input quantity $X_i$                         | Uncertainty of $x_i$ |                                   | $u(x_i)$ | $c_i$ | $c_i u(x_i)$ |
|----------------------------------------------|----------------------|-----------------------------------|----------|-------|--------------|
|                                              | dB                   | Probability distribution function | dB       |       | dB           |
| Receiver reading $V_{\text{DIRECT}}$         | $\pm 0,5$            | Rectangular                       | 0,29     | 1     | 0,29         |
| Receiver reading $V_{\text{SITE}}$           | $\pm 0,5$            | Rectangular                       | 0,29     | 1     | 0,29         |
| Antenna pair reference SA $A_{\text{APR}}$   | $\pm 1,4$            | Normal ( $k = 2$ )                | 0,7      | 1     | 0,7          |
| Mismatch:                                    |                      |                                   |          |       |              |
| generator-receiver $\delta V_{\text{M1}}$    | $\pm 0,1$            | U-shaped                          | 0,07     | 1     | 0,07         |
| generator-antenna $\delta V_{\text{M2}}$     | $\pm 0,2$            | U-shaped                          | 0,14     | 1     | 0,14         |
| antenna-receiver $\delta V_{\text{M2}}$      | $\pm 0,2$            | U-shaped                          | 0,14     | 1     | 0,14         |
| Receiver corrections:                        |                      |                                   |          |       |              |
| Nonlinearity $\delta V_{\text{NL}}$          | $\pm 0,1$            | Normal ( $k = 2$ )                | 0,05     | 1     | 0,05         |
| Noise floor proximity $\delta V_{\text{NF}}$ | $\pm 0,0$            | Normal ( $k = 2$ )                | 0        | 1     | 0            |
| Secondary radiation of antenna cable:        |                      |                                   |          |       |              |
| Transmit antenna $\delta V_{\text{SRTX}}$    | $\pm 0,3$            | Rectangular                       | 0,17     | 1     | 0,17         |
| Receive antenna $\delta V_{\text{SRRX}}$     | $\pm 0,3$            | Rectangular                       | 0,17     | 1     | 0,17         |

The expanded uncertainty is:  $U = 2 u_c(\Delta A_s) = 1,54$  dB.

## Annex H (informative)

### Definition of uncertainty in cross-polar response measurement

#### H.1 General

Subclause 4.5.5 of this document describes the method of cross-polar response (XPR) measurement for antennas with LPDA type design. This annex defines and discusses the sources of uncertainty involved in the measurement and provides example uncertainty estimates.

The uncertainty estimates in this annex are based on an LPDA (or hybrid) antenna that is placed in a FAR, with elements oriented along the vertical axis (i.e. in VP), for frequencies above 100 MHz. It is anticipated that a FAR would be most suitable for this measurement; however, the uncertainty analysis may be adapted for other facilities such as OATS or SAC. The uncertainty estimate applies when using either a dipole antenna (below 1 GHz), or linearly-polarized horn antenna (above 1 GHz) as the receive antenna (Rx antenna, denoted by 'R'). For best results, the frequency should be swept from 30 % to 150 % of the dipole's tuned frequency. The analysis uses linear ratio terms because the final uncertainty will always be asymmetric for low cross-polar signals.

The AUT (transmit antenna, denoted by 'T') generates a primary (vertically polarized) field ( $E_x$ ), and a secondary cross-polar (horizontally polarized) field ( $E_y$ ). Here  $E_{ISO}$  is the field strength, which would be generated by a perfect linearly-polarized source with unity gain of an isotropic radiator, in accordance with Equation (H.1) and Equation (H.2).

$$E_x = \sqrt{G_T} \times \sqrt{\frac{\eta_0 P_T}{4\pi d^2}} = \sqrt{G_T} \times E_{ISO} \quad (H.1)$$

$$E_y = \frac{\sqrt{G_T}}{A_{xpT}} \times E_{ISO} \quad (H.2)$$

where

$G_T$  is the transmit antenna (AUT) gain;

$\eta_0$  is the impedance of free space;

$P_T$  is the transmit power;

$d$  is the distance between the antennas.

NOTE 1 The XPR measurement in 4.5.5 arbitrarily describes the AUT as Rx antenna in VP. For passive antennas, the use of the AUT as Tx antenna does not change the principles of uncertainty analysis. The terms co-polar and cross-polar in this annex consequently refer to VP and HP respectively. The AUT could also be used in HP, which then would mean that co-polar and cross-polar would refer to HP and VP. Here VP relates to the chamber (e.g. FAR) x-axis and HP relates to the chamber y-axis.

Ideally  $E_x$  and  $E_y$  are only determined by the properties of the AUT. However, there are sources of uncertainty caused by imperfections of the receive antenna and the test site (e.g. FAR). The XPR ( $A_{xp}$ ) of each antenna is defined by the associated field-strength ratio (see Equation (H.3) for the AUT, transmit antenna):

$$A_{xpT} = \frac{E_x}{E_y} \quad (H.3)$$

$$\Phi_{aCx} = A_{xpR} \times \Phi_{aCo} \quad (H.4)$$

where  $\Phi_{aCo}$  and  $\Phi_{aCx}$  of Equation (H.4) are linear AFs ( $F_{aCo} = 20\lg\Phi_{aCo}$  and  $F_{aCx} = 20\lg\Phi_{aCx}$  are AFs in dB) of the non-ideal receive antenna ( $A_{xpR}$  relates to the calibrated receive AF and is also a linear ratio).

NOTE 2 Assuming that only one field strength component  $E_x$  exists, then the co-polarized receive antenna output voltage consists of two components  $V_{Co} = E_x / \Phi_{aCo}$  and  $V_{Cx} = E_x / \Phi_{aCx}$ .

An error matrix for the anechoic chamber is defined to show how the true electric field strengths relate to the ideal AUT field strength. The matrix terms are described as errors, which in principle are deterministic values related to standing waves and cross-polar scattering in the chamber at each frequency. In this analysis they are processed as broadband statistical uncertainty contributions, because measurements of these matrix terms have uncertainties, and they are both frequency-dependent and location-dependent within the chamber.

$$\begin{bmatrix} E_x \\ E_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 + \delta_{xx} & \delta_{xy} \\ \delta_{yx} & 1 + \delta_{yy} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1/A_{xpT} \end{bmatrix} \times \sqrt{G_T} \times E_{ISO} \quad (H.5)$$

The chamber error terms describe reflections, which add uncertainty either in the same polarization as the original AUT field strengths (i.e.  $\delta_{xx}$  and  $\delta_{yy}$ ), or in the other polarization (i.e.  $\delta_{xy}$  and  $\delta_{yx}$ ). This analysis considers field components such that even a pure linearly-polarized electric field source will generate a small component along the cross-polar axis.

The chamber error terms are:

- $\delta_{xx}$  for VP wall reflections resulting from the true co-polar field strength, contributing to  $E_x$ ;
- $\delta_{xy}$  for VP wall reflections resulting from the true cross-polar field strength, contributing to  $E_x$ ;
- $\delta_{yy}$  for HP wall reflections resulting from the true cross-polar field strength, contributing to  $E_y$ ;
- $\delta_{yx}$  for HP wall reflections resulting from the true co-polar field strength, contributing to  $E_y$ .

Equation (H.6) and Equation (H.7) define the true field strength produced at the position of the Rx antenna. This field strength is measured in two polarizations by rotating the Rx antenna. From the electric field-strength expression of Equation (H.5) the AUT field strength is derived:

$$E_x \approx \sqrt{G_T} \times E_{ISO} (1 + \delta_{xx}) \quad (H.6)$$

$$E_y = \sqrt{G_T} \times E_{ISO} \left( \delta_{yx} + \frac{1 + \delta_{yy}}{A_{xpT}} \right) \quad (H.7)$$

In Equation (H.6) the second-order term ( $\delta_{xy} \times \sqrt{G_T} \times E_{ISO} / A_{xpT}$ ) is dropped because it is negligibly small. The voltage  $V_{Co}$  is the receive antenna output voltage when it is co-polarized. Similarly, the voltage  $V_{Cx}$  is the receive antenna output voltage, when it is rotated from co-polar to cross-polar (VP to HP). It is clear from Equation (H.6) and Equation (H.7) that the measured XPR will depend on the magnitude of the cross-polar terms, per Equation (H.8).

$$\begin{bmatrix} V_{Co} \\ V_{Cx} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/\phi_{aCo} & 1/\phi_{aCx} \\ 1/\phi_{aCx} & 1/\phi_{aCo} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_x \\ E_y \end{bmatrix} = \frac{1}{\phi_{aCo}} \begin{bmatrix} 1 & 1/A_{xpR} \\ 1/A_{xpR} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_x \\ E_y \end{bmatrix} \quad (H.8)$$

The received voltage is derived assuming the chamber error terms are uncorrelated, and second order terms are removed if the typical value of the divisor is large [i.e.  $A_{xpR}$  will be  $> 20$  (dimensionless)], per Equation (H.9) and Equation (H.10):

$$V_{Co} \approx \frac{E_x}{\phi_{aCo}} = \frac{\sqrt{G_T} \times E_{ISO}}{\phi_{aCo}} (1 + \delta_{xx}) \quad (H.9)$$

$$V_{Cx} = \frac{\sqrt{G_T} \times E_{ISO}}{A_{xpT} \times \phi_{aCo}} \times \left( 1 \pm \delta_{yy} \pm [A_{xpT} \times \delta_{yx}] + \left[ \frac{A_{xpT}}{A_{xpR}} \right] \times (1 \pm \delta_{xx}) \right) \quad (H.10)$$

The chamber delta terms ( $\delta_{xx}$  etc.) will appear as frequency dependent oscillations about 0 dB. Over a broad range they may be considered as random contributions with symmetric PDF for this analysis. The term  $A_{xpT}/A_{xpR}$ , relates to the increase in measured  $V_{Cx}$  due to the polarization mismatch between the transmit antenna and the receive antenna. This term has an asymmetric PDF, however for the purposes of limit testing the relevant side of the PDF is finite and the worst case increase in  $V_{Cx}$  is used, which is indicated by the sign. This reduces the measured ratio  $A_{xpT}$ , and for simplicity this is represented as a systematic term in the uncertainty budget.

The XPR including its uncertainty is then calculated using the voltages from Equation (H.9) and Equation (H.10), per Equation (H.11) and Equation (H.12):

$$A_{xpT \text{ meas}} = \frac{V_{Co}}{V_{Cx}} \quad (H.11)$$

$$a_{xpT \text{ meas}} = 20 \lg \left( \frac{V_{Co}}{V_{Cx}} \right) \text{ in dB} \quad (H.12)$$

Rationale H5) in H.3 contains remarks about the terms in Equation (H.9) and Equation (H.10), and the chamber error matrix.

## H.2 Example uncertainty estimate

The example shown in Table H.1 pertains to measuring a true XPR of 22 dB (12,6 linear ratio), with a dipole antenna that would have an XPR similar to a double-ridged horn (DRH) antenna. Because measurement of XPR depends on chamber performance, it is crucial to average several measurements in different locations, especially in a chamber with poor performance. Three measurements are assumed in this example, and hence for a Type A contribution the uncertainty of the mean value is obtained by the standard deviation divided by  $\sqrt{3}$ .

The chamber reflection terms are associated with the error terms in Equation (H.9) and Equation (H.10). The assumed values for chamber and receive antenna uncertainty are given in Table H.1, with an extra factor of 0,5 given to the cross-polar term (0,5 is an estimate subject to reduction upon further investigation). The uncertainty arising from the chamber errors may be estimated from chamber evaluation measurements.



**Table H.1 – Example uncertainty estimate for XPR measurement  
in a FAR and assumed  $a_{\text{xprT}} = 22$  dB,  $a_{\text{xpr}} = 34$  dB**

| Input quantity <sup>a</sup><br>$X_i$                            | Uncertainty in $X_i$ |         |                      | $u(x_i)$ | Sensitivity<br>$c_i$      | $c_i u(x_i)$          |
|-----------------------------------------------------------------|----------------------|---------|----------------------|----------|---------------------------|-----------------------|
|                                                                 | dB                   | linear  | PDF                  | linear   | Average of 3 measurements | for $A_{\text{xprT}}$ |
| VNA reading, co-polar <sup>H1)</sup>                            | 0,08                 | 0,009 3 | normal, $k = 1$      | 0,009 3  | 0,577                     | 0,005 3               |
| VNA reading, non-linearity cross-polar <sup>H1)</sup>           | 0,08                 | 0,009 3 | normal, $k = 1$      | 0,009 3  | 0,577                     | 0,005 3               |
| Antenna misalignment ( $2^\circ$ ) <sup>H2)</sup>               |                      | 0,035 0 | rectangular          | 0,020 2  | 0,577                     | 0,011 7               |
| Distance uncertainty (1 cm) <sup>H3)</sup>                      |                      | 0,005 0 | rectangular          | 0,002 9  | 0,577                     | 0,001 7               |
| AUT depolarization due to environment <sup>H4)</sup>            | 0,1                  | 0,011 6 | rectangular          | 0,006 7  | 1                         | 0,006 7               |
| Rx ant. depolarization due to environment <sup>H4)</sup>        | 0,1                  | 0,011 6 | rectangular          | 0,006 7  | 1                         | 0,006 7               |
| Chamber reflection, $\delta_{\text{xx}} = 0,056$ <sup>H5)</sup> |                      | 0,056 0 | triangular           | 0,022 9  | 0,577                     | 0,013 2               |
| $A_{\text{xprT}}/A_{\text{xpr}}$ <sup>H5)</sup>                 |                      | 0,251 5 | rectangular          | 0,145 2  | 1                         | 0,145 2               |
| $\delta_{\text{yy}}$                                            |                      | 0,056 0 | triangular           | 0,022 9  | 0,577                     | 0,013 2               |
| $(A_{\text{xprT}}/A_{\text{xpr}}) \times \delta_{\text{xx}}$    |                      | 0,014 1 | triangular           | 0,005 7  | 0,577                     | 0,003 3               |
| $A_{\text{xprT}} \times \delta_{\text{yx}}$ (with factor 0,5)   |                      | 0,352 8 | triangular           | 0,144 0  | 0,577                     | 0,083 2               |
| Combined standard uncertainty $u_c$                             |                      |         |                      |          | $k = 1$                   | 0,169 2               |
| Expanded uncertainty $ku_c$ <sup>H6)</sup>                      |                      |         |                      |          | $k = 1,64$                | 0,277 6               |
| Expanded uncertainty in dB                                      |                      |         | $20 \lg(1/[1+ku_c])$ |          | $k = 1,64$                | -2,13                 |

<sup>a</sup> Footnote references, e.g. <sup>H1)</sup>, refer to rationale details listed in H.3.

### H.3 Rationale for the estimates of input quantities in Table H.1 and Table H.3

- H1) The reading uncertainty of a VNA has been assumed to be 0,08 dB, based on Type A repeatability testing. This value also contains the uncertainty due to the VNA nonlinearity, which affects the difference between the two readings.
- H2) If  $\theta$  is the angle of misalignment, then  $\delta E \propto \sin \theta \approx \theta \times (\pi/180)$ , where  $\theta$  is measured in degrees.
- H3)  $\delta E \propto \delta d/d$  evaluated for  $\delta d = 1$  cm uncertainty over  $d = 200$  cm range, when the AUT is rotated.
- H4) The closeness of the chamber walls can influence the polarization purity of the AUT and Rx antenna. 'Depolarization' means (partial) change of polarization, e.g. by reflection effects or similar.
- H5) The delta terms in the chamber error matrix can be equal in worst-case conditions, which implies the distribution of electric field strength uncertainty is equal in both polarizations, even if the source is linearly polarized. This is unlikely to be true for a higher performance chamber with good absorbers, so the  $\delta_{\text{yx}}$  and  $\delta_{\text{xy}}$  terms can be reduced (a value of half is assumed). In the uncertainty estimate, a PDF factor of  $\sqrt{6}$  (triangular) is assumed for chamber uncertainties based on an initial estimate that chamber reflections are more likely to be around zero (see the text following Equation (H.9) and Equation (H.10) in H.1).

The error terms in Equation (H.9) and Equation (H.10) show how the real electric field strengths couple into the measured XPR. It is worth understanding what the dominant terms in Table H.1 and Table H.3 relate to. The term  $A_{\text{xprT}}/A_{\text{xpr}}$  relates to the fundamental limit of the measurement, i.e. the XPR of the receive antenna, as a ratio of the XPR level being measured, and this is not improved by averaging several measurements because it is a systematic uncertainty. The term  $A_{\text{xprT}} \times \delta_{\text{yx}}$  relates to the cross-polar error of the chamber, which will make a co-polar field appear as cross-polar.

In a good chamber, it is assumed that this is half the co-polar error, and it is likely that this will be even less for directive antennas.

So far, all chamber performance data in this uncertainty estimate are based on assumptions. No specific test method or site validation method has yet been developed. The direct errors  $\delta_{xx}$  and  $\delta_{yy}$  may be derived from NSA or  $S_{VSWR}$  measurement results. The cross-polar terms  $\delta_{yx}$  and  $\delta_{xy}$  may then be estimated. After further experience is gained, this annex might be revised. Note the importance of using at least three averages taken at different locations in the FAR, which reduces the Type A terms and allows the chamber reflections to be considered more as random components, applied to each data point, rather than systematic with precise locations. A single measurement is applied at an OATS. Generally, an OATS is considered better than a FAR with good absorber material, and a large FAR is considered better than a small FAR.

- H6) Because the requirement in 4.5.5 is  $A_{xp} > 20$  dB, it is possible to show that this is fulfilled with a level of confidence of 95 % if the condition  $A_{xpT\text{ meas}}/(1 + 1,64u_c) > 10$  (or 20 dB) applies. The coverage factor of  $k = 1,64$  (rather than  $k = 2$ ) applies for a one-sided probability distribution (the value  $k = 2$  is a widely accepted approximation for the exact two-sided value  $k = 1,96$ ).

NOTE The measured ratio in Equation (H.11) shows that the outcome is more sensitive to uncertainty in the denominator, which will be a smaller voltage. When  $V_{Cx}$  is reduced by measurement uncertainty, the final ratio is then very large, but this is not important. For limit testing against a minimum  $A_{xpT}$  requirement, the largest positive uncertainty in  $V_{Cx}$  is taken such that the final ratio is reduced. Thus, as a reasonable approximation the worst-case uncertainty scales  $(1/[1+k u_c])$ , and this value will change with different  $A_{xpT\text{ meas}}$ . An  $A_{xpT\text{ meas}}$  of 12,6 was assumed in Table H.1, giving  $A_{xpT95\%} = 12,6/(1+0,277\ 6) = 9,86$ , which is equivalent to (22 dB – 2,13 dB).

The analysis demonstrates that the largest influence factor is the relationship  $A_{xpT}/A_{xpR}$ , and that a good chamber is preferred for accurate XPR measurement. Table H.2 gives an example of how the uncertainty changes with AUT XPR value, for fixed receive antenna properties. Using the values in the worked example, the interpretation is that a measured XPR of 22 dB indicates a 95 % probability that the true value is greater than 19,87.

For a better receive antenna ( $a_{xpR} = 40$  dB) and an improved chamber ( $\delta_{xx} = \delta_{yy} = 0,028$  and  $\delta_{yx} = 0,014$ ), the effective limit value is improved. The improved uncertainty will be  $20\lg(1/[1+1,64u_c]) = -1,16$  dB, and thus a measured XPR of 22 dB indicates a 95 % probability that the true value is greater than 20,84 dB.

**Table H.2 – Uncertainties depending on other values of  $A_{xpT}$**   
(other assumptions as in Table H.1)

| $a_{xpT}$ /dB | $A_{xpT}$ | $20\lg(1/[1+1,64u_c])$ /dB |
|---------------|-----------|----------------------------|
| 10            | 3,2       | –0,68                      |
| 13            | 4,5       | –0,88                      |
| 16            | 6,3       | –1,16                      |
| 18            | 7,9       | –1,42                      |
| 20            | 10,0      | –1,74                      |
| 22            | 12,6      | –2,13                      |
| 24            | 15,8      | –2,59                      |

#### H.4 Measurement of XPR below 100 MHz at an OATS

Where anechoic chambers do not perform well below 100 MHz, XPR may be measured at an OATS with the antennas at a large height above the ground plane. In this case it is assumed that the  $\delta_{yx}$  and  $\delta_{xy}$  error terms are negligible. Table H.3 shows this for a measurement at 6 m height and 3 m distance as an example.

**Table H.3 – Example uncertainty estimate for XPR measurement  
at an OATS and assumed  $a_{xpT} = 22$  dB,  $a_{xpR} = 34$  dB**

| Input quantity <sup>a</sup><br>$X_i$                          | Uncertainty in $X_i$ |                 |                     | $u(x_i)$ | Sensitivity<br>$c_i$ | $c_i u(x_i)$  |
|---------------------------------------------------------------|----------------------|-----------------|---------------------|----------|----------------------|---------------|
|                                                               | dB                   | $\delta$ linear | PDF                 | linear   | 1<br>measurement     | for $A_{xpT}$ |
| VNA reading, co-polar <sup>H1)</sup>                          | 0,08                 | 0,009 3         | normal, $k = 1$     | 0,009 3  | 1                    | 0,009 3       |
| VNA reading, non-linearity cross-polar <sup>H1)</sup>         | 0,08                 | 0,009 3         | normal, $k = 1$     | 0,009 3  | 1                    | 0,009 3       |
| Antenna misalignment ( $2^\circ$ ) <sup>H2)</sup>             |                      | 0,035 0         | rectangular         | 0,020 2  | 1                    | 0,020 2       |
| Distance uncertainty (2 cm over 3 m range) <sup>H3)</sup>     |                      | 0,007 0         | rectangular         | 0,004 0  | 1                    | 0,004 0       |
| AUT depolarization due to environment <sup>H4)</sup>          | 0,1                  | 0,011 6         | rectangular         | 0,006 7  | 1                    | 0,006 7       |
| Rx ant. depolarization due to environment <sup>H4)</sup>      | 0,1                  | 0,011 6         | rectangular         | 0,006 7  | 1                    | 0,006 7       |
| Antenna mast reflection, $\delta_{xx} = 0,034$ <sup>H5)</sup> |                      | 0,034 0         | triangular          | 0,013 9  | 1                    | 0,013 9       |
| $A_{xpT}/A_{xpR}$ <sup>H5)</sup>                              |                      | 0,251 5         | rectangular         | 0,145 2  | 1                    | 0,145 2       |
| $A_{yy}$                                                      |                      | 0,034 0         | triangular          | 0,013 9  | 1                    | 0,013 9       |
| $(A_{xpT}/A_{xpR}) \times \delta_{xx}$                        |                      | 0,008 6         | triangular          | 0,003 5  | 1                    | 0,003 5       |
| Combined standard uncertainty $u_c$                           |                      |                 |                     |          | $k = 1$              | 0,148 9       |
| Expanded uncertainty $ku_c$ <sup>H6)</sup>                    |                      |                 |                     |          | $k = 1,64$           | 0,244 2       |
| Expanded uncertainty in dB                                    |                      |                 | $20\lg(1/[1+ku_c])$ |          | $k = 1,64$           | -1,90         |

<sup>a</sup> Footnote references, e.g. <sup>H1)</sup>, refer to rationale details listed in H.3.

## Bibliography

- [1] IEC 61169-8, *Radio-frequency connectors – Part 8: Sectional specification – RF coaxial connectors with inner diameter of outer conductor 6,5 mm (0,256 in) with bayonet lock – Characteristic impedance 50  $\Omega$  (type BNC)* (previously published as IEC 60169-8)
- [2] BEECKMAN, P. A., The influence of positioning tables on the results of radiated EMC measurements, *IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, Montreal, Quebec, Canada, 2001, p. 280-285
- [3] BURKE, G. J. and POGGIO, A.J., *Numerical Electromagnetic Code – Method of Moments*, Lawrence Livermore Laboratory, California, January, 1981
- [4] GARBE, H., New EMC Test Facilities for Radiation Measurements, *Review of Radio Science 1999-2002*, John Wiley & Sons, New York, 2002
- [5] MOSSHAMMER, P., *Untersuchung der Einflüsse des Messzubehörs und der Umgebung auf die Messunsicherheit bei der Messung der Störfeldstärke auf Freifeldmessplätzen (Investigation of the influences of the measuring accessories and the environment on the measurement uncertainty with the measurement of the perturbative field strength on free field measuring positions)*, Diplomarbeit an Fachhochschule für Technik und Wirtschaft Berlin (available only in German)
- [6] ETR 273-1-1:1998, *Electromagnetic compatibility and radio spectrum matters (ERM); Improvement of radiated methods of measurement (using test sites) and evaluation of the corresponding measurement uncertainties – Part 1: Uncertainties in the measurement of mobile radio equipment characteristics – Section 1: Introduction; Subclause 8.3.4.3: Antenna mast, turntable and mounting fixture*, ETSI Technical Report, European Telecommunications Standards Institute, Sophia Antipolis, France
- [7] MIL-STD-461A, *Electromagnetic Interference (EMI) Characteristics Requirements for Equipment*
- [8] ZOMBOLAS, C., The effects of table material on radiated field strength measurement reproducibility at open area test sites, *IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, Montreal, Quebec, Canada, 2001, p. 260-264
- [9] BERGERVOET J.R. and VAN VEEN, H., A Large-Loop Antenna for Magnetic Field Measurements, *Proceedings of the 8th International Zürich Symposium on Electromagnetic Compatibility*, March 1989, ETH Zentrum – IKT, 8092 Zürich, Switzerland, p. 29-34
- [10] SCHELKUNOFF, S.A. and FRIIS, H.T., *Antennas: Theory and Practice*, New York: John Wiley and Sons, Inc., 1952, p. 302-331
- [11] CLC/TR 50481, *Recommendations on filters for shielded enclosures*, CENELEC, April 2009
- [12] CLC/TR 50484, *Recommendations for shielded enclosures*, CENELEC, April 2009
- [13] prEN 50147-3:1998, *Electromagnetic Compatibility Basic Emission Standard, Part 3: Emission Measurements in Fully Anechoic Rooms*, TC210-WG4-9905, CENELEC, Brussels, January 1999
- [14] GARN, H., Müllner, W., Buchmayr, M., Site-Reference Method for EMC Test Site Validation, *Frequenz* 53, July-August 1999, p. 151

- [15] GISIN, F., Using ANSI C63.5 standard site method antenna factors for verifying ANSI C63.4 site attenuation requirements, *Proceedings of the IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, Dallas, 9-13 August 1993, p. 313-314
- [16] GARN, H. F., BUCHMAYR, M., MÜLLNER, W. and RASINGER, J., Primary standards for antenna factor calibration in the frequency range 30 – 1 000 MHz, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, April 1997, vol. 46, no.2, p. 544-548
- [17] ALEXANDER, M.J., SALTER, M.J., LOADER, B.G., KNIGHT, D.A., Broadband calculable dipole reference antennas, *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, February 2002, vol. 44, no.1, p. 45-58
- [18] FOEGELLE, M.D., Site validation theory 101: Techniques and methods, *Compliance Engineering*, July/August 2000, p. 42-53  
[www.ce-mag.com/archive/2000/julyaugust/Foegelle.html](http://www.ce-mag.com/archive/2000/julyaugust/Foegelle.html)
- [19] ANSI C63.5-2017, American National Standard for Electromagnetic Compatibility–Radiated Emission Measurements in Electromagnetic Interference (EMI) Control–Calibration of Antennas (9 kHz to 40 GHz)
- [20] MENG, D., A, Fast Way to Accurately Calibrate Tunable Dipole Antennas at VHF, *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, February 2018, vol. 60, no.1, p. 86-95
- [21] Void
- [22] IEC 61000-4-20, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-20: Testing and measurement techniques – Emission and immunity testing in transverse electromagnetic (TEM) waveguides*
- [23] CISPR TR 16-3:2020, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 3: CISPR technical reports*
- [24] CISPR 11, *Industrial, scientific and medical equipment – Radio-frequency disturbance characteristics – Limits and methods of measurement*

---

## SOMMAIRE

|                                                                                                                                         |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| AVANT-PROPOS .....                                                                                                                      | 125 |
| 1 Domaine d'application .....                                                                                                           | 127 |
| 2 Références normatives .....                                                                                                           | 127 |
| 3 Termes, définitions et termes abrégés .....                                                                                           | 128 |
| 3.1 Termes et définitions .....                                                                                                         | 128 |
| 3.2 Termes abrégés .....                                                                                                                | 133 |
| 4 Antennes pour la mesure des perturbations radioélectriques rayonnées .....                                                            | 134 |
| 4.1 Généralités .....                                                                                                                   | 134 |
| 4.2 Paramètre physique (mesurande) pour les mesures des perturbations rayonnées .....                                                   | 135 |
| 4.3 Antennes pour la plage de fréquences comprises entre 9 kHz et 150 kHz .....                                                         | 135 |
| 4.3.1 Généralités .....                                                                                                                 | 135 |
| 4.3.2 Antenne à champ magnétique .....                                                                                                  | 135 |
| 4.3.3 Blindage de l'antenne cadre .....                                                                                                 | 135 |
| 4.4 Antennes pour la plage de fréquences comprises entre 150 kHz et 30 MHz .....                                                        | 136 |
| 4.4.1 Antenne à champ électrique .....                                                                                                  | 136 |
| 4.4.2 Antenne à champ magnétique .....                                                                                                  | 136 |
| 4.4.3 Symétrisation et discrimination du champ électrique des antennes .....                                                            | 136 |
| 4.5 Antennes pour la plage de fréquences comprises entre 30 MHz et 1 000 MHz .....                                                      | 136 |
| 4.5.1 Généralités .....                                                                                                                 | 136 |
| 4.5.2 Antenne à faible incertitude pour utilisation en cas de non-conformité présumée des limites d'intensité du champ électrique ..... | 136 |
| 4.5.3 Caractéristiques d'antenne .....                                                                                                  | 137 |
| 4.5.4 Symétrisation de l'antenne .....                                                                                                  | 139 |
| 4.5.5 Réponse de polarisation croisée de l'antenne .....                                                                                | 140 |
| 4.6 Antennes pour la plage de fréquences comprises entre 1 GHz et 18 GHz .....                                                          | 142 |
| 4.6.1 Généralités .....                                                                                                                 | 142 |
| 4.6.2 Antenne de réception .....                                                                                                        | 142 |
| 4.7 Montages d'antennes particuliers – Système d'antennes de grand diamètre .....                                                       | 145 |
| 5 Emplacements d'essai pour la mesure du champ radioélectrique perturbateur dans la gamme de fréquences de 9 kHz à 30 MHz .....         | 145 |
| 6 Emplacements d'essai pour la mesure du champ radioélectrique perturbateur dans la gamme de fréquences de 30 MHz à 1 000 MHz .....     | 145 |
| 6.1 Généralités .....                                                                                                                   | 145 |
| 6.2 OATS .....                                                                                                                          | 146 |
| 6.2.1 Généralités .....                                                                                                                 | 146 |
| 6.2.2 Enceinte de protection contre les intempéries .....                                                                               | 146 |
| 6.2.3 Zone sans obstacle .....                                                                                                          | 146 |
| 6.2.4 Environnement radiofréquence ambiant d'un emplacement d'essai .....                                                               | 148 |
| 6.2.5 Plan de sol .....                                                                                                                 | 149 |
| 6.3 Aptitude des autres emplacements d'essai .....                                                                                      | 149 |
| 6.3.1 Autres emplacements d'essai à plan de sol .....                                                                                   | 149 |
| 6.3.2 Emplacements d'essai sans plan de sol (FAR) .....                                                                                 | 149 |
| 6.4 Validation des emplacements d'essai .....                                                                                           | 150 |
| 6.4.1 Généralités .....                                                                                                                 | 150 |
| 6.4.2 Vue d'ensemble des validations d'un emplacement d'essai .....                                                                     | 151 |

|        |                                                                                                                                                                 |     |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 6.5    | Paramètres de base de la méthode du NSA pour OATS et SAC .....                                                                                                  | 151 |
| 6.5.1  | Equation générale et tableau des valeurs de NSA théoriques .....                                                                                                | 151 |
| 6.5.2  | Etalonnage de l'antenne .....                                                                                                                                   | 155 |
| 6.6    | Méthode de site de référence pour OATS et SAC .....                                                                                                             | 155 |
| 6.6.1  | Généralités .....                                                                                                                                               | 155 |
| 6.6.2  | Antennes non admises pour les mesures par RSM .....                                                                                                             | 156 |
| 6.6.3  | Détermination de l'affaiblissement de site de référence avec une paire d'antennes sur un REFTS .....                                                            | 157 |
| 6.6.4  | Détermination de l'affaiblissement de site de référence avec une paire d'antennes à l'aide d'une technique de moyennage sur un OATS de grandes dimensions ..... | 157 |
| 6.7    | Validation d'un OATS par la méthode du NSA .....                                                                                                                | 161 |
| 6.7.1  | Méthode de la fréquence discrète .....                                                                                                                          | 161 |
| 6.7.2  | Méthode par balayage de fréquence .....                                                                                                                         | 162 |
| 6.8    | Validation d'un OATS protégé contre les intempéries par une enceinte ou d'une SAC .....                                                                         | 162 |
| 6.9    | Causes possibles de dépassement des limites d'acceptabilité de site .....                                                                                       | 167 |
| 6.10   | Validation de l'emplacement pour les FAR .....                                                                                                                  | 168 |
| 6.10.1 | Généralités .....                                                                                                                                               | 168 |
| 6.10.2 | RSM pour les sites FAR .....                                                                                                                                    | 173 |
| 6.10.3 | Méthode du NSA pour les sites FAR .....                                                                                                                         | 175 |
| 6.10.4 | Critère de validation de l'emplacement pour les sites FAR .....                                                                                                 | 177 |
| 6.11   | Évaluation de la table d'essai et du pylône d'antenne .....                                                                                                     | 178 |
| 6.11.1 | Généralités .....                                                                                                                                               | 178 |
| 6.11.2 | Procédure d'évaluation de l'influence de la table d'essai .....                                                                                                 | 178 |
| 7      | Emplacements d'essai pour la mesure des champs radioélectriques perturbateurs dans la gamme de fréquences de 1 GHz à 18 GHz .....                               | 180 |
| 7.1    | Généralités .....                                                                                                                                               | 180 |
| 7.2    | Emplacement d'essai de référence .....                                                                                                                          | 180 |
| 7.3    | Validation des emplacements d'essai .....                                                                                                                       | 180 |
| 7.3.1  | Généralités .....                                                                                                                                               | 180 |
| 7.3.2  | Critère d'acceptation pour la validation de l'emplacement .....                                                                                                 | 182 |
| 7.4    | Exigences relatives à l'antenne pour la procédure d'essai normalisée avec le $S_{VSWR}$ .....                                                                   | 182 |
| 7.4.1  | Généralités .....                                                                                                                                               | 182 |
| 7.4.2  | Antenne d'émission .....                                                                                                                                        | 183 |
| 7.4.3  | Antennes et équipement d'essai pour la procédure d'essai inverse avec le $S_{VSWR}$ .....                                                                       | 186 |
| 7.5    | Positions exigées pour l'essai de validation de l'emplacement .....                                                                                             | 186 |
| 7.5.1  | Généralités .....                                                                                                                                               | 186 |
| 7.5.2  | Description des positions de mesure de $S_{VSWR}$ dans un plan horizontal (Figure 23) .....                                                                     | 187 |
| 7.5.3  | Description des positions supplémentaires de mesure de $S_{VSWR}$ (Figure 24) .....                                                                             | 188 |
| 7.5.4  | Récapitulatif des positions de mesure de $S_{VSWR}$ .....                                                                                                       | 189 |
| 7.6    | Validation de l'emplacement de $S_{VSWR}$ – procédure d'essai normalisée .....                                                                                  | 192 |
| 7.7    | Validation d'emplacement de $S_{VSWR}$ – procédure d'essai inverse utilisant une sonde de champ isotrope .....                                                  | 193 |
| 7.8    | Exigences concernant la position conditionnelle des mesures de $S_{VSWR}$ .....                                                                                 | 195 |
| 7.9    | Rapport d'essai de validation d'emplacement $S_{VSWR}$ .....                                                                                                    | 196 |
| 7.10   | Limites de la méthode de validation d'emplacement de $S_{VSWR}$ .....                                                                                           | 196 |



|       |                                                                                                                                                                          |     |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 7.11  | Autres emplacements d'essai.....                                                                                                                                         | 196 |
| 8     | Dispositifs d'absorption en mode commun .....                                                                                                                            | 197 |
| 8.1   | Généralités .....                                                                                                                                                        | 197 |
| 8.2   | Mesures des paramètres $S$ d'un CMAD .....                                                                                                                               | 197 |
| 8.3   | Montage d'essai de CMAD .....                                                                                                                                            | 197 |
| 8.4   | Méthode de mesure utilisant l'étalonnage TRL .....                                                                                                                       | 198 |
| 8.5   | Spécification d'un CMAD du type à pince en ferrite .....                                                                                                                 | 200 |
| 8.6   | Vérification de la performance (dégradation) des CMAD en utilisant un analyseur de spectre et un générateur de poursuite .....                                           | 201 |
| 9     | Chambre de réverbération pour la mesure de la puissance totale rayonnée.....                                                                                             | 204 |
| 9.1   | Généralités .....                                                                                                                                                        | 204 |
| 9.2   | Chambre.....                                                                                                                                                             | 204 |
| 9.2.1 | Dimensions et forme de la chambre .....                                                                                                                                  | 204 |
| 9.2.2 | Porte, ouvertures dans les parois et équerres de montage.....                                                                                                            | 204 |
| 9.2.3 | Agitateurs .....                                                                                                                                                         | 204 |
| 9.2.4 | Essai de rendement des agitateurs .....                                                                                                                                  | 205 |
| 9.2.5 | Affaiblissement de couplage .....                                                                                                                                        | 206 |
| 10    | Cellules TEM pour les mesures d'immunité aux perturbations rayonnées.....                                                                                                | 207 |
|       | Annexe A (normative) Paramètres des antennes.....                                                                                                                        | 208 |
| A.1   | Généralités .....                                                                                                                                                        | 208 |
| A.2   | Antennes préférentielles .....                                                                                                                                           | 208 |
| A.2.1 | Généralités .....                                                                                                                                                        | 208 |
| A.2.2 | Antenne calculable .....                                                                                                                                                 | 208 |
| A.2.3 | Antennes à faible incertitude.....                                                                                                                                       | 209 |
| A.3   | Antennes doublets simples .....                                                                                                                                          | 209 |
| A.3.1 | Généralités .....                                                                                                                                                        | 209 |
| A.3.2 | Doublet accordé.....                                                                                                                                                     | 210 |
| A.3.3 | Doublet raccourci.....                                                                                                                                                   | 210 |
| A.4   | Paramètres des antennes à large bande .....                                                                                                                              | 212 |
| A.4.1 | Généralités .....                                                                                                                                                        | 212 |
| A.4.2 | Type d'antenne .....                                                                                                                                                     | 212 |
| A.4.3 | Spécification de l'antenne .....                                                                                                                                         | 213 |
| A.4.4 | Etalonnage de l'antenne .....                                                                                                                                            | 213 |
| A.4.5 | Informations pour les utilisateurs de l'antenne .....                                                                                                                    | 213 |
|       | Annexe B (xxx) (Vide).....                                                                                                                                               | 215 |
|       | Annexe C (normative) Système d'antennes de grand diamètre pour les mesures du courant induit par un champ magnétique dans la gamme de fréquences de 9 kHz à 30 MHz ..... | 216 |
| C.1   | Généralités .....                                                                                                                                                        | 216 |
| C.2   | Construction d'un LLAS.....                                                                                                                                              | 216 |
| C.3   | Construction d'une antenne de grand diamètre (LLA).....                                                                                                                  | 216 |
| C.4   | Validation du LLAS .....                                                                                                                                                 | 221 |
| C.5   | Construction de l'antenne doublet de vérification du LLAS .....                                                                                                          | 223 |
| C.6   | Facteurs de conversion.....                                                                                                                                              | 224 |
| C.6.1 | Généralités .....                                                                                                                                                        | 224 |
| C.6.2 | Facteurs de conversion actuels pour un LLAS de diamètre non normalisé.....                                                                                               | 224 |
| C.6.3 | Conversion du courant mesuré du LLAS en intensité du champ magnétique.....                                                                                               | 226 |



|                                                                                                                                                                                                                                                                |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| C.7 Exemples .....                                                                                                                                                                                                                                             | 228 |
| Annexe D (normative) Détails de construction des emplacements d'essai en zone dégagée dans la gamme de fréquences de 30 MHz à 1 000 MHz (voir Article 6) .....                                                                                                 | 230 |
| D.1 Généralités .....                                                                                                                                                                                                                                          | 230 |
| D.2 Construction du plan de sol .....                                                                                                                                                                                                                          | 230 |
| D.2.1 Matériau .....                                                                                                                                                                                                                                           | 230 |
| D.2.2 Rugosité .....                                                                                                                                                                                                                                           | 230 |
| D.3 Servitudes de l'EUT .....                                                                                                                                                                                                                                  | 231 |
| D.4 Construction de l'enceinte de protection contre les intempéries .....                                                                                                                                                                                      | 231 |
| D.4.1 Matériaux et attaches .....                                                                                                                                                                                                                              | 231 |
| D.4.1 Montages internes .....                                                                                                                                                                                                                                  | 232 |
| D.4.2 Taille .....                                                                                                                                                                                                                                             | 232 |
| D.4.3 Stabilité dans le temps et aux conditions climatiques .....                                                                                                                                                                                              | 232 |
| D.5 Table tournante et table d'essai .....                                                                                                                                                                                                                     | 232 |
| D.6 Installation du mât de l'antenne de réception .....                                                                                                                                                                                                        | 233 |
| Annexe E (xxx) (Vide) .....                                                                                                                                                                                                                                    | 234 |
| Annexe F (informative) Fondement du critère des $\pm 4$ dB pour l'acceptabilité d'un emplacement (voir Article 6) .....                                                                                                                                        | 235 |
| F.1 Généralités .....                                                                                                                                                                                                                                          | 235 |
| F.2 Analyse des erreurs .....                                                                                                                                                                                                                                  | 235 |
| Annexe G (informative) Exemples de bilans d'incertitude pour la validation d'emplacement d'un COMTS à l'aide de la RSM avec une paire d'antennes étalonnées (voir 6.6) .....                                                                                   | 237 |
| G.1 Grandeurs à étudier pour l'étalonnage de l'affaiblissement de site de référence avec une paire d'antennes à l'aide de la technique de moyennage .....                                                                                                      | 237 |
| G.2 Grandeurs à étudier pour l'étalonnage de l'affaiblissement de site de référence avec une paire d'antennes à l'aide d'un REFTS .....                                                                                                                        | 238 |
| G.3 Grandeurs à étudier pour la validation du COMTS à l'aide de l'affaiblissement de site de référence avec une paire d'antennes .....                                                                                                                         | 239 |
| Annexe H Annexe H (informative) Définition de l'incertitude de mesure de la réponse de polarisation croisée .....                                                                                                                                              | 240 |
| H.1 Généralités .....                                                                                                                                                                                                                                          | 240 |
| H.2 Exemple d'estimation de l'incertitude .....                                                                                                                                                                                                                | 243 |
| H.3 Justification des estimations des grandeurs d'entrée données dans le Tableau H.1 et le Tableau H.3 .....                                                                                                                                                   | 244 |
| H.4 Mesurage de la XPR en dessous de 100 MHz sur un OATS .....                                                                                                                                                                                                 | 246 |
| Bibliographie .....                                                                                                                                                                                                                                            | 247 |
| Figure 1 – Représentation schématique du rayonnement de l'EUT atteignant une antenne LPDA directement et via réflexion sur le sol à un emplacement de 3 m, présentant la moitié de l'angle d'ouverture de faisceau, $\phi$ , au niveau du rayon réfléchi ..... | 138 |
| Figure 2 – Exemple de diagramme de rayonnement dans le plan E d'une antenne RX dans la zone limite grisée pour une distance de 3 m et un EUT d'une largeur de 2 m .....                                                                                        | 143 |
| Figure 3 – Détermination de la largeur maximale exploitable de l'EUT dans le cadre de l'utilisation de l'ouverture de faisceau à mi-puissance .....                                                                                                            | 144 |
| Figure 4 – Détermination de la hauteur maximale exploitable de l'EUT dans le cadre de l'utilisation de l'ouverture de faisceau à mi-puissance .....                                                                                                            | 144 |
| Figure 5 – Zone sans obstacle d'un emplacement d'essai équipé d'une table tournante .....                                                                                                                                                                      | 147 |
| Figure 6 – Zone sans obstacle avec EUT fixe .....                                                                                                                                                                                                              | 148 |

|                                                                                                                                                                                             |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figure 7 – Position des points d'essai pour un essai à des distances de 3 m et de 10 m .....                                                                                                | 157 |
| Figure 8 – Position des points d'essai appariés pour toutes les distances d'essai .....                                                                                                     | 159 |
| Figure 9 – Exemple de choix de points d'essai appariés pour un essai à une distance de 10 m .....                                                                                           | 160 |
| Figure 10 – Représentation d'une étude de l'influence du mât d'antenne sur $A_{APR}$ .....                                                                                                  | 160 |
| Figure 11 – Positions types des antennes pour un OATS protégé contre les intempéries ou une SAC – mesures de validation en polarisation verticale.....                                      | 164 |
| Figure 12 – Positions types des antennes pour un OATS protégé contre les intempéries ou une SAC – mesures de validation en polarisation horizontale.....                                    | 165 |
| Figure 13 – Positions types des antennes pour un OATS protégé contre les intempéries ou une SAC – mesures de validation en polarisation verticale pour un EUT de faibles dimensions .....   | 166 |
| Figure 14 – Positions types des antennes pour un OATS protégé contre les intempéries ou une SAC – mesures de validation en polarisation horizontale pour un EUT de faibles dimensions ..... | 167 |
| Figure 15 – Positions de mesure pour la validation d'emplacement d'une FAR.....                                                                                                             | 170 |
| Figure 16 – Exemple de position de mesure et d'inclinaison d'antenne pour la validation d'emplacement d'une FAR .....                                                                       | 172 |
| Figure 17 – Montage de mesure du SA de référence type pour un emplacement d'essai en quasi espace libre .....                                                                               | 175 |
| Figure 18 – NSA théorique en espace libre en fonction de la fréquence pour différentes distances de mesure [voir Equation (16)] .....                                                       | 177 |
| Figure 19 – Position de l'antenne par rapport au bord au-dessus d'une table d'essai rectangulaire (vue de dessus).....                                                                      | 180 |
| Figure 20 – Position de l'antenne au-dessus de la table d'essai (vue de côté) .....                                                                                                         | 180 |
| Figure 21 – Exemple de diagramme de rayonnement dans le plan E d'une antenne d'émission (à titre informatif uniquement).....                                                                | 184 |
| Figure 22 – Diagramme de rayonnement dans le plan H d'une antenne d'émission (exemple donné à titre informatif uniquement) .....                                                            | 185 |
| Figure 23 – Positions de mesure de $S_{VSWR}$ dans un plan horizontal (voir description en 7.5.2) .....                                                                                     | 187 |
| Figure 24 – Positions de $S_{VSWR}$ (exigences de hauteur).....                                                                                                                             | 189 |
| Figure 25 – Exigences concernant la position conditionnelle des mesures de $S_{VSWR}$ .....                                                                                                 | 195 |
| Figure 26 – Définition des plans de référence à l'intérieur du montage d'essai.....                                                                                                         | 198 |
| Figure 27 – Les quatre configurations pour l'étalonnage TRL .....                                                                                                                           | 200 |
| Figure 28 – Limites pour l'amplitude de $S_{11}$ , mesurée selon les dispositions de 8.1 à 8.3 .....                                                                                        | 201 |
| Figure 29 – Exemple de conception d'adaptateur 50 $\Omega$ dans le flasque vertical du montage .....                                                                                        | 202 |
| Figure 30 – Exemple d'adaptateur avec symétriseur ou transformateur.....                                                                                                                    | 203 |
| Figure 31 – Exemple d'adaptateur avec réseau d'adaptation résistif .....                                                                                                                    | 203 |
| Figure 32 – Exemple d'agitateur à aubes type.....                                                                                                                                           | 205 |
| Figure 33 – Gamme d'affaiblissement de couplage en fonction de la fréquence pour une chambre utilisant l'agitateur de la Figure 32 .....                                                    | 206 |
| Figure A.1 – Facteurs d'antenne des doublets courts pour $R_L = 50 \Omega$ .....                                                                                                            | 212 |
| Figure C.1 – LLAS constitué de trois antennes de grand diamètre mutuellement perpendiculaires .....                                                                                         | 218 |

|                                                                                                                                                                                |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figure C.2 – LLA comportant deux fentes opposées, positionnées symétriquement par rapport à la sonde de courant .....                                                          | 219 |
| Figure C.3 – Construction de la fente de LLA .....                                                                                                                             | 219 |
| Figure C.4 – Exemple de construction de fente de LLA utilisant une bande de circuit imprimé pour obtenir une construction rigide .....                                         | 220 |
| Figure C.5 – Construction du boîtier métallique renfermant la sonde de courant .....                                                                                           | 220 |
| Figure C.6 – Exemple montrant le cheminement de plusieurs câbles de l'EUT afin de réduire le plus possible le couplage capacitif entre les conducteurs et le LLAS .....        | 221 |
| Figure C.7 – Les huit positions du doublet de vérification du LLAS durant la validation d'une LLA .....                                                                        | 222 |
| Figure C.8 – Facteurs de validation de référence pour des boucles de 2 m, 3 m et 4 m de diamètre .....                                                                         | 222 |
| Figure C.9 – Construction de l'antenne doublet de vérification du LLAS .....                                                                                                   | 224 |
| Figure C.10 – Sensibilité $S_D$ d'une LLA de diamètre $D$ par rapport à une LLA de 2 m de diamètre .....                                                                       | 225 |
| Figure C.11 – Facteur de conversion $C_{dA}$ [pour la conversion en dB ( $\mu A/m$ )] pour trois distances de mesure normalisées $d$ .....                                     | 227 |
| Figure D.1 – Critère de Rayleigh pour la rugosité du plan de sol .....                                                                                                         | 231 |
| Tableau 1 – Méthodes de validation d'emplacement applicables pour les emplacements de type OATS, à base d'OATS, SAC et FAR .....                                               | 150 |
| Tableau 2 – Affaiblissement normalisé théorique de l'emplacement, $A_N$ – Géométries recommandées pour les antennes à large bande <sup>a</sup> (1 de 2) .....                  | 153 |
| Tableau 3 – Exemple de modèle pour les ensembles de données $A_{APR}$ .....                                                                                                    | 156 |
| Tableau 4 – Pas de fréquence de la RSM .....                                                                                                                                   | 156 |
| Tableau 5 – Dimensions maximales du volume d'essai en fonction de la distance d'essai .....                                                                                    | 168 |
| Tableau 6 – Gammes de fréquences et pas pour la validation d'emplacement d'une FAR .....                                                                                       | 173 |
| Tableau 7 – Désignations des positions de mesure de $S_{VSWR}$ (1 de 3) .....                                                                                                  | 190 |
| Tableau 8 – Exigences concernant les rapports de $S_{VSWR}$ .....                                                                                                              | 196 |
| Tableau C.1 – Facteurs de validation de référence de la Figure C.8 pour des boucles de 2 m, 3 m et 4 m de diamètre .....                                                       | 223 |
| Tableau C.2 – Sensibilité $S_D$ d'une LLA de diamètre $D$ par rapport à une LLA de 2 m de diamètre (Figure C.10) .....                                                         | 226 |
| Tableau C.3 – Facteur de conversion de l'intensité du champ magnétique $C_{dA}$ pour trois distances de mesure (Figure C.11) .....                                             | 228 |
| Tableau D.1 – Rugosité maximale pour des distances de mesure de 3 m, 10 m et 30 m .....                                                                                        | 231 |
| Tableau F.1 – Bilan d'erreur .....                                                                                                                                             | 235 |
| Tableau G.1 – Etalonnage de l'affaiblissement de site de référence avec une paire d'antennes à l'aide de la technique de moyennage sur un OATS de grandes dimensions .....     | 237 |
| Tableau G.2 – Etalonnage de l'affaiblissement de site de référence avec une paire d'antennes à l'aide du REFTS .....                                                           | 238 |
| Tableau G.3 – Validation du COMTS à l'aide de l'affaiblissement de site de référence avec une paire d'antennes .....                                                           | 239 |
| Tableau H.1 – Exemple d'estimation de l'incertitude pour le mesurage de la XPR dans une FAR avec des valeurs $a_{xpT} = 22$ dB, $a_{xpR} = 34$ dB définies par hypothèse ..... | 244 |

|                                                                                                                                                                               |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tableau H.2 – Incertitudes dépendant des autres valeurs de $A_{xpT}$ (autres hypothèses que celles retenues dans le Tableau H.1) .....                                        | 246 |
| Tableau H.3 – Exemple d'estimation de l'incertitude pour un mesurage de la XPR sur un OATS avec des valeurs $a_{xpT} = 22$ dB, $a_{xpR} = 34$ dB définies par hypothèse ..... | 246 |

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of CISPR 16-1-4:2019+AMD1:2020 CSV

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE  
COMITÉ INTERNATIONAL SPÉCIAL DES PERTURBATIONS RADIOÉLECTRIQUES

**SPÉCIFICATIONS DES MÉTHODES ET DES APPAREILS DE MESURE  
DES PERTURBATIONS RADIOÉLECTRIQUES ET DE L'IMMUNITÉ  
AUX PERTURBATIONS RADIOÉLECTRIQUES –**

**Partie 1-4: Appareils de mesure des perturbations radioélectriques  
et de l'immunité aux perturbations radioélectriques –  
Antennes et emplacements d'essai pour les mesures  
des perturbations rayonnées**

**AVANT-PROPOS**

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, l'IEC – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de l'IEC"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à l'IEC, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de l'IEC, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

**Cette version consolidée de la Norme IEC officielle et de son amendement a été préparée pour la commodité de l'utilisateur.**

**La CISPR 16-1-4 édition 4.1 contient la quatrième édition (2019-01) [documents CIS/A/1262/FDIS et CIS/A/1275/RVD] et son amendement 1 (2020-06) [documents CIS/A/1316/FDIS et CIS/A/1320/RVD].**

**Cette version Finale ne montre pas les modifications apportées au contenu technique par l'amendement 1. Une version Redline montrant toutes les modifications est disponible dans cette publication.**

Cette édition constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente:

- des dispositions ont été ajoutées pour traiter la validation des emplacements d'essai dans la gamme de fréquences de 30 MHz à 1 000 MHz en utilisant la méthode de site de référence, pour tenir compte du diagramme de rayonnement de l'antenne de réception dans la gamme de fréquences de 1 GHz à 18 GHz, ainsi qu'une description plus détaillée de la validation des emplacements d'essai par la méthode du NSA avec des antennes à large bande dans la plage de fréquences de 30 MHz à 1 000 MHz.

La Norme internationale CISPR 16-1-4 a été établie par le sous-comité CISPR A: Mesures des perturbations radioélectriques et méthodes statistiques.

Elle a le statut d'une publication fondamentale en CEM conformément au Guide IEC 107, *Compatibilité électromagnétique – Guide pour la rédaction des publications sur la compatibilité électromagnétique*.

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série CISPR 16, publiées sous le titre général *Spécifications des méthodes et des appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

Le comité a décidé que le contenu de la publication de base et de son amendement ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

- reconduite,
- supprimée,
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

**IMPORTANT – Le logo "colour inside" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante couleur.**

## **SPÉCIFICATIONS DES MÉTHODES ET DES APPAREILS DE MESURE DES PERTURBATIONS RADIOÉLECTRIQUES ET DE L'IMMUNITÉ AUX PERTURBATIONS RADIOÉLECTRIQUES –**

### **Partie 1-4: Appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Antennes et emplacements d'essai pour les mesures des perturbations rayonnées**

## **1 Domaine d'application**

La présente partie de la CISPR 16 spécifie les caractéristiques et les performances des appareils de mesure de perturbations rayonnées dans la gamme de fréquences de 9 kHz à 18 GHz. Elle comprend les spécifications pour les antennes et les emplacements d'essai.

NOTE Conformément au Guide 107 de l'IEC, la CISPR 16-1-4 est une publication fondamentale en CEM destinée à être utilisée par les comités de produits de l'IEC. Comme indiqué dans le Guide 107, les comités de produits ont la responsabilité de déterminer s'il convient d'appliquer ou non cette norme d'essai en CEM. Le CISPR et ses sous-comités sont prêts à coopérer avec les comités de produits à l'évaluation de la valeur des essais d'immunité particuliers pour leurs produits.

Les exigences de cette publication s'appliquent à toutes les fréquences et à tous niveaux de perturbation rayonnée, dans les limites de la plage de lecture des appareils de mesure du CISPR.

Les méthodes de mesure sont traitées dans la Partie 2-3, des informations supplémentaires sur les perturbations radioélectriques sont données dans la Partie 3 et les incertitudes, les statistiques et la modélisation des limites sont couvertes par la Partie 4 de la CISPR 16.

## **2 Références normatives**

Les documents suivants cités dans le texte constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CISPR 16-1-1, *Spécifications des méthodes et des appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Partie 1-1: Appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Appareils de mesure*

CISPR 16-1-5:2014, *Spécifications des méthodes et des appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Partie 1-5: Appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Emplacements d'étalonnage d'antenne et emplacements d'essai de référence pour la plage comprise entre 5 MHz et 18 GHz*  
CISPR 16-1-5:2014/AMD1:2016

CISPR 16-1-6:2014, *Spécifications des méthodes et des appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Partie 1-6: Appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Etalonnage des antennes CEM*  
CISPR 16-1-6:2014/AMD1:2016



CISPR 16-2-3:2016, *Spécifications des méthodes et des appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Partie 2-3: Méthodes de mesure des perturbations et de l'immunité – Mesures des perturbations rayonnées*

CISPR TR 16-3, *Spécifications des méthodes et des appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Partie 3: Rapports techniques du CISPR*

CISPR 16-4-2, *Spécifications des méthodes et des appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Partie 4-2: Incertitudes, statistiques et modélisation des limites – Incertitudes de mesure CEM*

IEC 60050-161, *Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) – Chapitre 161: Compatibilité électromagnétique*

### 3 Termes, définitions et termes abrégés

Pour les besoins du présent document, les termes, les définitions et les termes abrégés dans CISPR 16-1-1, de la CISPR 16-1-5, de l'IEC 60050-161 ainsi que les suivants, s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <http://www.iso.org/obp>

#### 3.1 Termes et définitions

##### 3.1.1 antenne

transducteur qui convertit l'énergie électromagnétique guidée de la ligne d'alimentation en onde rayonnée, et inversement

Note 1 à l'article: Dans le contexte du présent document, s'agissant des antennes pour lesquelles un symétriseur est intrinsèque au fonctionnement de l'antenne, le terme "antenne" inclut le symétriseur.

##### 3.1.2 facteur d'antenne FA

$F_a$   
rapport entre l'intensité du champ électrique d'une onde plane incidente provenant de la direction correspondant à l'axe mécanique (c'est-à-dire l'axe principal de l'antenne) et la tension induite sur une charge spécifiée connectée à l'antenne, mesurée dans un environnement en espace libre

Note 1 à l'article: L'abréviation FA est utilisée comme terme général pour indiquer le facteur d'antenne, alors que  $F_a$  indique le FA de l'axe dans l'espace libre. Le FA est affecté par l'impédance de charge (en général de 50  $\Omega$ ) connectée à l'antenne et dépend de la fréquence. Pour une antenne biconique, cette impédance pourrait atteindre 200  $\Omega$ . L'impédance des antennes sans symétriseur est égale à l'impédance de charge (généralement de 50  $\Omega$ ). Le FA peut être affecté par le couplage mutuel de l'antenne au plan de sol et dépend de la directivité. Pour plus de détails, voir les définitions et 4.2 de la CISPR 16-1-6:2014.

Note 2 à l'article: La dimension physique du FA est  $m^{-1}$  et les données mesurées sont normalement exprimées en dB par rapport à 1/m [ $dB(m^{-1})$ ]. Dans les mesures des perturbations rayonnées, si  $F_a$  est connu, le champ incident,  $E$ , peut être estimé à partir d'un relevé,  $V$ , d'un récepteur de mesure connecté à l'antenne comme suit:

$$E = V + F_a$$

où  $E$  est exprimé en  $dB(\mu V/m)$ ,  $V$  en  $dB(\mu V)$  et  $F_a$  en  $dB(m^{-1})$ .



### 3.1.3

#### **affaiblissement de site de référence avec une paire d'antennes**

$A_{APR}$

ensemble de résultats de mesure d'affaiblissement de site correspondant aux polarisations verticale et horizontale, obtenu avec une paire d'antennes séparées par une distance définie sur un emplacement d'essai en espace libre idéal, une antenne se trouvant à une hauteur fixe spécifiée au-dessus du plan de sol et l'autre antenne balayant une plage de hauteur spécifiée où la perte d'insertion minimum est enregistrée

Note 1 à l'article:  $A_{APR}$  est une grandeur d'influence pour le calcul d'incertitude des mesures de validation d'emplacement par la méthode RSM.

Note 2 à l'article: Les mesures de  $A_{APR}$  sont comparées aux mesures d'affaiblissement de site correspondantes d'un emplacement d'essai de conformité (COMTS) pour évaluer les performances de ce COMTS.

### 3.1.4

#### **point de référence de l'antenne**

point médian d'une antenne à partir duquel est mesurée la distance entre cette antenne et l'appareil en essai (EUT) ou la deuxième antenne

Note 1 à l'article: Le point de référence de l'antenne est défini soit par le fabricant, à l'aide d'un repère sur les antennes LPDA, soit par le laboratoire d'étalonnage.

### 3.1.5

#### **symétriseur**

dispositif permettant de transformer une ligne de transmission non symétrique en une ligne de transmission symétrique, et inversement

Note 1 à l'article: Un symétriseur est utilisé, par exemple, pour coupler des éléments d'antenne symétriques à une ligne d'alimentation non symétrique (un câble coaxial, par exemple). Un symétriseur peut donner une transformation d'impédance inhérente différente de l'unité.

### 3.1.6

#### **emplacement d'essai pour l'étalonnage**

CALTS

emplacement d'essai en espace libre à plan de sol métallique présentant un affaiblissement de site en polarisation horizontale du champ électrique très précisément spécifié

Note 1 à l'article: Un CALTS est utilisé pour déterminer le facteur d'antenne en espace libre d'une antenne.

Note 2 à l'article: L'abréviation "CALTS" est dérivée du terme anglais développé correspondant "CALibration Test Site".

### 3.1.7

#### **dispositif d'absorption en mode commun**

CMAD

dispositif qui peut être appliqué sur des câbles à leur sortie du volume d'essai au cours des mesures des perturbations rayonnées pour réduire l'incertitude de conformité

Note 1 à l'article: L'abréviation "CMAD" est dérivée du terme anglais développé correspondant "Common Mode Absorption Device".

### 3.1.8

#### **emplacement d'essai de conformité**

COMTS

environnement qui garantit des résultats de mesure valides et reproductibles des perturbations en champ électrique produites par des appareils en essai afin d'évaluer leur conformité à des limites

Note 1 à l'article: L'abréviation "COMTS" est dérivée du terme anglais développé correspondant "COMpliance Test Site".

### 3.1.9

#### **réponse en polarisation croisée**

##### **XPR**

mesure de la réjection par l'antenne du champ à polarisation croisée lorsque l'antenne subit une rotation dans un champ électromagnétique à polarisation linéaire de phase et d'amplitude uniformes au-dessus de l'ouverture de l'antenne en essai

Note 1 à l'article: L'abréviation "XPR" est dérivée du terme anglais développé correspondant "cross-Polar Response".

### 3.1.10

#### **volume d'EUT**

cylindre défini par le diamètre et la hauteur limites de l'EUT et qui inclut entièrement toutes les parties de l'EUT réel, y compris les chemins de câbles et 1,6 m de longueur de câble (30 MHz à 1 GHz) et 0,3 m de longueur de câble (1 GHz et plus)

Note 1 à l'article: Le volume d'essai fait partie des nombreux critères limitatifs du volume d'EUT (voir CISPR 16-2-3).

Note 2 à l'article: Le diamètre du volume d'EUT est  $D$  (diamètre limite) et sa hauteur est  $h$ .

### 3.1.11

#### **enceinte complètement anéchoïque**

##### **FAR**

enceinte dont les six surfaces internes sont tapissées par un matériau absorbant l'énergie des radiofréquences (c'est-à-dire un absorbant RF) qui atténue l'énergie électromagnétique dans la gamme de fréquences concernée

Note 1 à l'article: Pour la mesure des perturbations rayonnées en général, il convient de construire la FAR à l'intérieur d'une enceinte blindée.

Note 2 à l'article: L'abréviation "FAR" est dérivée du terme anglais développé correspondant "Fully-Anechoic Room".

### 3.1.12

#### **antenne hybride**

antenne composée d'une section de réseau de doublets log-périodiques (LPDA) à élément filaire et d'un doublet à large bande

Note 1 à l'article: L'élément le plus long de la section LPDA est en général résonant à environ 200 MHz, et le bras est rallongé à l'extrémité du circuit ouvert pour alimenter la section de doublet à large bande raccordée (biconique ou en forme de nœud papillon, par exemple). Dans la gamme comprise entre 30 MHz et 200 MHz, le doublet à large bande donne des performances analogues à celles d'une antenne biconique, notamment dans la variation du facteur d'antenne en fonction de la hauteur.

Note 2 à l'article: Une inductance à noyau commun est en général utilisée à l'extrémité du circuit ouvert (c'est-à-dire à l'arrière) du bras pour réduire le plus possible les courants RF parasites (non voulus) sur le conducteur extérieur du câble coaxial qui pénètrent dans le récepteur de mesure.

### 3.1.13

#### **emplacement d'essai en espace libre idéal**

emplacement d'essai en espace libre ayant un plan de sol parfaitement plat, parfaitement conducteur et de surface infinie, et ne comportant pas d'objet réfléchissant à l'exception du plan de sol

Note 1 à l'article: Un emplacement d'essai en espace libre (OATS) idéal est un concept théorique qui est utilisé dans la définition du mesurande  $A_{APR}$  et dans le calcul de l'affaiblissement normalisé théorique  $A_N$  des sites à plan de sol.

### 3.1.14

#### **perte d'insertion**

perte due à l'insertion d'un dispositif dans une ligne de transmission, exprimée comme le rapport des tensions immédiatement avant et après le point d'insertion d'un dispositif en essai, avant et après l'insertion

Note 1 à l'article: La perte d'insertion est égale à l'inverse du paramètre  $S$  de transmission,  $|1/S_{21}|$ .

### 3.1.15

#### antenne à faible incertitude

antenne biconique ou LPDA robuste satisfaisant aux exigences de performance d'équilibrage et de XPR du présent document et dont le facteur d'antenne a une incertitude meilleure que 0,5 dB, utilisée pour la mesure de l'intensité du champ électrique en un point défini de l'espace

Note 1 à l'article: Les antennes à faible incertitude sont décrites de manière plus détaillée en A.2.3.

### 3.1.16

#### axe de visée mécanique

sens de l'axe de visée

axe de visée

direction du faisceau principal définie par les propriétés géométriques de l'antenne

Note 1 à l'article: Pour les antennes CEM, la direction du signal maximal est habituellement: a) confondue avec la direction qui correspond à l'axe longitudinal mécanique des antennes LPDA; b) orthogonale aux éléments des antennes monopôles, doublets et biconiques, c) orthogonale à l'ouverture avant des antennes cornets. Dans chacun de ces cas, la ligne orthogonale est confondue avec l'axe de l'antenne.

### 3.1.17

#### niveau zéro

minimum d'un niveau de signal résultant de la somme vectorielle des signaux directs et des signaux réfléchis sur le plan de masse à l'antenne de réception, ce niveau étant bien inférieur à la somme de ces signaux en phase

Note 1 à l'article: La profondeur d'un niveau zéro est mesurée à partir de la somme en phase des signaux directs et des signaux réfléchis sur le plan de masse. Le signal reçu est nul lorsque les antennes se situent au-dessus d'un plan de masse de référence à des hauteurs telles que les signaux directs et les signaux réfléchis sur le plan de masse sont en opposition de phase, ce qui peut entraîner des incertitudes importantes dans le calcul de la mesure du champ électrique. Un niveau zéro s'étend de 90° à 180° à l'extérieur de la phase. A 90°, la profondeur de niveau zéro est d'environ 6 dB. La profondeur est comparée au signal maximal contigu le plus proche dans la réponse à balayage de fréquence (ou balayage en hauteur d'une antenne à une fréquence fixe).

Note 2 à l'article: L'inclinaison du niveau de signal sur l'axe de visée pour certaines antennes DRH est parfois appelée niveau zéro. Cette définition ne s'applique pas à ce type d'inclinaison.

Note 3 à l'article: L'IEC 60050-726:1982, 726-02-07 définit le nœud (d'une onde stationnaire) comme étant lieu des points d'un milieu de propagation où, lorsque deux ondes produisent une onde stationnaire, la somme vectorielle des valeurs, pour ces deux ondes, d'une même grandeur de champ spécifiée a un module minimal.

### 3.1.18

#### site d'essai en quasi espace libre

installation pour les mesures des perturbations rayonnées, destinée à réaliser des conditions d'espace libre

Note 1 à l'article: Les réflexions indésirables provenant de l'environnement sont maintenues à un niveau minimal afin de satisfaire au critère d'acceptation de site applicable à la mesure des perturbations rayonnées prise en compte.

### 3.1.19

#### emplacement d'essai de référence

REFTS

emplacement d'essai en espace libre à plan de sol métallique présentant un affaiblissement de site en polarisation horizontale et verticale du champ électrique très précisément spécifié

Note 1 à l'article: Les mesures d'affaiblissement d'emplacement d'un REFTS sont utilisées pour la comparaison avec les mesures correspondantes d'affaiblissement d'emplacement d'un emplacement d'essai de conformité, afin d'évaluer les performances de l'emplacement d'essai de conformité.

Note 2 à l'article: L'abréviation "REFTS" est dérivée du terme anglais développé correspondant "REFerence Test Site".

**3.1.20****coefficient de réflexion**

rapport d'une grandeur commune entre ondes progressives réfléchies et incidentes

Note 1 à l'article: Ainsi, le coefficient de réflexion en tension est défini comme le rapport de la tension complexe de l'onde réfléchie sur la tension complexe de l'onde incidente. Le coefficient de réflexion en tension est égal au paramètre de dispersion  $S_{11}$ .

**3.1.21****antenne doublet résonante**

antenne doublet accordée

antenne composée de deux conducteurs droits et colinéaires de même longueur, placés bout à bout, séparés par un petit espacement composant une alimentation équilibrée, chacun des conducteurs ayant une longueur d'environ un quart de longueur d'onde de telle sorte qu'à la fréquence spécifiée, l'impédance d'entrée de l'antenne mesurée de part et d'autre de l'espacement présente une réactance nulle quand le doublet est situé en espace libre

**3.1.22****paramètres de dispersion**

paramètres  $S$

jeu de quatre paramètres utilisés pour décrire les propriétés d'un réseau à deux accès inséré dans une ligne de transmission

**3.1.23****chambre semi-anéchoïque**

SAC

enceinte protégée dans laquelle cinq des six surfaces intérieures sont garnies d'un matériau absorbant l'énergie aux fréquences radioélectriques (c'est-à-dire un absorbeur RF) qui absorbe l'énergie électromagnétique dans la gamme de fréquences concernée et dont la surface horizontale inférieure est un plan de sol conducteur destiné à être utilisé avec un équipement d'essai OATS

Note 1 à l'article: L'abréviation "SAC" est dérivée du terme anglais développé correspondant "Semi-Anechoic Chamber".

**3.1.24****méthode d'étalonnage "short-open-load-through"**

SOLT

méthode d'étalonnage "through-open-short-match"

TOSM

méthode d'étalonnage pour analyseur de réseau vectoriel utilisant trois impédances de référence connues – court-circuit, circuit ouvert, et charge adaptée, et une norme de transmission unique – connexion directe

Note 1 à l'article: La méthode SOLT est largement utilisée et les kits d'étalonnage nécessaires avec des composants d'impédance caractéristique de  $50 \Omega$  sont très répandus. Un modèle complet de correction d'erreur pour deux accès comprend six termes d'erreur pour chacune des voies, transmission et réflexion, soient douze termes d'erreur distincts au total, ce qui exige douze mesures de référence pour réaliser l'étalonnage.

Note 2 à l'article: L'abréviation "SOLT" est dérivée du terme anglais développé correspondant "short-open-load-through".

Note 3 à l'article: L'abréviation "TOSM" est dérivée du terme anglais développé correspondant "through-open-short-match".

**3.1.25****affaiblissement de l'emplacement**

SA

$A_s$

perte d'insertion d'emplacement minimale mesurée entre deux antennes adaptées en polarisation situées à un emplacement d'essai lorsqu'une antenne est déplacée verticalement sur une plage de hauteurs spécifiée et que l'autre est placée à une hauteur fixe

Note 1 à l'article: Les termes "perte d'insertion de l'emplacement" (voir 3.1.26) et "affaiblissement de l'emplacement" décrivent essentiellement la même mesure. Toutefois, le terme "affaiblissement de l'emplacement" (SA) est utilisé dans le cadre d'une recherche d'une "perte d'insertion de l'emplacement" (SIL) minimal entre une paire d'antennes lorsqu'une antenne a été analysée à une certaine hauteur au-dessus du plan de sol.

Note 2 à l'article: L'abréviation "SA" est dérivée du terme anglais développé correspondant "Site Attenuation".

### 3.1.26

#### **perte d'insertion de l'emplacement**

SIL

$A_i$

perte de transmission entre deux antennes adaptées en polarisation lorsqu'une connexion électrique directe entre la sortie du générateur de signal et l'entrée du récepteur de mesure est remplacée par une antenne d'émission et une antenne de réception placées aux positions spécifiées sur un emplacement d'essai

Note 1 à l'article: L'abréviation "SIL" est dérivée du terme anglais développé correspondant "Site Insertion Loss".

### 3.1.27

#### **volume d'essai**

volume validé à l'intérieur d'un dispositif d'essai dans lequel un EUT (appareil en essai) peut être placé

Note 1 à l'article: Les procédures de validation fournies dans le présent document permettent de déterminer le volume d'essai.

Note 2 à l'article: Le volume d'essai tel qu'il est défini dans le présent document est de forme cylindrique. Des formes différentes ont été définies dans d'autres documents, par exemple une forme cubique dans l'IEC 61000-4-20 [22] (guides d'onde TEM).

### 3.1.28

#### **étalonnage "through-reflect-line" (TRL)**

méthode d'étalonnage pour un analyseur de réseau vectoriel utilisant trois références d'impédance connues "de transmission", "de réflexion" et "de ligne" pour l'étalonnage interne ou externe du VNA (analyseur de réseau vectoriel)

Note 1 à l'article: Quatre mesures de référence sont nécessaires pour cet étalonnage.

Note 2 à l'article: L'abréviation "TRL" est dérivée du terme anglais développé correspondant "through-reflect-line".

### 3.1.29

#### **analyseur de réseau vectoriel**

VNA

analyseur de réseau capable de mesurer des valeurs complexes des quatre paramètres  $S_{11}$ ,  $S_{12}$ ,  $S_{21}$ ,  $S_{22}$

Note 1 à l'article: L'abréviation "VNA" est dérivée du terme anglais développé correspondant "Vector Network Analyzer".

## 3.2 Termes abrégés

La liste suivante définit les abréviations utilisées dans le présent document qui ne sont pas déjà définies en 3.1.

|        |                                                                       |
|--------|-----------------------------------------------------------------------|
| AUT    | antenna under test (antenne en essai)                                 |
| DRH    | double ridged horn (cornet à double strie)                            |
| EUT    | equipment under test (matériel en essai)                              |
| FSOATS | free-space OATS (emplacement d'essai en zone dégagée en espace libre) |
| PH     | polarisation horizontale                                              |

|            |                                                                                              |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| LLA        | large-loop antenna (antenne de grand diamètre)                                               |
| LLAS       | large-loop antenna system (système de grande antenne-cadre)                                  |
| LPDA       | log-periodic dipole array (réseau de doublets log-périodiques)                               |
| NSA        | normalised site attenuation (affaiblissement normalisé de l'emplacement)                     |
| OATS       | open-area test site (emplacement d'essai en espace libre)                                    |
| PDF        | probability density function (fonction de densité de probabilité)                            |
| RF         | radiofréquence                                                                               |
| RSM        | reference site method (méthode de site de référence)                                         |
| RX         | receive (réception)                                                                          |
| $S_{VSWR}$ | site voltage standing wave ratio (rapport d'ondes stationnaires en tension de l'emplacement) |
| TX         | transmit (émission)                                                                          |
| VP         | vertical polarization (polarisation verticale)                                               |
| ROS        | rapport d'ondes stationnaires en tension                                                     |
| XP         | cross polarization (polarisation croisée)                                                    |

## 4 Antennes pour la mesure des perturbations radioélectriques rayonnées

### 4.1 Généralités

Des antennes du type de celles qui sont utilisées pour les mesures des perturbations rayonnées, ayant été étalonnées, doivent être utilisées pour mesurer le champ, en tenant compte de leurs diagrammes de rayonnement et du couplage mutuel avec leurs environnements. L'antenne et les circuits insérés entre elle et le récepteur de mesure ne doivent pas affecter de manière appréciable les caractéristiques globales du récepteur de mesure. Lorsque l'antenne est connectée au récepteur de mesure, le système de mesure doit être conforme aux exigences de bande passante de la CISPR 16-1-1 pour la bande de fréquences concernée.

L'antenne doit être polarisée linéairement. Elle doit être orientable de façon à pouvoir effectuer la mesure du rayonnement incident suivant toutes les directions de polarisation. La hauteur du centre de l'antenne au-dessus du sol ou au-dessus de l'absorbant dans une FAR peut devoir être réglable pour répondre à une procédure de mesure spécifique.

La précision de mesure de champ d'un champ uniforme d'un signal sinusoïdal doit être meilleure que  $\pm 3$  dB lorsqu'on utilise une antenne conforme aux exigences du présent paragraphe avec un récepteur de mesure conforme aux exigences de la CISPR 16-1-1.

NOTE Cette exigence ne comprend pas l'influence de l'emplacement d'essai.

Voir Annexe A pour plus d'informations sur les paramètres des antennes à large bande.

## 4.2 Paramètre physique (mesurande) pour les mesures des perturbations rayonnées

Le paramètre physique, pour les mesures des perturbations rayonnées faites par rapport à une limite de perturbation exprimée en volts par mètre est l'intensité du champ électrique mesuré en un point défini de l'espace par rapport à la position de l'appareil en essai (EUT). De manière plus spécifique, pour les mesures dans la gamme de fréquences de 30 MHz à 1 000 MHz sur un emplacement d'essai en zone dégagée (OATS) ou dans une chambre semi-anéchoïque (SAC), la grandeur à mesurer est le champ maximal en fonction des polarisations horizontale et verticale et à des hauteurs comprises entre 1 m et 4 m, et à une distance horizontale de 10 m de l'EUT, tandis que l'EUT subit une rotation selon tous les angles du plan azimutal.

## 4.3 Antennes pour la plage de fréquences comprises entre 9 kHz et 150 kHz

### 4.3.1 Généralités

L'expérience a montré que, dans cette gamme de fréquences, c'est la composante magnétique du champ qui est à l'origine de la plupart des perturbations observées.

### 4.3.2 Antenne à champ magnétique

Pour la mesure de la composante magnétique du rayonnement, une antenne cadre blindée électriquement de dimensions telles que l'antenne puisse s'inscrire entièrement dans un carré de 60 cm de côté, ou bien une antenne appropriée à bâtonnets de ferrite, peut être utilisée.

L'unité de champ magnétique est le  $\mu\text{A/m}$ . En unités logarithmiques,  $H$  est exprimé en dB ( $\mu\text{A/m}$ ), soit 20 fois le logarithme du niveau de champ mesuré. La limite de perturbation associée doit être exprimée dans les mêmes unités.

NOTE Des mesures directes de la composante magnétique du champ rayonné, en dB ( $\mu\text{A/m}$ ) ou en  $\mu\text{A/m}$ , peuvent être effectuées dans toutes les conditions, c'est-à-dire en champ proche ou en champ lointain. Toutefois, de nombreux récepteurs de mesure de champ sont étalonnés par rapport au champ électrique équivalent pour une onde plane en dB ( $\mu\text{V/m}$ ), c'est-à-dire en prenant pour hypothèse un rapport des composantes  $E$  et  $H$  de  $120 \pi \Omega$  ou  $377 \Omega$ . Les calculs de  $H$  sont les suivants:

$$H = \frac{E}{377 \Omega} \quad (1)$$

où  $H$  est généralement exprimé en  $\mu\text{A/m}$  et  $E$  en  $\mu\text{V/m}$ .

Pour les mesures en dB:

$$H = E - 515 \quad (2)$$

où  $H$  est exprimé en dB ( $\mu\text{A/m}$ ) et  $E$  en dB ( $\mu\text{V/m}$ ).

L'impédance utilisée dans les conversions ci-dessus,  $Z = 377 \Omega$ , avec  $20 \lg Z = 51,5 \text{ dB}(\Omega)$ , est une constante provenant de l'étalonnage des appareils de mesure de champ indiquant le champ magnétique en  $\mu\text{V/m}$  (ou en dB( $\mu\text{V/m}$ )).

### 4.3.3 Blindage de l'antenne cadre

Un blindage inapproprié d'une antenne cadre peut donner lieu à une réponse de champ électrique. La discrimination du champ électrique de l'antenne doit être évaluée par une rotation de l'antenne dans un champ uniforme, de manière que le plan du cadre reste parallèle au vecteur du champ électrique. Lorsque le plan de l'antenne cadre est perpendiculaire au flux magnétique et qu'ensuite l'antenne subit une rotation de manière que son plan soit parallèle au flux magnétique, la réponse mesurée doit décroître d'au moins 20 dB.



#### 4.4 Antennes pour la plage de fréquences comprises entre 150 kHz et 30 MHz

##### 4.4.1 Antenne à champ électrique

Pour la mesure de la composante électrique du rayonnement, une antenne symétrique ou dissymétrique peut être utilisée. Si une antenne dissymétrique est utilisée, la mesure se rapporte uniquement à l'effet du champ électrique sur une antenne unipolaire (fouet). Le type d'antenne utilisé doit être indiqué en même temps que le résultat des mesures.

Les informations relatives au calcul des caractéristiques de performance d'une antenne unipolaire (fouet) et à la caractérisation de son réseau d'adaptation sont données dans la CISPR 16-1-6. La CISPR 16-1-6 indique que le facteur d'antenne obtenu avec la méthode Equivalent Capacitance Substitution Method (substitution d'une capacité équivalente) (ECSM) présente des incertitudes plus élevées pour les longueurs unipolaires supérieures à un huitième de longueur d'onde.

L'unité de champ électrique doit être le  $\mu\text{V/m}$ . En unités logarithmiques,  $E$  doit être exprimé en dB ( $\mu\text{V/m}$ ), soit 20 fois le logarithme du niveau de champ mesuré. La limite de perturbation associée doit être exprimée dans les mêmes unités.

##### 4.4.2 Antenne à champ magnétique

Pour la mesure de la composante magnétique du rayonnement, l'antenne cadre blindée électriquement décrite en 4.3.2 doit être utilisée.

NOTE Les antennes cadres accordées, électriquement symétriques, peuvent être utilisées pour effectuer des mesures pour des champs magnétiques aussi faibles que  $-51,5$  dB ( $\mu\text{A/m}$ ) en utilisant une détection QP dans la gamme de fréquences de 1,6 MHz à 30 MHz, c'est-à-dire plus faibles que les antennes cadres non accordées, électriquement blindées, où le niveau de bruit est approximativement 25 dB plus grand.

##### 4.4.3 Symétrisation et discrimination du champ électrique des antennes

Si une antenne à champ électrique symétrique est utilisée, elle doit satisfaire aux exigences de 4.5.4. Si une antenne à champ magnétique symétrique est utilisée, elle doit satisfaire aux exigences de 4.3.3.

#### 4.5 Antennes pour la plage de fréquences comprises entre 30 MHz et 1 000 MHz

##### 4.5.1 Généralités

Dans cette gamme de fréquences, les mesures concernent l'intensité du champ électrique, c'est pourquoi les antennes à champ magnétique ne sont pas incluses. L'antenne doit être une antenne analogue à un doublet conçue pour mesurer l'intensité du champ électrique, et le facteur d'antenne en espace libre doit être utilisé. Les types d'antennes comprennent:

- des antennes doublet accordées dont les paires d'éléments sont soit des fouets droits soit de forme conique;
- des doublets réseau comme les antennes réseau de doublets log-périodiques (LPDA), comprenant une série de jeux échelonnés d'éléments de fouet droit;
- des antennes hybrides.

##### 4.5.2 Antenne à faible incertitude pour utilisation en cas de non-conformité présumée des limites d'intensité du champ électrique

Pour diminuer l'incertitude de mesure, il est préférable d'utiliser l'intensité de champ électrique mesurée par une antenne biconique type ou par une antenne LPDA, en particulier par rapport à celle mesurée par des antennes hybrides. Les antennes types biconiques et LPDA sont définies dans l'Annexe A, et seules les antennes étalonnées doivent être utilisées.



NOTE 1 Des incertitudes améliorées sont obtenues en utilisant une antenne biconique dans la gamme de fréquences de 30 MHz à 250 MHz et une antenne LPDA dans la gamme de fréquences de 250 MHz à 1 GHz. Sinon, une fréquence de transfert de 200 MHz peut être utilisée, mais les incertitudes dues aux variations de centre de phase de la LPDA seront supérieures.

NOTE 2 L'incertitude de mesure des perturbations rayonnées provenant d'un EUT dépend de nombreux facteurs d'influence différents comme la qualité de l'emplacement, l'incertitude du facteur d'antenne, le type d'antenne et les caractéristiques du récepteur de mesure. La raison qui prévaut à la définition d'antennes à faible incertitude est de limiter d'autres influences d'antenne sur l'incertitude de mesure, comme l'effet du couplage mutuel avec un plan de sol, le diagramme de rayonnement par rapport au balayage de la hauteur et à la position variable du centre de phase. La vérification des effets de ces influences est réalisée en comparant les valeurs lues des deux antennes à la fréquence de commutation choisie, dont il convient qu'elle donne la même valeur pour l'intensité du champ électrique dans les limites d'une marge de  $\pm 1$  dB.

#### 4.5.3 Caractéristiques d'antenne

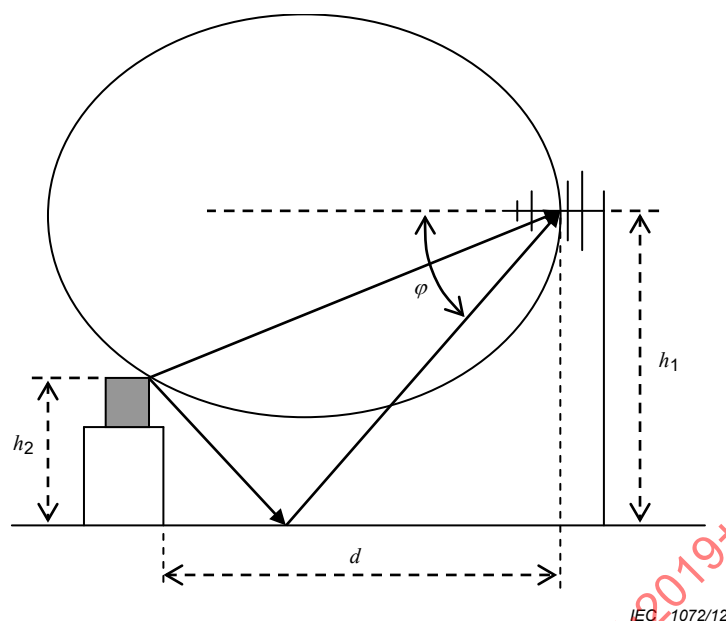
Étant donné que la sensibilité d'un doublet simple est faible pour la plage de fréquences comprises entre 300 MHz et 1 000 MHz, une antenne plus complexe peut être utilisée. Une telle antenne doit avoir les caractéristiques suivantes:

- a) L'antenne doit être polarisée linéairement, ce qui doit être contrôlé en appliquant la procédure d'essai de polarisation croisée de 4.5.5.
- b) Les antennes à doublets symétriques, comme les doublets accordés et les antennes biconiques, doivent présenter des performances de symétriseur validées, ce qui doit être contrôlé en appliquant la procédure d'essai de symétrie de 4.5.4. Cette exigence s'applique aussi aux antennes hybrides en dessous de 200 MHz.
- c) L'affaiblissement de réflexion de l'antenne avec le câble d'alimentation de l'antenne connecté ne doit pas être inférieur à 10 dB. Un atténuateur d'adaptation peut être intégré au câble d'alimentation des antennes si cela s'avère nécessaire pour satisfaire à cette exigence.
- d) Un facteur d'antenne (FA) doit être indiqué pour permettre de satisfaire aux exigences d'exactitude de 4.1.

Pour tenir compte de la directivité des antennes: est retenu pour hypothèse un site d'essai avec un plan de sol conducteur, aux fins de la description des caractéristiques d'antenne suivantes. L'amplitude du signal reçu est réduite si l'un ou l'autre signal ou les deux signaux direct et réfléchi par le sol de l'EUT vers l'antenne n'entrent pas dans le lobe principal du diagramme de rayonnement de l'antenne à sa valeur de crête. La valeur de crête est habituellement dans le sens de l'axe de visée de l'antenne. Cette réduction de l'amplitude est prise en compte comme une erreur dans le résultat de mesure de la perturbation rayonnée: la tolérance d'incertitude qui s'ensuit est fondée sur la largeur de faisceau,  $2\phi$ , (voir Figure 1).

Les conditions pour s'assurer que cette erreur n'est pas supérieure à +1 dB sont données au point 1) pour un emplacement de 10 m et au point 2) pour un emplacement de 3 m. En variante, une condition fondée sur le gain d'antenne est donnée au point 3) à la place des conditions rigoureuses du diagramme de rayonnement.

Des mesures de perturbation rayonnée sont réalisées tour à tour avec l'antenne en polarisation horizontale et verticale. Si, par choix, les diagrammes de rayonnement sont mesurés dans un seul plan, les résultats des diagrammes montrant les faisceaux les plus étroits doivent être utilisés, à condition que le diagramme de l'antenne soit vérifié dans le plan horizontal lorsque celle-ci est orientée en polarisation horizontale.



NOTE Les paramètres sont définis dans l'Equation (4).

**Figure 1 – Représentation schématique du rayonnement de l'EUT atteignant une antenne LPDA directement et via réflexion sur le sol à un emplacement de 3 m, présentant la moitié de l'angle d'ouverture de faisceau,  $\varphi$ , au niveau du rayon réfléchi**

- 1) Pour un OATS de 10 m ou une SAC, la réponse de l'antenne en direction du rayon direct diffère de façon négligeable de l'amplitude suivant l'axe de visée, lorsque l'antenne est alignée de sorte que son axe de visée soit parallèle au plan de sol. La composante de directivité de l'incertitude dans la mesure des perturbations peut être maintenue inférieure à +1 dB si la réponse de l'antenne en direction du rayon réfléchi n'est pas inférieure de plus de 2 dB à la réponse suivant l'axe de visée de l'antenne. Afin de vérifier cette condition, l'ouverture totale du faisceau vertical  $2\varphi$  de l'antenne de mesure, à l'intérieur de laquelle le gain d'antenne reste inférieur à 2 dB de sa valeur maximale, doit être telle que:

$$\varphi > \tan^{-1} \frac{h_1 + h_2}{d} \quad (3)$$

- 2) Pour des sites avec une séparation inférieure à 10 m, généralement de 3 m, l'ouverture totale du faisceau vertical  $2\varphi$  de l'antenne de mesure, à l'intérieur de laquelle le gain d'antenne reste inférieur à 1 dB de sa valeur maximale, doit être telle que:

$$2\varphi > \left( \tan^{-1} \frac{h_1 + h_2}{d} \right) - \left( \tan^{-1} \frac{h_1 - h_2}{d} \right) \quad (4)$$

où

$h_2$  est la hauteur de l'appareil en essai;

$h_1$  est la hauteur de l'antenne de mesure;

$d$  est la distance horizontale entre le centre de phase de l'antenne de mesure et le dispositif en essai.

L'inclinaison de l'antenne vers le bas peut réduire les incertitudes associées; si elle n'est pas utilisée, la diminution du signal reçu doit être calculée à partir des diagrammes de rayonnement et appliquée comme correction avec incertitude de directivité associée. Des exemples de bilans d'incertitude sont donnés dans la CISPR 16-4-2.

NOTE 1 En retenant pour hypothèse un diagramme de rayonnement de plan E normalisé à la valeur unité sur l'axe de visée (= valeur de crête du lobe principal), enregistrer le champ électrique aux angles de déclinaison de l'antenne pour le rayon direct,  $E_D$ , et le rayon réfléchi,  $E_R$ . L'erreur, comparée à un champ électrique d'amplitude unitaire pour chacun des rayons directs et réfléchis, est donnée en décibels par:  $20 \lg [2/(E_D + E_R)]$ .

NOTE 2 La réduction de l'intensité du signal due à une directivité réduite aux angles en dehors de l'axe de visée de l'antenne est une erreur systématique et peut de ce fait être corrigée. Si une correction est appliquée, à partir de la connaissance des diagrammes de rayonnement à chaque fréquence et polarisation, l'incertitude de mesure de l'intensité du signal émis peut être réduite en conséquence.

- 3) Pour les types d'antennes à grande ouverture de faisceau habituellement utilisées pour la mesure des perturbations rayonnées, telles que les antennes biconiques, LPDA et hybrides, l'ouverture de faisceau est inversement liée à la directivité de l'antenne. Une variante du critère fondé sur les ouvertures de faisceau des points 1) et 2) consiste à spécifier le gain maximal d'une antenne, puis à se référer aux tolérances d'incertitude génériques pour la composante de directivité dans le bilan d'incertitudes pour les résultats de la mesure des perturbations. Les incertitudes génériques, fondées sur les ouvertures de faisceaux les plus étroites dans la gamme de fréquences utilisée pour une antenne donnée, figurent dans la CISPR 16-4-2. Le gain isotrope maximal d'antenne pour des antennes biconiques doit être de 2 dB, et il doit être de 8 dB pour les antennes réseau de doublets log-périodiques (LPDA) et les antennes hybrides. Pour les antennes LPDA en V, dont l'ouverture de faisceau dans le plan H est égale à l'ouverture de faisceau dans le plan E, le gain isotrope admis maximal doit être de 9 dB.

#### 4.5.4 Symétrisation de l'antenne

##### 4.5.4.1 Généralités

Dans les mesures des perturbations rayonnées, des courants de mode commun (CM) peuvent exister sur le câble relié à l'antenne de réception (câble d'antenne). Ces courants de CM créent eux-mêmes des champs électromagnétiques qui peuvent être captés par l'antenne de réception si le symétriseur n'est pas symétrisé parfaitement. Les résultats de mesure de perturbation rayonnée peuvent de ce fait être influencés.

Les contributions majeures aux courants de CM dans le câble d'antenne sont causées par:

- a) l'intensité du champ électrique à mesurer, si ce champ a une composante parallèle au câble d'antenne, et
- b) la conversion du mode différentiel (DM) du signal d'antenne (signal utile) en un signal CM du fait de l'imperfection du symétriseur de l'antenne de réception.

En général, les antennes LPDA ne présentent pas une conversion DM/CM (mode différentiel en mode commun) significative. Par conséquent, les vérifications qui suivent s'appliquent aux doublets et aux antennes biconiques sur toute la gamme de fréquences d'exploitation, et aux antennes hybrides sur la gamme de fréquences de la section du doublet à large bande (dans la plupart des cas de 30 MHz à 200 MHz).

##### 4.5.4.2 Vérification de la conversion de mode différentiel en mode commun (DM/CM) du symétriseur

La méthode suivante décrit la mesure de deux tensions,  $V_1$  et  $V_2$ . Le rapport de ces tensions, exprimées dans la même unité, par exemple en  $\mu V$ , est une mesure de la conversion DM/CM (également baptisée déséquilibre du symétriseur, symétrie du symétriseur, ou symétrie de l'antenne).

- a) Placer l'antenne de réception en essai en polarisation verticale, la hauteur de son centre étant de 1,0 m au-dessus du plan de masse d'un OATS ou d'une SAC. La pointe de l'antenne doit se situer à au moins 0,25 m au-dessus du plan de masse. Sortir une longueur de  $1,5 \text{ m} \pm 0,1 \text{ m}$  de câble d'antenne horizontalement derrière l'élément actif arrière de l'antenne de réception à une hauteur de 1,0 m au-dessus du plan de masse et la laisser ensuite tomber verticalement sur le plan de masse.

- b) Pour une caractérisation normale du déséquilibre de l'antenne de réception, placer une deuxième antenne (d'émission) en polarisation verticale à une distance horizontale de 10 m du centre de l'AUT. Le centre de l'antenne d'émission doit être à une hauteur de 1,0 m au-dessus du plan de masse et sa pointe doit se situer à au moins 0,25 m au-dessus du plan de masse. L'antenne d'émission doit être polarisée linéairement et avoir une réjection de polarisation croisée supérieure à 20 dB dans la gamme de fréquences de l'essai du symétriseur. Pour une gamme de fréquences au-dessus de 200 MHz, la hauteur de l'antenne d'émission doit varier pour éviter les niveaux nuls de la réponse SIL. Des mesures à des distances plus courtes (3 m et 5 m, par exemple) peuvent être effectuées pour déterminer la contribution aux incertitudes du déséquilibre du symétriseur à ces distances.
- c) Connecter une source de signal à l'antenne d'émission (par exemple un générateur de poursuite, ou la sortie source d'un analyseur de réseau). Ensuite, régler le niveau de sortie de cette source de signal de manière à ce que, dans la gamme de fréquences concernée et pour les deux orientations verticales de l'antenne, le rapport signal sur bruit ambiant au niveau du récepteur soit de 34 dB (17 dB pour la détection de valeur moyenne) ou plus.
- d) Enregistrer la tension  $V_1$  au niveau du récepteur dans la gamme de fréquences concernée.
- e) Retourner l'antenne de réception (c'est-à-dire tourner l'antenne de 180°) sans rien changer d'autre dans la disposition d'essai, en particulier le câble de l'antenne de réception, et sans faire varier le réglage de la source de signal.
- f) Enregistrer la tension  $V_2$  au niveau du récepteur dans la gamme de fréquences concernée.
- g) La conversion DM/CM est suffisamment faible si  $|20 \lg (V_1/V_2)| < 1$  dB.

NOTE 1 Pour les besoins des mesures de perturbations rayonnées, si le critère de conversion DM/CM n'est pas respecté, des anneaux de ferrite autour du câble peuvent réduire la conversion DM/CM. Le laboratoire d'essai CEM peut répéter l'essai avec quatre anneaux de ferrite espacés approximativement de 20 cm, en plaçant le premier à moins de 10 cm de l'entrée du symétriseur. Si le critère est respecté en utilisant ces anneaux de ferrite, les anneaux de ferrite s'appliquent aussi au cours des mesures de perturbation réelles. De la même façon, l'interaction du câble peut être réduite en l'étendant de plusieurs mètres horizontalement derrière l'antenne avant de le faire descendre sur le plan de masse.

NOTE 2 Si l'antenne de réception est utilisée dans une FAR, la vérification du rapport DM/CM peut être effectuée dans une telle FAR avec l'antenne de réception à sa position usuelle et l'antenne d'émission à une distance d'au moins 3 m. Les antennes sont mieux placées au centre de la pièce, avec une distance d'isolement derrière les antennes d'au moins 1 m entre la partie verticale du câble et les pointes des absorbants.

NOTE 3 Il est admis que l'emplacement de mesure et son plan de masse conducteur (OATS ou SAC), ou la FAR, soient conformes aux exigences respectives de validation de l'emplacement.

NOTE 4 Il est considéré que la distance horizontale de 1,5 m sur laquelle le câble d'antenne s'étend derrière le centre de l'antenne reste la distance minimale admise pendant les mesures réelles en polarisation verticale des perturbations rayonnées.

NOTE 5 En général, il n'est pas nécessaire de définir strictement l'installation d'essai, car l'effet de déséquilibre est dominé par l'interaction entre l'antenne et la partie du câble d'antenne parallèle aux éléments de l'antenne. De plus, les effets dépendant de l'uniformité du champ incident sur l'antenne de réception dans les installations de mesure de CEM (compatibilité électromagnétique) sur un OATS ou dans une FAR sont beaucoup plus faibles.

NOTE 6 Pour les symétriseurs dont le connecteur de câble de réception est monté sur le côté (à 90° du bras de l'antenne), un connecteur à angle droit peut être utilisé pour réduire le mouvement du câble.

NOTE 7 L'incertitude du résultat de la mesure de la conversion DM/CM du symétriseur est uniquement due à la non linéarité du récepteur, car les autres variables demeurent inchangées lors des mesures  $V_1$  et  $V_2$ . Une non-linéarité inférieure à 0,1 dB dans la gamme  $\pm 1$  dB à partir de l'indication de référence  $V_1$  est assez bonne pour satisfaire le critère de 1 dB.

#### 4.5.5 Réponse de polarisation croisée de l'antenne

Lorsque l'antenne est placée dans un champ électromagnétique à polarisation linéaire, la tension aux bornes, lorsque l'antenne et le champ sont en polarisation croisée, doit être d'au moins 20 dB inférieure à celle en copolarisation. Cette exigence s'applique sur l'ensemble de la gamme de fréquences de 30 MHz à 18 GHz. En pratique, cette exigence n'est parfois pas respectée par certains types d'antennes LPDA pour lesquelles les deux moitiés de chaque

doublent sont décalées, ce qui génère de manière intrinsèque une réponse de polarisation croisée (XPR).

La majorité des essais avec des antennes LPDA s'effectue au-dessus de 200 MHz. Afin d'obtenir des conditions d'espace libre, une chambre entièrement anéchoïque de haute qualité peut être utilisée, ou bien des pylônes supports d'antenne de hauteur suffisante au-dessus du plan de masse en zone dégagée; voir les caractéristiques d'emplacement associées en 6.3.2 du présent document et à l'Article 6 du CISPR 16-1-5:2014. Un champ uniforme doit être appliqué sur toute la longueur efficace de l'AUT. La distance entre le centre de l'AUT et l'antenne d'émission doit être supérieure à une longueur d'onde. Pour une antenne LPDA, la séparation se situe en son point central. Lorsque la fréquence la plus basse est 200 MHz, une séparation fixe de 1,5 m sur l'ensemble de la gamme de fréquences est recommandée.

Régler l'antenne d'émission et l'AUT avec une polarisation verticale et noter l'intensité du signal sur la gamme de fréquences. Faire pivoter l'antenne d'émission de 90° et noter la différence d'intensité du signal par rapport au relevé copolaire.

NOTE Il est nécessaire d'avoir un emplacement de bonne qualité pour appliquer un champ uniforme sur la surface efficace de l'AUT. La discrimination de polarisation croisée procurée par l'onde polarisée linéairement peut être démontrée par une transmission entre deux antennes cornet à gain normal ou deux guides d'onde à extrémité ouverte utilisés comme antennes d'essai, et en vérifiant que la combinaison du défaut de l'emplacement et de la caractéristique de polarisation croisée obtenue avec les antennes d'essai conduit à une suppression de la composante horizontale de plus de 30 dB. Si les défauts de l'emplacement sont très faibles et si les antennes d'essai ont des performances identiques, la réjection de polarisation croisée d'une antenne d'essai est d'environ 6 dB plus faible que celle de la combinaison de couplage de polarisation croisée de la paire d'antennes d'essai. Par exemple, si le niveau combiné de polarisation croisée est de 30 dB, le niveau pour une seule antenne d'essai est de 36 dB. Le critère pour le montage de l'emplacement, y compris la séparation entre les antennes et les performances d'emplacement, est la réalisation d'un niveau combiné de polarisation croisée de 30 dB. Deux antennes cornet à polarisation horizontale, ouvertures avant séparées de 1,5 m, peuvent être installées. La perte d'insertion de l'emplacement (SIL) est relevée sur la gamme de fréquences concernée. L'une des antennes est tournée à 90° de manière à être polarisée verticalement. La variation de SIL soit d'au moins 30 dB fournira un niveau acceptable d'incertitude de mesure. Pour les fréquences inférieures à 1 GHz, des antennes LPDA en V peuvent être utilisées en lieu et place des antennes cornets afin de démontrer l'adéquation de l'emplacement. L'utilisation d'antennes doublets ou biconiques est possible, mais une hauteur d'antenne supérieure serait nécessaire du fait de leurs diagrammes de rayonnement uniformes dans le plan H.

Un signal parasite d'un niveau de 20 dB inférieur à celui du signal souhaité donne une erreur maximale de  $\pm 0,9$  dB sur le signal souhaité. L'erreur maximale intervient lorsque le signal en polarisation croisée est en phase avec le signal copolarisé. Si la XPR de la LPDA est moins bonne que 20 dB, l'opérateur doit calculer l'incertitude et la déclarer avec les résultats. Par exemple, un niveau de polarisation croisée de 14 dB entraîne une incertitude maximale de +1,6 dB à -1,9 dB; la valeur la plus élevée et l'hypothèse d'une distribution rectangulaire doivent être retenues pour calculer l'incertitude-type.

Pour ajouter un signal de 0 dB à un autre de 14 dB, convertir d'abord en tensions relatives en divisant ces valeurs par 20 et en prenant l'antilogarithme. Ajouter ensuite le plus faible signal au signal unité. Prendre le logarithme et multiplier par 20. Le résultat est l'erreur positive en décibels. Répéter le calcul, mais en soustrayant le plus faible signal du signal unité pour obtenir l'erreur négative en décibels.

Pour le calcul de l'incertitude d'une mesure de perturbation rayonnée, si le niveau de signal mesuré avec une polarisation dépasse de 6 dB ou plus celui du signal mesuré avec la polarisation orthogonale, une LPDA dont la XPR n'est que de 14 dB est estimée comme ayant satisfait à la spécification des 20 dB. Si la différence entre les niveaux des signaux en polarisation verticale et en polarisation horizontale est inférieure à 6 dB, l'incertitude supplémentaire doit être calculée si la somme de cette différence et de la XPR est inférieure à 20 dB.

Des réflexions sur l'incertitude de mesure des résultats de mesure de la XPR sont données à l'Annexe H. L'Annexe H fournit un exemple de XPR d'une AUT suffisante pour satisfaire au critère des 20 dB pour la mesure de la XPR.

## 4.6 Antennes pour la plage de fréquences comprises entre 1 GHz et 18 GHz

### 4.6.1 Généralités

La mesure des perturbations rayonnées au-dessus de 1 GHz doit être effectuée en utilisant des antennes étalonnées et polarisées linéairement. Celles-ci comprennent par exemple les antennes LPDA, les antennes cornets à double strie et les antennes cornets à gain normal. Le "faisceau" ou lobe principal du diagramme de toute antenne utilisée doit être suffisamment grand pour inclure l'EUT lorsqu'il est placé à la distance de mesure. La largeur du lobe principal est définie comme la largeur du faisceau de l'antenne à 3 dB, et il convient de fournir des informations permettant de déterminer ce paramètre dans la documentation de l'antenne. Pour les antennes cornet, la condition suivante doit être respectée:

$$d \geq \frac{D^2}{2\lambda} \quad (5)$$

où

$d$  est la distance de mesure (m);

$D$  est la plus grande dimension de l'ouverture de l'antenne (m); et

$\lambda$  est la longueur d'onde en espace libre à la fréquence de mesure (m).

L'exigence de XPR de l'antenne donnée en 4.5.5 s'applique également à la gamme de fréquences de 1 GHz à 18 GHz.

### 4.6.2 Antenne de réception

#### 4.6.2.1 Généralités

L'antenne de réception doit être polarisée linéairement et pour la validation de l'emplacement doit être du même type que celle utilisée pour le mesurage des perturbations provenant d'un EUT

Certains modèles d'antennes peuvent avoir différentes versions et proposer différents diagrammes de rayonnement. Il est conseillé aux utilisateurs de vérifier la condition précédente.

NOTE 1 "Type d'antenne" indique une forme ou un type d'antenne, par exemple une antenne cornet ou une antenne LPDA.

NOTE 2 "Modèle d'antenne" indique le numéro de modèle spécifié par le fabricant.

NOTE 3 "Version" indique le numéro de révision spécifié par le fabricant, le cas échéant, pour un numéro de modèle d'antenne donné.

#### 4.6.2.2 Diagramme de rayonnement de l'antenne de réception

Les diagrammes de rayonnement dans les plans E et H doivent être mesurés par rapport à l'axe de visée de l'antenne. La grandeur à mesurer est le diagramme d'antenne en dB, représenté par un tracé en coordonnées polaires comme à la Figure 2. Il convient que les tracés des diagrammes de rayonnement soient normalisés à 0 dB. L'angle à 0° doit être égal à l'axe de visée mécanique.

Conformément à l'Annexe I de la CISPR 16-1-6:2014/AMD1:2016, les diagrammes de rayonnement de chaque antenne individuelle dans les plans E et H doivent être enregistrés sur une plage de fréquences avec un pas de fréquence inférieur ou égal à 500 MHz.

Les résultats d'essais de type, incluant les données statistiques, fournis par le fabricant peuvent être utilisés pour prouver que les exigences relatives au diagramme de rayonnement

de l'antenne de réception sont respectées. Des mesures de service doivent être prises pour assurer la stabilité du diagramme pendant la durée de vie de l'antenne.

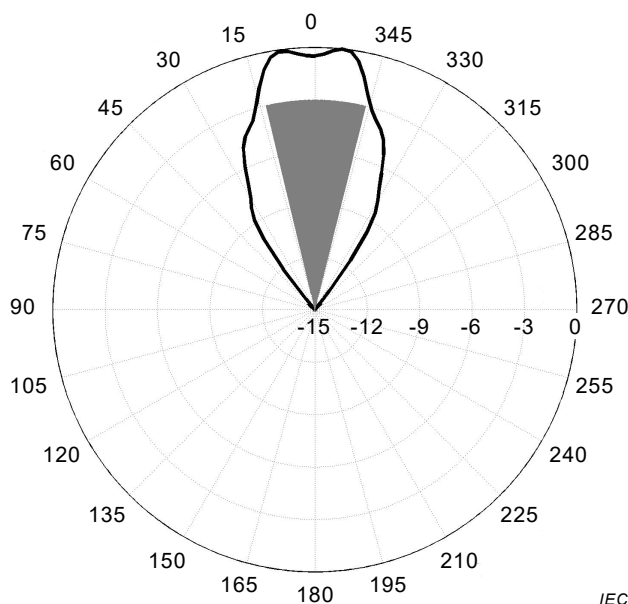


**Figure 2 – Exemple de diagramme de rayonnement dans le plan E d'une antenne RX dans la zone limite grisée pour une distance de 3 m et un EUT d'une largeur de 2 m**

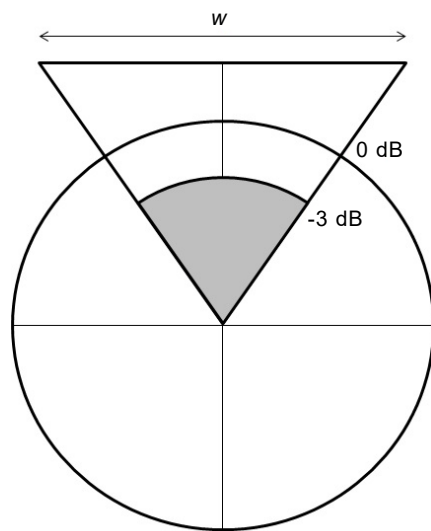
NOTE En général, la direction de l'axe de visée est la direction du rayonnement maximal de l'antenne. Toutefois, il peut arriver que le diagramme présente deux valeurs de rayonnement maximal et qu'aucun de ces rayonnements de valeur maximale ne soit dans la direction de l'axe de visée mécanique, comme représenté à la Figure 2.

#### **4.6.2.3 Exigences relatives au diagramme de rayonnement de l'antenne de réception**

Les zones grisées des tracés en coordonnées polaires représentées dans les Figures 3 et 4 sont définies par la hauteur maximale,  $h$ , et par la largeur maximale,  $w$ , de l'EUT et par la distance d'essai,  $d$ .

Pour que l'antenne de réception illumine l'EUT de façon suffisante, l'ouverture de faisceau à mi-puissance de l'antenne de réception ne doit pas se trouver dans la zone grisée des plans E et H des coupes de diagrammes représentées aux Figures 3 et 4.

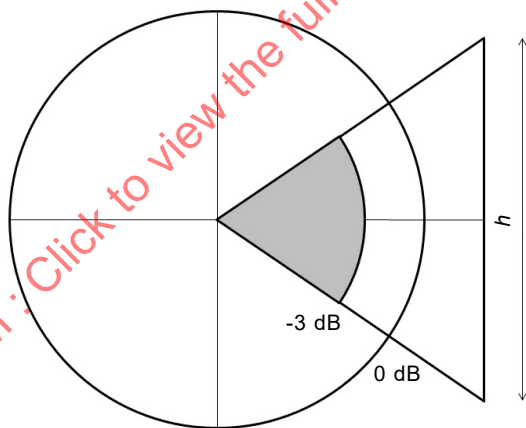




$w$  = largeur maximale de l'EUT

IEC

**Figure 3 – Détermination de la largeur maximale exploitable de l'EUT dans le cadre de l'utilisation de l'ouverture de faisceau à mi-puissance**



$h$  = hauteur maximale de l'EUT

IEC

**Figure 4 – Détermination de la hauteur maximale exploitable de l'EUT dans le cadre de l'utilisation de l'ouverture de faisceau à mi-puissance**



#### **4.7 Montages d'antennes particuliers – Système d'antennes de grand diamètre**

Dans la gamme de fréquences de 9 kHz à 30 MHz, le pouvoir perturbateur de la composante magnétique du rayonnement produit par un EUT unique peut être déterminé au moyen d'un système d'antennes de grand diamètre (LLAS). Dans le LLAS, cette caractéristique est mesurée en courants induits par le champ magnétique dans chaque LLA du LLAS. Le LLAS mesure le courant induit par la composante de champ magnétique d'un EUT unique. Le LLAS permet d'effectuer des mesures à l'intérieur.

Le LLAS se compose de trois antennes circulaires de grand diamètre, de 2 m de diamètre, occupant des plans mutuellement perpendiculaires, montées sur un support non métallique. Une description complète du LLAS est donnée à l'Annexe C.

L'EUT doit être placé au centre du LLAS sur une table de support non conductrice. Les dimensions maximales de l'EUT sont limitées de façon que la distance entre l'EUT et chaque cadre du LLAS soit au moins de 0,20 m. Des lignes directrices pour l'acheminement des câbles EUT sont données en C.3 et à la Figure C.6. Les câbles doivent cheminer ensemble et sortir du volume du LLAS dans le même octant du LLAS, à une distance supérieure à 0,4 m de chacun des cadres du LLAS.

Le LLAS peut être placé dans n'importe quel environnement. Le placement à l'intérieur d'une cage de Faraday, d'une SAC, d'une FAR ou d'un OATS protégé contre les intempéries est autorisé. Il est recommandé de placer le LLAS dans un environnement blindé afin d'éliminer les signaux ambiants, et d'améliorer ainsi la sensibilité aux émissions de l'EUT. Une distance minimale de 0,5 m entre le LLAS et toute surface métallique est recommandée. La validation du LLAS doit être effectuée à l'emplacement habituel des mesurages du LLAS, afin de tenir compte de l'influence de l'environnement (voir C.4).

Les trois cadres du LLAS occupant des plans mutuellement perpendiculaires permettent de mesurer le pouvoir perturbateur du champ rayonné dans toutes les polarisations, avec la précision prescrite, sans qu'il soit nécessaire de faire tourner l'EUT ou de modifier l'orientation des cadres du LLAS.

Chacun des trois cadres du LLAS doit être conforme aux exigences de validation données en C.4.

NOTE Des cadres du LLAS circulaires d'un diamètre différent du diamètre normal de 2 m peuvent être utilisés, à condition que leur diamètre  $D \leq 4$  m et que la distance en mètres entre l'EUT et un cadre du LLAS soit d'au moins  $0,10 \times D$ . Les facteurs de conversion à appliquer pour les antennes non normales sont donnés en C.6.

### **5 Emplacements d'essai pour la mesure du champ radioélectrique perturbateur dans la gamme de fréquences de 9 kHz à 30 MHz**

(Vide)

### **6 Emplacements d'essai pour la mesure du champ radioélectrique perturbateur dans la gamme de fréquences de 30 MHz à 1 000 MHz**

#### **6.1 Généralités**

L'environnement doit assurer des résultats de mesure valides et reproductibles du champ perturbateur produit par un EUT. Pour un EUT qui ne peut être soumis à essai que sur son lieu d'utilisation, des dispositions différentes doivent être prises (voir les détails concernant les mesures in situ dans la CISPR 16-2-3).

## 6.2 OATS

### 6.2.1 Généralités

Un OATS est une zone caractérisée par un terrain plat dégagé avec la présence d'un plan de masse conducteur. Pour satisfaire aux exigences de validation du présent document, il est recommandé d'utiliser un plan de sol métallique. Un tel emplacement d'essai doit être exempt de constructions, de lignes électriques, de barrières, d'arbres, etc. et ne pas comporter de câbles, canalisations, etc. enterrés, à l'exception de ceux exigés pour l'alimentation et le fonctionnement de l'EUT. L'Annexe D donne des recommandations spécifiques de construction d'un OATS pour les mesures de champ perturbateur dans la gamme 30 MHz – 1 000 MHz. Les procédures de validation de l'emplacement pour un OATS sont données en 6.6 et en 6.7. L'Annexe F explique les fondements du critère d'acceptabilité.

### 6.2.2 Enceinte de protection contre les intempéries

Une protection contre les intempéries est souhaitable si l'emplacement d'essai est utilisé tout au long de l'année. Une structure de protection contre les intempéries peut soit protéger l'emplacement d'essai entier (y compris l'EUT et l'antenne de mesure de champ) soit l'EUT uniquement. Les matériaux utilisés doivent être transparents au rayonnement RF, afin d'empêcher toute réflexion ou affaiblissement indésirables du champ émis par l'EUT (voir 6.3.1).

La structure de l'enceinte de protection contre les intempéries doit avoir une forme telle qu'elle permette de retirer facilement la neige, la glace ou l'eau. Pour plus d'informations, voir Annexe D.

### 6.2.3 Zone sans obstacle

Pour les emplacements d'essai en zone dégagée, une zone sans obstacle entourant l'EUT et l'antenne de mesure de champ est exigée. La zone sans obstacle doit être exempte de diffuseurs importants des champs électromagnétiques, et doit être suffisamment grande pour que les diffuseurs situés à l'extérieur de la zone sans obstacle aient peu d'effets sur les champs mesurés par l'antenne de mesure de champ. Pour déterminer la conformité d'une zone sans obstacle, des essais de validation de l'emplacement doivent être effectués.

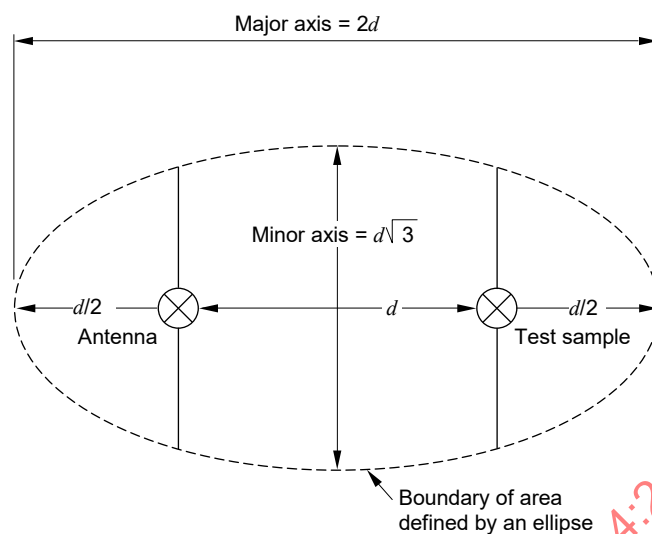
Puisque l'importance de la dispersion du champ par un objet dépend de nombreux facteurs (taille de l'objet, distance le séparant de l'EUT, orientation par rapport à l'EUT, conductivité et permittivité de l'objet, fréquence, etc.), il est impossible de définir une zone sans obstacle raisonnable nécessaire et suffisante pour toutes les applications. Les dimensions et la forme de la zone sans obstacle dépendent de la distance de mesure et du fait que l'EUT tourne ou non. Si l'emplacement est équipé d'une table tournante, la zone sans obstacle recommandée est une ellipse dont les deux foyers sont l'antenne de réception et l'EUT, et dont le grand axe est égal à deux fois la distance de mesure, et le petit axe égal au produit de la distance de mesure par  $\sqrt{3}$  (voir Figure 5).

Pour cette ellipse, la longueur du chemin parcouru par le rayon indirect indésirable réfléchi par tout objet du périmètre est égale à deux fois la longueur du chemin parcouru par le rayon direct entre les foyers. Si un EUT de grandes dimensions est installé sur la table tournante, la zone sans obstacle doit être agrandie de telle manière que les distances de dégagement des obstacles soient établies par rapport au périmètre de l'EUT.

Si l'emplacement n'est pas équipé d'une table tournante, c'est-à-dire si l'EUT est fixe, la zone sans obstacle recommandée est une zone circulaire telle que la distance radiale du bord de l'EUT au bord de la zone est supérieure ou égale à la distance de mesure multipliée par 1,5 (voir Figure 6). Dans ce cas, l'antenne est déplacée autour de l'EUT à la distance de mesure.

Le terrain compris dans la zone sans obstacle doit être plat. De faibles pentes, nécessaires à un drainage adéquat, sont acceptables. La planéité du plan de sol métallique, si l'on en utilise

un, est traitée en D.2. Les appareils de mesure et tout le personnel doivent être situés à l'extérieur de la zone sans obstacle.



IEC 1073/12

| Anglais                                | Français                                   |
|----------------------------------------|--------------------------------------------|
| Major axis                             | Axe majeur                                 |
| Minor axis                             | Axe mineur                                 |
| Antenna                                | Antenne                                    |
| Test sample                            | Echantillon d'essai                        |
| Boundary of area defined by an ellipse | Bord de la surface définie par une ellipse |

**Figure 5 – Zone sans obstacle d'un emplacement d'essai équipé d'une table tournante**