

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



HORIZONTAL STANDARD
NORME HORIZONTALE

Measurement procedure for the assessment of specific absorption rate of human exposure to radio frequency fields from hand-held and body-mounted wireless communication devices –

Part 3: Vector measurement-based systems (Frequency range of 600 MHz to 6 GHz)

Procédure de mesure pour l'évaluation du débit d'absorption spécifique de l'exposition humaine aux champs radiofréquence produits par les dispositifs de communications sans fil tenus à la main ou portés près du corps –

Partie 3: Systèmes basés sur la mesure vectorielle (plage de fréquences comprise entre 600 MHz et 6 GHz)



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2019 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
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

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

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

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

Electropedia - 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

67 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. 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

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

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

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

Electropedia - 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

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

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



HORIZONTAL STANDARD

NORME HORIZONTALE

Measurement procedure for the assessment of specific absorption rate of human exposure to radio frequency fields from hand-held and body-mounted wireless communication devices –

Part 3: Vector measurement-based systems (Frequency range of 600 MHz to 6 GHz)

**Procédure de mesure pour l'évaluation du débit d'absorption spécifique de l'exposition humaine aux champs radiofréquence produits par les dispositifs de communications sans fil tenus à la main ou portés près du corps –
Partie 3: Systèmes basés sur la mesure vectorielle (plage de fréquences comprise entre 600 MHz et 6 GHz)**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 33.060.20

ISBN 978-2-8322-7355-5

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.

CONTENTS

FOREWORD.....	9
INTRODUCTION.....	11
1 Scope.....	12
2 Normative references	12
3 Terms and definitions	13
4 Symbols and abbreviated terms.....	14
5 Overview of the measurement procedure.....	14
6 Measurement system specifications.....	17
6.1 General requirements	17
6.2 Phantom specifications	19
6.2.1 Head phantom specifications – shell	19
6.2.2 Body phantom specifications – shell	19
6.2.3 Tissue-equivalent medium properties.....	19
6.3 Measurement system requirements.....	19
6.3.1 General	19
6.3.2 Scanning measurement system specifications	19
6.3.3 Array measurement system specifications	20
6.4 Device holder specification	21
6.5 Reconstruction algorithm and peak spatial-averaging specifications	22
7 Protocol for SAR assessments	22
7.1 Measurement preparation	22
7.1.1 General	22
7.1.2 Preparation of tissue-equivalent medium	22
7.1.3 System check	23
7.1.4 Preparation of the device under test (DUT).....	23
7.1.5 Operating modes	23
7.1.6 Position of the DUT in relation to the phantom	23
7.1.7 Positions of the DUT in relation to the flat phantom for large DUT	23
7.1.8 Test frequencies for DUT.....	24
7.2 Tests to be performed.....	24
7.3 General measurement procedure.....	25
7.3.1 General	25
7.3.2 Measurement procedure for scanning systems	25
7.3.3 Measurement procedure for array systems	26
7.4 SAR measurements for simultaneous transmission	26
7.4.1 General	26
7.4.2 SAR measurements for uncorrelated signals	27
7.4.3 SAR measurements for correlated signals	31
8 Measurement uncertainty estimation.....	32
8.1 General.....	32
8.2 Requirements on the measurement uncertainty evaluation.....	32
8.3 Description of measurement uncertainty models	33
8.3.1 General	33
8.3.2 Uncertainty models for array measurement system and scanning measurement systems	34
8.3.3 Example uncertainty budget templates	35

9	Measurement report	39
Annex A	(normative) Phantom specifications	40
A.1	SAM phantom specifications	40
A.1.1	Justification	40
A.1.2	SAM phantom geometry.....	40
A.1.3	Tissue-equivalent medium	40
A.2	Flat phantom specifications.....	41
A.3	Specific phantoms.....	42
A.4	Tissue-equivalent medium	43
Annex B	(normative) Calibration and characterization of dosimetric probes.....	44
B.1	General.....	44
B.2	Types of calibration.....	44
B.2.1	Amplitude calibration with analytical fields	44
B.2.2	Amplitude and phase calibration by transfer calibration	45
B.2.3	Amplitude and phase calibration using numerical reference.....	47
Annex C	(informative) Field reconstruction techniques.....	49
C.1	General.....	49
C.2	Objective of field reconstruction techniques	49
C.3	Background.....	49
C.4	Reconstruction techniques	51
C.4.1	Expansion techniques.....	51
C.4.2	Source reconstruction techniques	52
C.4.3	Source base function decomposition.....	52
C.4.4	Phase reconstruction	52
C.5	Source reconstruction and SAR estimation from fields measured outside the phantom.....	53
C.6	Additional considerations for field reconstruction in scanning systems	53
Annex D	(normative) SAR measurement system verification and system validation.....	54
D.1	Objectives and purpose	54
D.1.1	General	54
D.1.2	Objectives and purpose of <i>system check</i>	54
D.1.3	Objectives of <i>system validation</i>	54
D.2	SAR measurement setup and procedure for <i>system check</i> and <i>system validation</i>	55
D.2.1	General	55
D.2.2	Power measurement setups.....	55
D.2.3	Procedure to measure and normalize SAR.....	57
D.2.4	Power measurement uncertainty	59
D.3	<i>System check</i>	61
D.3.1	<i>System check</i> antennas and test conditions.....	61
D.3.2	<i>System check</i> antennas and test conditions for scanning systems	61
D.3.3	<i>System check</i> antennas and test conditions for array systems	61
D.3.4	<i>System check</i> acceptance criteria.....	62
D.4	<i>System validation</i>	62
D.4.1	Validation of array systems and scanning systems	62
D.4.2	Requirements for <i>system validation</i> antennas and test conditions.....	62
D.4.3	Requirements for array systems and scanning systems	62
D.4.4	Test positions for <i>system validation</i>	64
D.4.5	<i>System validation</i> procedure based on peak spatial-average SAR	71

D.4.6	On-site <i>system validation</i> after installation	79
D.4.7	<i>System validation</i> acceptance criteria	80
Annex E	(informative) Interlaboratory comparisons	82
E.1	Purpose	82
E.2	Monitor laboratory	82
E.3	Phantom set-up	82
E.4	Reference devices	82
E.5	Power set-up	83
E.6	Interlaboratory comparison – Procedure	83
Annex F	(normative) <i>System validation</i> antennas	84
F.1	General requirements	84
F.2	Return loss requirements	84
F.3	Standard dipole antenna	85
F.4	VPIFA	88
F.5	2-PEAK CPIFA	90
F.6	Additional antennas	94
Annex G	(normative) SAR calibration of reference antennas	95
G.1	Purpose	95
G.2	Parameters or quantities and ranges to be determined by calibration method	96
G.3	Reference antenna calibration setup	96
G.4	Reference antenna calibration procedure	97
G.4.1	Verification of return loss	97
G.4.2	Calibration of reference antennas, step-by-step procedure	97
G.4.3	Uncertainty budget of reference antenna calibration	98
G.5	Method and uncertainties for the transfer of calibration between two of more antennas of the same type using the array system	102
Annex H	(informative) General considerations on uncertainty estimation	105
H.1	Concept of uncertainty estimation	105
H.2	Type A and Type B evaluations	106
H.3	Degrees of freedom and coverage factor	106
H.4	Combined and expanded uncertainties	107
H.5	Analytical reference functions	108
Annex I	(normative) Evaluation of measurement uncertainty of SAR results from scanning vector measurement-based systems with single probes	111
I.1	Measurement uncertainties to be evaluated by the system manufacturer <i>MM</i>	111
I.1.1	General	111
I.1.2	Calibration <i>CF</i>	111
I.1.3	Isotropy <i>ISO</i>	111
I.1.4	System linearity <i>LIN</i>	112
I.1.5	Sensitivity limit <i>SL</i>	112
I.1.6	Boundary effect <i>BE</i>	112
I.1.7	Readout electronics <i>RE</i>	113
I.1.8	Response time <i>RT</i>	113
I.1.9	Probe positioning <i>PP</i>	113
I.1.10	Sampling error <i>SE</i>	113
I.1.11	Phantom shell <i>PS</i>	114
I.1.12	Tissue-equivalent medium parameters <i>MAT</i>	114
I.1.13	Measurement system immunity/secondary reception <i>MSI</i>	116

I.2	Uncertainty of reconstruction corrections and post-processing to be specified by the manufacturer <i>MN</i>	116
I.2.1	General	116
I.2.2	Evaluation of uncertainty due to reconstruction <i>REC</i>	116
I.2.3	Impact of noise on reconstruction <i>POL</i>	117
I.2.4	SAR averaging <i>SAV</i>	117
I.2.5	SAR scaling <i>SARS</i>	117
I.2.6	SAR correction for deviations in permittivity and conductivity <i>SC</i>	118
I.3	Uncertainties that are dependent on the DUT <i>MD</i>	119
I.3.1	General	119
I.3.2	Probe coupling with the DUT <i>PC</i>	119
I.3.3	Modulation Response <i>MOD</i>	119
I.3.4	Integration time <i>IT</i>	120
I.3.5	Measured SAR drift <i>SD</i>	120
I.4	Uncertainties related to the measurement environment <i>ME</i>	120
I.4.1	General	120
I.4.2	Device holder <i>DH</i>	120
I.4.3	Device positioning <i>DP</i>	121
I.4.4	RF ambient conditions <i>AC</i>	121
I.4.5	Measurement system drift and noise <i>DN</i>	121
I.5	Uncertainties of validation antennas <i>MV</i>	122
I.5.1	General	122
I.5.2	Deviation of experimental antennas <i>DEX</i>	122
I.5.3	Power measurement uncertainty <i>PMU</i>	122
I.5.4	Other uncertainty contributions when using validation antennas <i>OVS</i>	122
Annex J (normative)	Evaluation of the measurement system uncertainty of fixed array or scanning array vector measurement-based systems	123
J.1	Measuring system uncertainties to be evaluated by the manufacturer <i>MM</i>	123
J.1.1	General	123
J.1.2	Calibration <i>CF</i>	123
J.1.3	Isotropy <i>ISO</i>	123
J.1.4	Mutual sensor coupling <i>MSC</i>	124
J.1.5	Scattering due to the presence of the array <i>AS</i>	125
J.1.6	System linearity <i>LIN</i>	126
J.1.7	Sensitivity limit <i>SL</i>	126
J.1.8	Boundary effect <i>BE</i>	126
J.1.9	Readout electronics <i>RE</i>	127
J.1.10	Response time <i>RT</i>	127
J.1.11	Probe position <i>PP</i>	127
J.1.12	Sampling error <i>SE</i>	128
J.1.13	Array boundaries <i>AB</i>	128
J.1.14	Phantom shell <i>PS</i>	129
J.1.15	Tissue-equivalent medium parameters <i>MAT</i>	129
J.1.16	Phantom homogeneity <i>HOM</i>	131
J.1.17	Measurement system immunity/secondary reception <i>MSI</i>	132
J.2	Uncertainty of reconstruction, corrections, and post-processing to be specified by the manufacturer <i>MN</i>	132
J.2.1	General	132
J.2.2	Evaluation of uncertainty due to reconstruction <i>REC</i>	132

J.2.3	Impact of noise on reconstruction <i>POL</i>	132
J.2.4	SAR averaging <i>SAV</i>	132
J.2.5	SAR scaling <i>SARS</i>	132
J.2.6	SAR correction for deviations in permittivity and conductivity <i>SC</i>	132
J.3	Measurement system uncertainties that are dependent on the DUT <i>MD</i>	132
J.3.1	General	132
J.3.2	Probe or probe-array coupling with the DUT <i>PC</i>	132
J.3.3	Modulation response <i>MOD</i>	133
J.3.4	Integration time <i>IT</i>	133
J.3.5	Measurement system drift and noise <i>DN</i>	133
J.4	Uncertainties related to the source or noise <i>ME</i>	133
J.4.1	General	133
J.4.2	Device holder <i>DH</i>	133
J.4.3	Device positioning <i>DP</i>	133
J.4.4	RF ambient conditions <i>AC</i>	134
J.4.5	Measurement system drift and noise <i>DN</i>	134
J.5	Uncertainties of validation antennas <i>MV</i>	134
J.5.1	General	134
J.5.2	Deviation of experimental antennas <i>DEX</i>	134
J.5.3	Power measurement uncertainty <i>PMU</i>	134
J.5.4	Other uncertainty contributions when using validation antennas <i>OVS</i>	134
	Bibliography	135
	Figure 1 – Evaluation plan checklist	15
	Figure 2 – Illustration of the shape and orientation relative to a curved phantom surface of the distorted cubic volume for computing psSAR	22
	Figure 3 – Measurements performed by shifting a large device over the efficient measurement area of the system including overlapping areas – in this case: six tests performed	24
	Figure 4 – Flow chart for SAR measurements of uncorrelated signals at different frequencies using a measurement system able to distinguish between different frequency components (Method 2)	27
	Figure 5 – Illustration of the amplitude spectrum, as function of frequency, for simultaneously transmitted signals of multiple frequency bands emitted by a DUT	28
	Figure 6 – Illustration of a completely covered signal bandwidth B_s by the measurement system analysis bandwidth B_a at single transmission mode	29
	Figure 7 – Illustration of a completely covered signal bandwidths B_{si} (for $i = 2$ to N) by the measurement system analysis bandwidth B_a for simultaneous multiple-frequency transmission mode	29
	Figure 8 – Illustration of a non-coverage of the signal bandwidths B_{si} (for $i = 2$ to N) by the measurement system analysis bandwidth B_a for simultaneous multiple-frequency transmission mode	29
	Figure 9 – Illustration of a partial-coverage of the signal bandwidths B_{si} (for $i = 2$ to N) by the measurement system analysis bandwidth B_a for simultaneous multiple-frequency transmission mode	30
	Figure 10 – Illustration of reduction of the measurement system analysis bandwidth B_a to cover only one signal bandwidth B_{si} (for $i = 1$ to N) for simultaneous multiple-frequency transmission mode	30
	Figure 11 – Illustration of increasing or moving the measurement system analysis bandwidth B_a to cover one or more signal bandwidth B_{si} (for $i = 1$ to N) for simultaneous multiple-frequency transmission mode	30

Figure A.1 – Sagittally-bisected phantom with extended perimeter, used for scanning measurement systems	41
Figure A.2 – Dimensions of the elliptical phantom	42
Figure C.1 – Coordinate system for 2D planar measurement-system	50
Figure C.2 – Generic configuration of SAR measurement system	50
Figure C.3 – Schematic representation of 2D planar measurement-based SAR system and its coordinate system	52
Figure C.4 – Source reconstruction from fields outside a phantom	53
Figure D.1 – Recommended power measurement setup for <i>system check</i> and <i>system validation</i>	56
Figure D.2 – Equipment setup for measurement of forward power P_f and forward coupled power P_{fc}	57
Figure D.3 – Equipment setup for measuring the shorted reverse coupled power P_{rcs}	58
Figure D.4 – Equipment setup for measuring the power with the reference antenna connected	58
Figure D.5 – Port numbering for the S -parameter measurements of the directional coupler	60
Figure D.6 – SAM masks for positioning dipole antennas and VPIFAs on the head phantoms, including holes where the antenna spacer is inserted	65
Figure D.7 – Flat masks for positioning VPIFAs on the flat phantoms, including a hole in the centre where the VPIFA spacer is inserted	66
Figure D.8 – Dipole showing the distance of $s = 15$ mm	67
Figure D.9 – 2-PEAK CPIFA showing the fixed distance of $s = 7$ mm	67
Figure D.10 – VPIFA positioned showing the fixed distance of $s = 2$ mm	68
Figure D.11 – <i>System check</i> and validation locations for the flat phantom	69
Figure D.12 – <i>System check</i> and validation locations for the head phantom	70
Figure D.13 – Definition of rotation angles for dipoles	71
Figure F.1 – Mechanical details of the standard dipole	87
Figure F.2 – VPIFA validation antenna	89
Figure F.3 – 2-PEAK CPIFA at 2 450 MHz	92
Figure F.4 – Detail of the tuning structure and matching structure	93
Figure G.1 – Measurement setup for waveguide calibration of dosimetric probe, and similar setup (same tissue-equivalent liquid, dielectric spacer, power sensors and coupler) for antenna calibration	95
Figure G.2 – Setup for calibration of a reference antenna	96
Figure G.3 – Method for the transfer of calibration between two antennas of the same type using the array system	103
Figure I.1 – Illustration of SAR measurement results during 8 h and the centred moving average	122
Table 1 – Evaluation plan checklist	16
Table 2 – Uncertainty budget template for the evaluation of the measurement system uncertainty of the 1 g or 10 g psSAR to be carried out by the system manufacturer	36
Table 3 – Uncertainty budget template for evaluating the uncertainty in the measured value of 1 g SAR or 10 g SAR from a DUT	37
Table 4 – Uncertainty budget template for evaluating the uncertainty in the measured value of 1 g SAR or 10 g SAR from a validation antenna	38

Table 5 – Uncertainty budget template for evaluating the uncertainty in the measured value of 1 g SAR or 10 g SAR from the <i>system check</i>	39
Table A.1 – Dielectric properties of the tissue-equivalent medium	43
Table B.1 – Uncertainty analysis for single-probe calibration in waveguide	45
Table B.2 – Uncertainty analysis for transfer calibration of array systems	46
Table B.3 – Uncertainty analysis of transfer calibration of array systems	48
Table D.1 – Example of power measurement uncertainty in %	60
Table D.2 – Modulations and multiplexing modes used by radio systems	64
Table D.3 – Peak spatial-average SAR (psSAR) averaged over 1 g and 10 g values for the flat phantom filled with tissue-equivalent medium for the antennas specified in Annex F	72
Table D.4 – Peak spatial-average SAR (psSAR) averaged over 1 g and 10 g values for antenna generating two peaks on the flat phantom filled with tissue-equivalent medium for the antennas specified in Annex F	73
Table D.5 – Peak spatial-average SAR (psSAR) averaged over 1 g and 10 g values on the head left and right phantom for the antennas specified in Annex F	74
Table D.6 – Peak spatial-average SAR (psSAR) averaged over 1 g and 10 g values for antenna generating two peaks on the head left and right phantom for the antennas specified in Annex F. Modulations are as specified in Table D.2.	79
Table D.7 – Set of randomised tests for on-site <i>system validation</i> using flat phantom 1 g and 10 g psSAR, normalized to 1 W forward power, using the antennas specified in Annex F	79
Table D.8 – Set of tests for on-site <i>system validation</i> using left and right head phantoms for 1 g and 10 g psSAR for the antennas specified in Annex F	80
Table F.1 – Return loss values for antennas specified in Annex F and flat phantom filled with tissue-equivalent medium	85
Table F.2 – Mechanical dimensions of the reference dipoles	86
Table F.3 – Dimensions for VPIFA antennas at different frequencies	90
Table F.4 – Dielectric properties of the dielectric layers for VPIFA antennas	90
Table F.5 – Thickness of substrates and planar metallization	93
Table F.6 – Dielectric properties of FR4	93
Table F.7 – Values for the antenna dimensions in Figures F.4 and F.5	94
Table G.1 – Example uncertainty budget for reference dipole antenna calibration for 1 g and 10 g averaged SAR (750 MHz to 3 GHz)	99
Table G.2 – Example uncertainty budget for reference antenna calibration (PIFA) for 1 g and 10 g averaged SAR (750 MHz to 3 GHz)	100
Table G.3 – Example uncertainty budget for reference antenna (dipole) calibration for 1 g and 10 g averaged SAR (3 GHz to 6 GHz)	101
Table G.4 – Example uncertainty budget for the calibration of an antenna using the transfer method, as percentages	104
Table H.1 – Parameters of analytical reference functions and associated reference peak 10 g SAR value	109

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**MEASUREMENT PROCEDURE FOR THE ASSESSMENT
OF SPECIFIC ABSORPTION RATE OF HUMAN EXPOSURE
TO RADIO FREQUENCY FIELDS FROM HAND-HELD AND
BODY-MOUNTED WIRELESS COMMUNICATION DEVICES –****Part 3: Vector measurement-based systems
(Frequency range of 600 MHz to 6 GHz)**

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.

IEC 62209-3 has been prepared by IEC technical committee 106: Methods for the assessment of electric, magnetic and electromagnetic fields associated with human exposure.

The text of this International Standard is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
106/494/FDIS	106/497/RVD

Full information on the voting for the approval of this International Standard can be found in the report on voting indicated in the above table.

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

In this standard, the following print types are used:

- specific test protocols: in *italic* type.

This standard contains attached files in the form of four *.IGS files of inner and outer surfaces for the left and right halves extracted from the CAD model of the SAM phantom (see A.1.2). These files are available in the supporting documents folder at www.iec.ch/tc106/supportingdocuments.

This standard contains attached files for the analytical functions that are to be used for the evaluation of the reconstruction algorithm uncertainty in Table H.1. These files are available in the supporting documents folder at www.iec.ch/tc106/supportingdocuments.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website 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.

INTRODUCTION

This document specifies the requirements for vector measurement-based systems to measure the Specific Absorption Rate (SAR) of devices that are used in close proximity to the human body or head.

Because SAR measurement systems are used for showing compliance with national and international exposure limits, the test procedures have to be standardized. This standardization aims at achieving comparable results for the equipment approval process.

Vector measurement-based systems and the associated protocols can differ from traditional SAR measurement systems and protocols. These systems use more advanced field reconstruction methods, allowing the application of indirect measurement approaches in which the SAR is evaluated in three dimensions from a limited number of measurement points that may be located in a limited part of the volume of interest, or even outside this volume. Such new SAR assessment approaches result in significantly reduced SAR measurement times.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62209-3:2019

MEASUREMENT PROCEDURE FOR THE ASSESSMENT OF SPECIFIC ABSORPTION RATE OF HUMAN EXPOSURE TO RADIO FREQUENCY FIELDS FROM HAND-HELD AND BODY-MOUNTED WIRELESS COMMUNICATION DEVICES –

Part 3: Vector measurement-based systems (Frequency range of 600 MHz to 6 GHz)

1 Scope

This part of IEC 62209 specifies measurement protocols and test procedures for the reproducible measurement of peak spatial-average specific absorption rate (psSAR) induced inside a simplified model of a human head or body by radio-frequency (RF) transmitting devices, with a specified measurement uncertainty. Requirements are provided for psSAR assessment using vector measurement-based systems. Such systems determine the psSAR by three-dimensional (3D) field reconstruction within the volume of interest in accordance with the requirements herein for the measurement system, calibration, uncertainty assessment and validation methods. The protocols and procedures apply for the psSAR assessments covering a significant majority of people including children during use of wireless communication devices operated in close proximity to the head or body.

This document is applicable to wireless communication devices intended to be used at a position near the human head or body at distances up to and including 200 mm. This document may be employed to evaluate SAR compliance of different types of wireless communication devices used next to the ear, in front of the face, mounted on the body, combined with other RF-transmitting or non-transmitting devices or accessories (e.g. belt-clip), or embedded in garments. The overall applicable frequency range is from 600 MHz to 6 GHz.

The *system validation* procedures provided within this document cover frequencies from 600 MHz to 6 GHz.

With a vector measurement-based system this document can be employed to evaluate SAR compliance of different types of wireless communication devices.

The wireless communication device categories covered include but are not limited to mobile telephones, cordless microphones, auxiliary broadcast devices and radio transmitters in personal computers, desktop and laptop devices, multi-band, multi-antenna, and push-to-talk devices.

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.

IEC 62209-1:2016, *Measurement procedure for the assessment of specific absorption rate of human exposure to radio frequency fields from hand-held and body-mounted wireless communication devices – Part 1: Devices used next to the ear (Frequency range of 300 MHz to 6 GHz)*

IEC 62209-2:2010, *Human exposure to radio frequency fields from hand-held and body-mounted wireless communication devices – Human models, instrumentation, and procedures – Part 2: Procedure to determine the specific absorption rate (SAR) for wireless communication devices used in close proximity to the human body (frequency range of 30 MHz to 6 GHz)*

IEC 62479, *Assessment of the compliance of low-power electronic and electrical equipment with the basic restrictions related to human exposure to electromagnetic fields (10 MHz to 300 GHz)*

IEC TR 62630:2010, *Guidance for evaluating exposure from multiple electromagnetic sources*

ISO/IEC Guide 98-1:2009, *Uncertainty of measurement – Part 1: Introduction to the expression of uncertainty in measurement*

ISO/IEC Guide 98-3, *Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)*

IEC/IEEE 62704-1, *Determining the peak spatial-average specific absorption rate (SAR) in the human body from wireless communications devices, 30 MHz to 6 GHz – Part 1: General requirements for using the finite difference time-domain (FDTD) method for SAR calculations*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC 62209-1, IEC 62209-2 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

vector probe

probe that measures both the amplitude and phase of an electric field or a magnetic field

3.2

scalar probe

probe that measures only the amplitude of an electric field or a magnetic field

3.3

vector measurement-based system

system consisting of multiple sensors that together provide information about the amplitude distribution or the amplitude and phase distribution of an electric field or a magnetic fields to reconstruct SAR over a specified volume

Note 1 to entry: Throughout this document the term “measurement system” generally refers to vector measurement-based system.

3.4

analysis bandwidth

<of a signal analyser> maximum frequency span of observation for a system capable of spectral analysis

Note 1 to entry: The analysis bandwidth is generally characterized by a specific flatness (+/- a tolerance) of the responses of the system in the specified range of frequencies.

3.5

array system

array measurement system

vector measurement-based system comprised of multiple vector probe or scalar probe elements that are located at fixed positions on a two-dimensional or three-dimensional regular or irregular grid to obtain the measurement data needed to reconstruct the field within and outside the scanned area and in the region of interest

3.6

scanning system

scanning measurement system

vector measurement-based system comprised of one or more vector probe or scalar probe elements that are physically scanned on a two-dimensional or three-dimensional regular or irregular grid to obtain the measurement data needed to reconstruct the field within and outside the scanned area and in the region of interest with an automatic positioning system capable of placing the measurement probe at specified positions

3.7

volume of interest

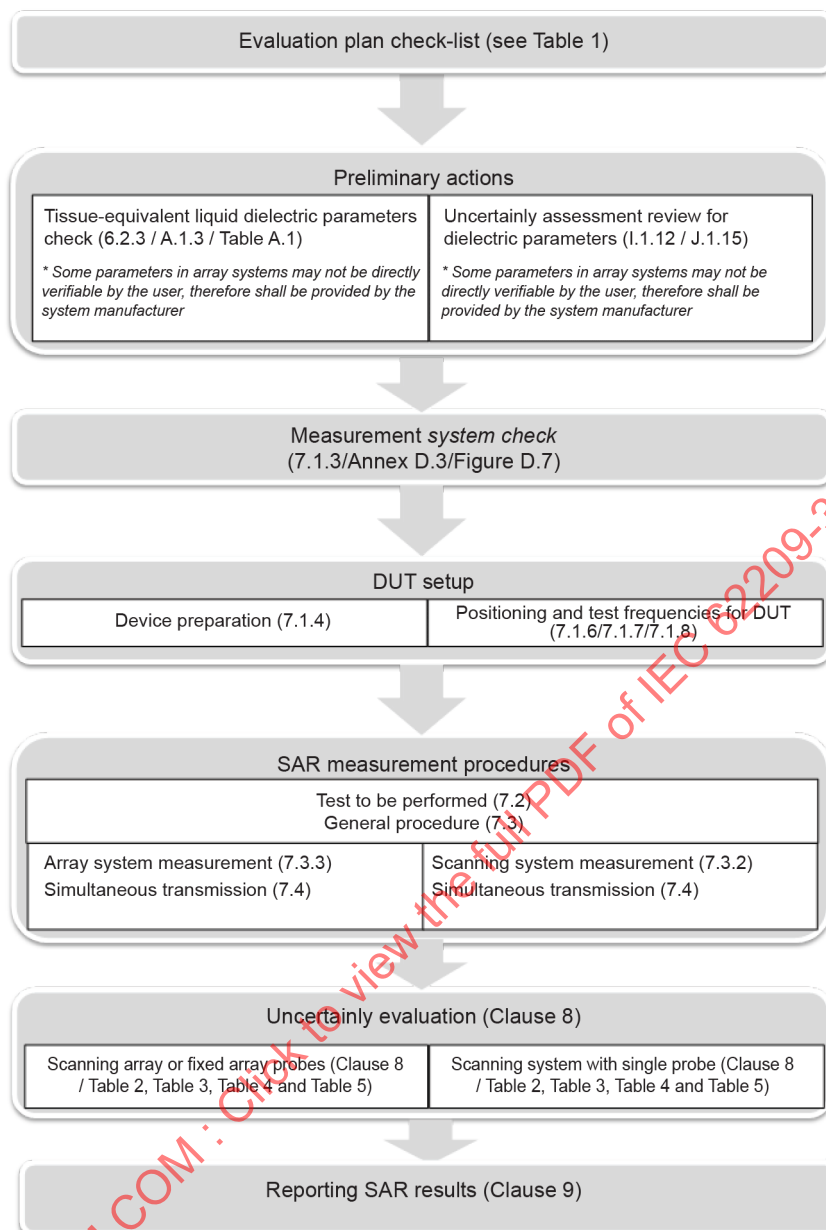
volume described by the specified measurement area on the phantom surface having side walls that are normal to the phantom surface with a height of at least 22 mm, and having a back side parallel to the surface of the phantom

4 Symbols and abbreviated terms

For the purposes of this document, the symbols and abbreviated terms in IEC 62209-1 and IEC 62209-2 apply.

5 Overview of the measurement procedure

The objective of Clause 5 is to give the user of this document a quick overview of the test procedures in this document. The user of the document shall refer to the respective clauses for more details when using the flowchart presented in Figure 1 and the evaluation plan checklist for the the device under test (DUT) in Table 1.



IEC

Figure 1 – Evaluation plan checklist

Table 1 – Evaluation plan checklist

Stage	Evaluation steps	Action
- Evaluation plan check-list - Planning of the measurement configurations	- What type of device is being evaluated? - Review of antenna(s) contained and wireless technologies supported, singly or in combination. - What are the test positions applicable? - Working under laboratory conditions and following good laboratory practice and documentation, prepare to perform the necessary evaluation. - There should be a check that the measurement system meets the system requirements, including validation, reporting of the reconstruction algorithm and reporting of the measurement uncertainty.	Complete check-list based on evaluation plan (Table 1, Figure 1).
Preliminary actions and measurement system check	- A measurement of the tissue-equivalent medium dielectric properties shall be performed for systems with open phantoms, and the result shall be recorded. - Follow individual system protocol and requirements for sealed phantoms. <i>System check</i> shall be performed to verify that system components are working correctly (Clause D.3).	Perform dielectric measurements of tissue-equivalent medium as well as perform <i>system check</i> before starting a project and repeat according to 7.1.3.
- DUT set-up - Preparation of DUT	- The protocol for SAR assessment specifies all the configurations of operational conditions that should be tested. The essential steps include: - Preparing the DUT by establishing a connection to a network simulator. - Configuring the DUT to operate on the appropriate test frequencies. - Positioning the DUT in relation to the phantom.	Ensure the DUT is configured in the correct way and radiating appropriately when positioned against the phantom.
- SAR measurement procedures - General SAR procedure	- This stage is the actual SAR measurement procedure. - The procedure is sequential to ensure that the highest value of the psSAR of a DUT is captured. - This is done by a systematic process looking at all device test positions, configurations and operating modes in all frequency bands accordingly (7.2). - Scanning systems (7.3.2) or array systems (7.3.3) are used. Specific system or implementation techniques are often used to either reduce or accelerate the measurement process.	Determine highest SAR and ensure the rationale for test reduction is recorded and reported when used.
Measurement uncertainty evaluation	- Guidelines and approximation formulas are provided (Clause 8), enabling the estimation of each individual uncertainty component. - The uncertainty budget shall cover the appropriate frequency range with regards to equipment used in the SAR system. - For array systems, see Table 2 to Table 5 (8.3.3).	Evaluate uncertainty contributions and complete the uncertainty analysis.
Reporting SAR results	- The final report describes the results of the evaluations, provides sufficient technical details to allow for repeatability of the evaluations performed and reports the results by comparison with the relevant limit (Clause 9). - The results in the test report can serve as demonstration of conformity with this document.	Prepare the final report and consider the requirements listed in Clause 9.

6 Measurement system specifications

6.1 General requirements

A vector measurement-based system consists of the phantom (a SAM phantom representing the human head and/or a flat phantom representing the human body) filled with tissue-equivalent medium, the electronic measurement instrumentation, one or multiple vector probes and/or scalar probes, a field reconstruction algorithm (Annex C) and DUT holder. The vector measurement-based system may be a scanning system or an array system, and shall meet the following requirements:

- a) The phantoms are filled with the required homogeneous tissue-equivalent medium (6.2.3 and Annex A, also IEC 62209-1 and IEC 62209-2). When scanning probes are used, the tissue-equivalent medium shall be a low-viscosity fluid to allow free movement of the probes in the phantom. For systems using a fixed probe-array specific considerations to ensure long term stability of the tissue-equivalent medium apply (7.1.2).
- b) The psSAR shall be assessed from the SAR distribution induced in the volume of interest from the electromagnetic fields produced by the DUT.
- c) The vector measurement-based system shall reconstruct the SAR in the volume of interest from the electric field (E-field) or magnetic field (H-field) components (amplitude and/or phase) that may be obtained from their direct measurement or through phase retrieval procedures or through other techniques.
- d) The information obtained from the measured fields shall be used to reconstruct the SAR distribution and to determine psSAR with an uncertainty meeting the requirements of this document.
- e) The manufacturer of the measurement system shall validate and document the field reconstruction algorithms.
- f) The measurement system calibration shall be traceable to national standards and with quantified and documented measurement uncertainties. In addition, the systems shall meet the validation requirements specified in Annex D.

The tests shall be performed in a laboratory conforming to the following environmental conditions:

- a) The ambient temperature shall be within the range of 18 °C to 25 °C.
- b) In open phantom systems where tissue-equivalent medium is in direct contact with air, the tissue-equivalent medium dielectric properties shall be verified regularly following the procedures described in IEC 62209-1 and IEC 62209-2.
- c) In hermetically sealed systems, the measurement system manufacturer shall provide either
 - 1) a procedure for the accurate measurement of dielectric properties, or
 - 2) documentation of the dielectric properties and corresponding medium temperature and ambient temperature that were measured for the specific phantom when it was manufactured or during system recalibration.
- d) In hermetically sealed systems, the measurement system manufacturer shall document and make available the information on the stability of the dielectric properties of the tissue-equivalent medium over a period of time that is equal to or greater than the calibration interval of the SAR measurement system.
- e) Prior to measuring tissue-equivalent medium dielectric properties and SAR measurements, the DUT, test equipment, tissue equivalent medium and phantom shall have been kept in the laboratory for their temperatures to have stabilized (i.e., they shall not have been recently moved from another area with a different ambient temperature, such as a refrigerator or storage area).

- f) The temperature of the tissue-equivalent medium at the time of the dielectric properties measurement and during the SAR measurement shall not vary by more than 2 °C or by more than 5 %, in both relative permittivity ϵ_r and conductivity σ according to the temperature sensitivity measurement of the tissue-equivalent medium, whichever temperature range is less (both relative permittivity ϵ_r and conductivity σ shall stay within the tolerance of the targets), unless active temperature compensation is employed by the SAR measurement system. If active temperature compensation is used, the manufacturer of the measurement system shall provide documentation of the temperature measurement and compensation algorithms and the uncertainty of the temperature compensation. See I.1.12.5 and J.1.15.5 to determine the temperature sensitivity uncertainty contributions of the tissue-equivalent medium.
- g) The effect of reflections from cables, test equipment, or other reflectors shall be determined using the SAR system check procedure with and without reflectors present or where necessary with the judicious placement of absorbing materials and/or the use of ferrite beads on cables.
- h) SAR measurements of the DUT shall be performed only when the effects of reflections, secondary RF transmitters, etc., result in a psSAR (for 1 g or 10 g mass, whichever is applicable to the test) of less than 0,012 W/kg by measuring the psSAR at (approximately) 0,4 W/kg (used to establish the above 3 % limit) using the SAR system check procedure. When the effect of cables and reflectors is more than 0,012 W/kg, ferrite beads, RF absorbers and other mitigation techniques shall be applied to reduce the SAR error. If the preceding requirement cannot be achieved, and provided it can be demonstrated that the SAR contribution due to reflections determined by the system check procedure is less than 10 % of the SAR measured for the DUT, then a value higher than 3 % (0,012 W/kg) shall be considered in the uncertainty budget in the “RF ambient conditions” row. The requirement on reflections shall be verified at least every year or whenever the system check shows unexpected results.
- i) During testing the DUT shall not be connected to any wireless network other than a base station simulator in the lab.

System validation according to the full protocol specified in Annex D shall be performed when a new system is put into operation and whenever hardware or software modifications have been made to the system (e.g. updated field reconstruction algorithms, update electronics or updated probe types used in a scanning system). The same validation requirements apply to both scanning systems and array systems. After routine calibration of the system, *system validation* per Annex D is required. A reduced set of measurements may be performed if the system manufacturer has demonstrated that the reduced set is sufficient to warrant acceptance according to the criteria for the full test. For example, if the frequency dependent sensitivity of the sensors is constant due to reasons of sensor design, then the number of frequencies may be reduced. Any reduced validation set shall include measurements in each of the phantoms. The antennas used for *system validation* shall be designed and validated to meet the requirements specified in this document (see Annex F).

NOTE 1 *System validation* is normally performed by the system manufacturer, even though it is specified such that it can also be performed independently by any third party on the manufacturer site or at the user facilities.

NOTE 2 A reduced validation set can be specified by the system manufacturer for users to perform.

Each phantom of the measurement system shall be validated as a complete system (i.e. consisting of all parts, including the sensors, the dielectric medium, phantom shell, electronics, and algorithms) according to Annex D. Probe or probe-array calibration shall be documented by the system manufacturer.

Where this document explicitly specifies performance characteristics for the measurement system or a part of the measurement system, the manufacturer of the system or of the part, or the system integrator shall document conformity with the provisions of this document.

Measurement uncertainties and associated parameters are specified in 8.2.

6.2 Phantom specifications

6.2.1 Head phantom specifications – shell

The SAM phantom shall be used as the head phantom. The rationale for the SAM phantom and the geometrical properties of the SAM phantom are provided in Annex A. The head SAR procedures in this document are applicable to the SAM phantom requirements in IEC 62209-1. For some system configurations, this may not be restricted to a sagittally-bisected horizontal SAM phantom. The phantom container may be open (i.e. the tissue-equivalent medium is in direct contact with air) or hermetically sealed.

6.2.2 Body phantom specifications – shell

The flat phantom for representing a human body shall comply with requirements specified in Annex A. The phantom container may be open (i.e. the tissue-equivalent medium is in direct contact with air) or hermetically sealed.

6.2.3 Tissue-equivalent medium properties

The phantom shall be filled with tissue-equivalent medium with the required dielectric properties. The dielectric properties shall be evaluated and compared with the values given in Table A.1 using linear interpolation. Regardless of the type of system, the measured dielectric properties, not the values of Table A.1, shall be used in the SAR calculations. For an open phantom, the equipment and procedures in Annex J of IEC 62209-1:2016 shall be used.

To minimize reflections from the tissue-equivalent medium surface that is distal from the measurement (phantom) surface in an open phantom, the depth of the medium should be at least 15 cm from the flat phantom inner surface or from the SAM phantom inner surface above the ear reference point. In such case, the uncertainty due to such reflections may be neglected in the uncertainty budget. A medium depth of less than 15 cm may be used if it is demonstrated (e.g. using numerical simulations) that the effect on psSAR is less than 1 % under worst-case conditions. If it is more than 1 %, detailed evaluation of the maximum uncertainty shall be documented and added to the uncertainty budget. Hermetically sealed phantoms shall comply with the requirements in Annex A.

6.3 Measurement system requirements

6.3.1 General

The vector measurement-based system may be a scanning system or an array system. The requirements for scanning systems are provided in 6.3.2, and the requirements for array systems are provided in 6.3.3.

6.3.2 Scanning measurement system specifications

Scanning measurement system uses a single scalar probe or vector probe or an array of probes on a robot to scan the field inside the phantom on a two-dimensional or three-dimensional regular or irregular grid. It uses the measured field points to reconstruct the field according to the requirement of 6.5, in order to assess the psSAR values. The grid resolution may be selected according to system knowledge (e.g. frequency), or according to information gained during the scan process (e.g. peak search).

The scanning measurement system shall comply with the following:

- a) The probe and scanning system and the reconstruction algorithm shall allow the determination of the spatial SAR distribution in the required regions of the phantom with known uncertainty with the phantom in the near-field of a source antenna that is placed outside the phantom. The requirements on the measurement uncertainty are provided in 8.2.

- b) The measurement system manufacturer shall provide documentation to the user specifying the measurement region and frequency range where the requirements of this document are met.
- c) The spatial resolution of the measurement grid and the reconstruction algorithm shall allow the fields to be reconstructed within the manufacturer-specified measurement region and to the boundary between the tissue-equivalent medium and the phantom shell.
- d) The accuracy of the probe positioning and orientation at measurement points shall be documented by the system manufacturer and the related uncertainty shall be evaluated according to I.1.9 or J.1.11.
- e) All uncertainty contributions as specified in Clause 8 shall be assessed and documented.
- f) The uncertainty budget shall be valid and the maximum measurement uncertainty within the specified tolerance for a measurement system dynamic range covering average SAR values from 0,1 W/kg to 100 W/kg for CW and from 0,1 W/kg to 10 W/kg for all modulations. This requirement applies to the psSAR within the specified measurement region.
- g) The probe shall be calibrated for the applicable use conditions (i.e. complex permittivity of the phantom, frequency, temperature, etc.) according to the requirements of Annex B. Calibration of the probe separately from the system is allowed, provided that the electrical interface characteristics between the probe and readout electronics are specified and implemented during measurements.
- h) The scanning method shall be documented, including whether it performs two-dimensional or three-dimensional scans within the phantom volume, and the algorithm for determining the measurement grid if it does not measure a fixed grid.
- i) Any boundary-effect corrections shall be documented. The document shall include the method and the verification that the applied corrections are valid for any scanning position (distance to the boundary and orientation of the sensors with respect to the surface) and consistent with the boundary-effect uncertainty. The extent of the measurement region shall be indicated in the software, including the region where the angle of the probe axis with respect to the normal of the phantom surface is within the above requirement.
- j) The scan region shall find the primary and all secondary SAR peaks covering the area projected by the DUT onto the phantom.
- k) The linearity for local SAR shall be evaluated in the range of 0,12 W/kg to 100 W/kg (RMS for CW signals).

6.3.3 Array measurement system specifications

Array measurement systems consist of a fixed array of sensors to measure the field inside the phantom. Unlike a scanning system, the sensors in an array system are at fixed locations. It uses the measured field points to reconstruct the field in order to assess the psSAR values.

The array measurement system shall comply with the following:

- The probe array shall allow the measurement of the electric field or magnetic field that is used as an input to the reconstruction algorithms that enable the determination of the spatial SAR distribution with known uncertainty in the required regions of the phantom in the near-field of a source antenna outside the phantom. The requirements on the measurement uncertainty are provided in 8.2.
- The measurement system manufacturer shall mark the extent of the measurement region on the flat phantom and document this region as well as the frequency range where the requirements of this document are met. The marking is not required for the head phantoms because the DUT position and orientations are specified in the test procedure. Markings shall be such that phantom shell requirements of this document are still respected.
- For head phantoms, the SAR evaluation region of the system after field reconstruction shall include all points within the projection of the outline of the wireless device.

- The deviation of the locations of the probes in the array from their specified locations shall be documented and the related uncertainty shall be evaluated according to J.1.11. These positions shall not vary by more than $\pm 0,1$ mm as a function of temperature and pressure.
- The spatial resolution of the measurement grid and the reconstruction algorithm shall allow the reconstruction of the fields anywhere to the boundary between the tissue-equivalent medium and the phantom shell within the specified measurement region. The manufacturer shall document the types and spatial distribution of probes in the array. In particular, for each probe in the array, it shall be specified:
 - 1) its location within the phantom;
 - 2) whether it is sensitive to incident magnetic field or electric field;
 - 3) which polarizations of the incident field it is designed to receive;
 - 4) whether they measure amplitude of the field only or amplitude and phase.
- All relevant uncertainty contributions as specified in Clause 8 shall be assessed and documented.
- The uncertainty budget shall be valid and the maximum measurement uncertainty within the specified tolerance for a measurement system dynamic range covering average SAR values from 0,1 W/kg to 100 W/kg for all modulations. 1 g and 10 g SAR cubes can be located anywhere in the specified measurement region.
- The probe-array shall be calibrated at the operating frequency range and temperature range specified for the system in test configurations equivalent to the use conditions (i.e., complex permittivity of the phantom, frequency, temperature, etc.) according to the requirements of Annex B. The probe-array shall be calibrated in the final phantom assembly, with the same or electrically equivalent read-out electronics used for the system and identical type of equipment (amplifiers, filtering, data acquisition, etc.), at the operating frequencies and temperature range, with one of the methods described in Annex B.
- The linearity for local SAR shall be evaluated in the range of 0,12 W/kg to 100 W/kg (RMS for CW signals).

6.4 Device holder specification

The device holder shall permit the DUT to be positioned according to the specifications given in 7.1.6. It shall be made of low loss and low permittivity material(s): loss tangent $\tan \delta \leq 0,05$ and relative permittivity $\epsilon_r \leq 5$.

With array systems using a sealed flat phantom that is oriented upward (open phantoms face downward to hold the tissue-equivalent medium), a holder may not be needed in certain test positions. The DUT may for example be disposed over the flat phantom, in direct contact with the phantom or using a spacer providing a separation distance.

If spacers are used between the DUT and the phantom to provide the required position or separation distance, they shall not contain metal and shall be made of low loss and low permittivity material(s): loss tangent $\tan \delta \leq 0,005$ and relative permittivity $\epsilon_r \leq 1,1$.

When the highest SAR is greater than 75 % of the compliance limit and the DUT has been measured in contact with the device holder, the highest SAR test condition among all frequency bands and positions shall be tested again for each single transmitter, without using the holder. In this case, the DUT position shall be realized by using low-loss foam material and non-conductive adhesive (e.g. tape or elastic bands). The psSAR both with and without holder conditions shall be reported. If the difference between these values is greater than the expanded ($k = 2$) uncertainty for measurement repeatability, then all SAR test conditions that are within the expanded ($k = 2$) uncertainty (see Clause 8) of the compliance limit shall be measured without the holder.

The effect of the hand on the exposure of the head phantom is not considered in this document. Refer to IEC 62209-1 and IEC 62209-2 for rationales.

6.5 Reconstruction algorithm and peak spatial-averaging specifications

Unlike SAR measurement systems specified in IEC 62209-1 and IEC 62209-2, a vector measurement-based system does not determine the psSAR directly from measurement results at points on a 3D grid covering the peak spatial averaging volume. Therefore, the purpose of the reconstruction algorithm is to determine the distribution of the SAR values in the volume of interest such that the psSAR can be evaluated with known uncertainty using the electric fields and/or magnetic fields measured by the vector measurement-based system.

Reconstruction methods are described in Annex C and are applicable to both scanning systems and array systems.

The following requirements on reconstruction and psSAR shall be met:

- The reconstruction algorithm shall determine the SAR distribution in the phantom from the measured electric field and/or magnetic field measured by the sensors.
- The SAR distribution shall be determined within the volume of interest containing all SAR peaks (primary and secondary).
- The averaging volume shall be in the shape of a cube, except that the front face of the averaging volume shall conform to the phantom shell and the back face shall be equally distorted (Figure 2). The four side walls of the cube shall be parallel to the line normal to the phantom at the centre of the front face of the averaging volume.
- The software of the measurement system shall provide error messages to the user if the psSAR is outside the spatial region for which the measurement uncertainty requirements of this document are not met.

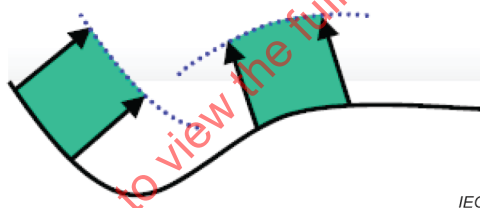


Figure 2 – Illustration of the shape and orientation relative to a curved phantom surface of the distorted cubic volume for computing psSAR

7 Protocol for SAR assessments

7.1 Measurement preparation

7.1.1 General

All measurements should be carried out using good laboratory practice, e.g. in accordance with ISO/IEC 17025, or any other local and national requirements for device certification. Interlaboratory comparisons can be used to compare the results from several laboratories in order to evaluate the performance of SAR measurement systems (Annex E).

7.1.2 Preparation of tissue-equivalent medium

The tissue-equivalent medium shall yield relative permittivity ϵ_r and conductivity σ values within $\pm 10\%$ of the target values at the frequencies at which the SAR is measured. The methods of I.2.6 or J.2.6 shall be used to correct the measured SAR for the deviations in permittivity and conductivity.

For systems using open phantom, the dielectric properties of the tissue-equivalent medium shall be measured within 24 h before the SAR measurements and every two days of continuous use. The dielectric properties of the tissue-equivalent medium may be measured less frequently (but not less than once per week) if the laboratory can document compliance

with dielectric properties of the tissue-equivalent medium as specified in IEC 62209-1 and in IEC 62209-2.

If the tissue-equivalent medium is in a hermetically sealed phantom, the test laboratory may not be able to directly measure the dielectric properties of the tissue-equivalent medium. In this case, the manufacturer of the measurement system shall document compliance with dielectric properties of the tissue-equivalent medium during production, as specified in IEC 62209-1 and in IEC 62209-2, as well as the procedure and measurement interval when it is longer than the validity period of the system calibration.

7.1.3 System check

A *system check* according to the procedures of Annex D shall be completed before performing SAR measurements for the DUT. The purpose of the *system check* is to verify that the system operates within its specifications. The *system check* is a test of repeatability with a calibrated antenna to ensure that the system works correctly during the compliance test. The *system check* shall be performed in order to detect possible drift over short time periods and other uncertainties in the system, such as:

- unacceptable changes in the parameters of the tissue-equivalent medium, e.g. due to water evaporation or temperature changes;
- component failures;
- component drift;
- operator errors in the set-up or the software parameters;
- adverse conditions in the system, e.g. RF interference.

The *system check* procedure shall be performed on the same SAR measurement system, using the same SAR probe, tissue-equivalent medium and software version as the SAR evaluation of the DUT. The measurement shall include each frequency band tested according to the procedures of Annex D.

7.1.4 Preparation of the device under test (DUT)

The requirements for the preparation of the DUT are as specified in IEC 62209-1 and IEC 62209-2 apply.

7.1.5 Operating modes

For DUT operating modes, the requirements of IEC 62209-1 and IEC 62209-2 apply.

7.1.6 Position of the DUT in relation to the phantom

For the positioning of the DUT, the requirements of IEC 62209-1 and IEC 62209-2 apply.

7.1.7 Positions of the DUT in relation to the flat phantom for large DUT

If the DUT is equal to or larger than the measurement area supported by the phantom, the scan shall be divided into smaller regions. The DUT shall be shifted such that multiple scans can be combined to encompass at least the projection of the DUT over the flat phantom. When the DUT is shifted over the measurement area, the coupling between the DUT and phantom may be affected and differ from that with a larger phantom. Therefore, this procedure may not apply if there is a significant change in the shape of the SAR distribution between scans.

To limit the measurement uncertainties due to coupling variations, the scanned areas of the DUT from two successive tests shall overlap by at least one third in the shift direction as shown in Figure 3. Formula (1) and Formula (2) provide the minimum number of tests to perform for a DUT with dimensions greater than or equal to the dimensions of the

measurement area, when successive SAR evaluations with one third overlapping section are combined:

$$N_{\text{tests}} = N_{\text{sublength}} \times N_{\text{subwidth}} \quad (1)$$

$$N_{\text{tests}} = \text{roundup} \left(\left(\left(\left(\frac{L'}{L} \right) \right) \times \left(1 + \frac{1}{3} \right) \right) \times \text{roundup} \left(\left(\left(\frac{w'}{w} \right) \right) \times \left(1 + \frac{1}{3} \right) \right) \right) \quad (2)$$

where

L' is the length of the DUT;

W' is the width of the DUT;

L is the length of the measurement area specified by the system manufacturer;

W is the width of the measurement area specified by the system manufacturer ;

N_{tests} is the number of tests performed on DUT sub-divisions for a complete SAR evaluation of the DUT;

$N_{\text{sublength}}$ is the number of sub-divisions of the DUT length;

N_{subwidth} is the number of sub-divisions of the DUT width.

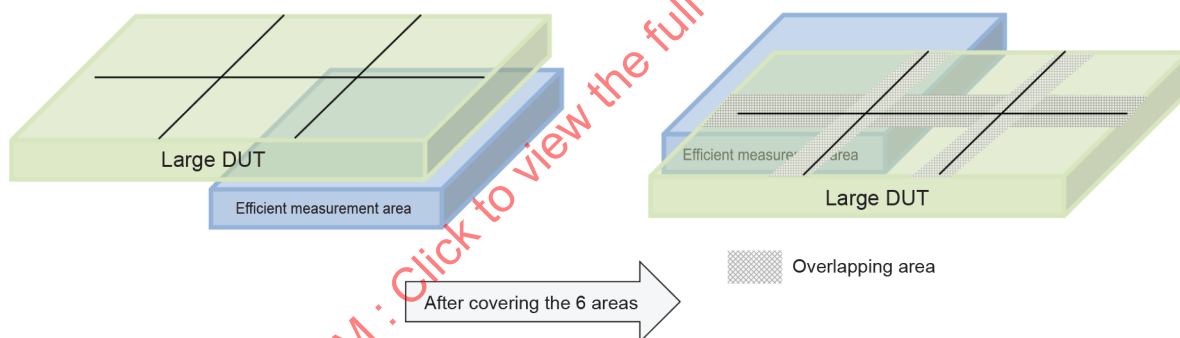


Figure 3 – Measurements performed by shifting a large device over the efficient measurement area of the system including overlapping areas – in this case: six tests performed

7.1.8 Test frequencies for DUT

The requirements of 6.2.5 of IEC 62209-1:2016 and 6.1.5 of IEC 62209-2:2010 shall apply.

NOTE Subclause 6.1.5 of IEC 62209-2:2010 refers to IEC 62209-1:2005.

7.2 Tests to be performed

In order to determine the highest value of the psSAR of a device, all device positions, configurations and operational modes shall be tested for each frequency band according to step 1 to step 4 as follows.

Step 1: The tests shall be performed at the channel that is closest to the centre of the transmit frequency band (f_c) for:

a) the following positions

- 1) all device positions on the body phantom (if testing of DUT against body phantom is required);

- 2) all cheek and tilt positions on the left and right head phantoms (if testing of DUT against head phantom is required);
- b) all physical configurations of the DUT for each device position per Step 1a),

NOTE Examples of physical configurations are device slide or cover open and closed or antenna extended and retracted.

- c) all operational modes, e.g. modulations and multiplexing modes, for each device position in step 1 a) and configuration(s) of Step 1 b) in each frequency band;
- d) all antennas used.

Step 2: For the test condition providing the highest psSAR determined in step 1, perform the tests at all other test frequencies as required by 7.1.8 (e.g. lowest and highest channels). In addition, for each device position, configuration and operating mode where the psSAR value determined in Step 1 a), step to Step 1 d) is greater than or equal to half of the applicable SAR limit, testing of other channels of 7.1.8 is required as well;.

Step 3: When the highest SAR is greater than 75 % of the compliance limit and the DUT has been measured in contact with the device holder, the highest SAR test condition among all frequency bands and positions shall be tested again for each single transmitter, without using the holder. In this case, the DUT position shall be realized by using low-loss foam material and non-conductive adhesive (e.g. tape or elastic bands).

Step 4: Examine all data to determine the highest value of the psSAR found in Step 1 to Step 3 for each operation mode in each frequency band.

7.3 General measurement procedure

7.3.1 General

Subclause 7.3 provides the procedure to be performed for each of the test conditions described in 7.2. For scanning systems, the measurement procedure of 7.3.2 shall be applied. For array systems, the measurement procedure of 7.3.3 shall be applied.

Commercial devices typically have output power drifts within ± 5 %. Some devices could have significant fluctuations in output power that are not classifiable as undesirable power drift but rather are a characteristic of the normal operating behaviour of the device. In these cases, methods such as power scaling shall be applied with the aim of ensuring that an accurate and conservative SAR is obtained.

Because of the differences in the array systems versus scanning systems the drift requirements are different.

7.3.2 Measurement procedure for scanning systems

If a scanning measurement system is used, the following procedure and requirements shall be applied:

- a) Take a reference measurement with a fully charged battery at a specific location within the phantom.
- b) Measure the electric field or magnetic field within the volume of interest.
- c) If applicable to the method, refine the scanning with higher spatial resolution at the location of interest.
- d) Apply the reconstruction algorithm to reconstruct the field for determining the psSAR distributions.
- e) Apply the averaging algorithm as described in 6.5 to determine the psSAR.
- f) The reference measurement in step a) shall be repeated at the end of each measurement. The relative difference between the first and each subsequent reference measurement should be within 5 %. Otherwise, the measurements shall be repeated, or all SAR values

shall be increased by the absolute percentage difference between the first and last reference measurement.

- g) Add the upper-bound percentage allowed (i.e. otherwise full re-test needed).

7.3.3 Measurement procedure for array systems

If an array system is used, the following procedure and requirements shall be applied:

- a) Measure the electric field or magnetic field over the measurement region.
- b) Apply the reconstruction algorithm to reconstruct the SAR distribution in the volume of interest.
- c) Apply the averaging algorithm as described in 6.5 to determine the psSAR.
- d) If a sequence of different configurations is evaluated without recharging the battery, then the first measurement shall be repeated at the end of each measurement and the relative difference between the first and last measurement shall be within the repeatability tolerance of the system (see 8.2) but not larger than 5 %. If the SAR difference exceeds 5 % then the measurements shall be repeated with full charged battery or all SAR values shall be increased by the absolute percentage difference between the first and last measurement.

7.4 SAR measurements for simultaneous transmission

7.4.1 General

DUTs with multiple antennas or multiple transmitters (with single or multiple antennas) transmitting simultaneously require special test considerations. The methods to combine the fields in order to determine the combined SAR distribution differ depending on whether the corresponding RF transmitters emit waveforms that are correlated or uncorrelated in time (IEC TR 62630).

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62209-3:2019

7.4.2 SAR measurements for uncorrelated signals

7.4.2.1 General

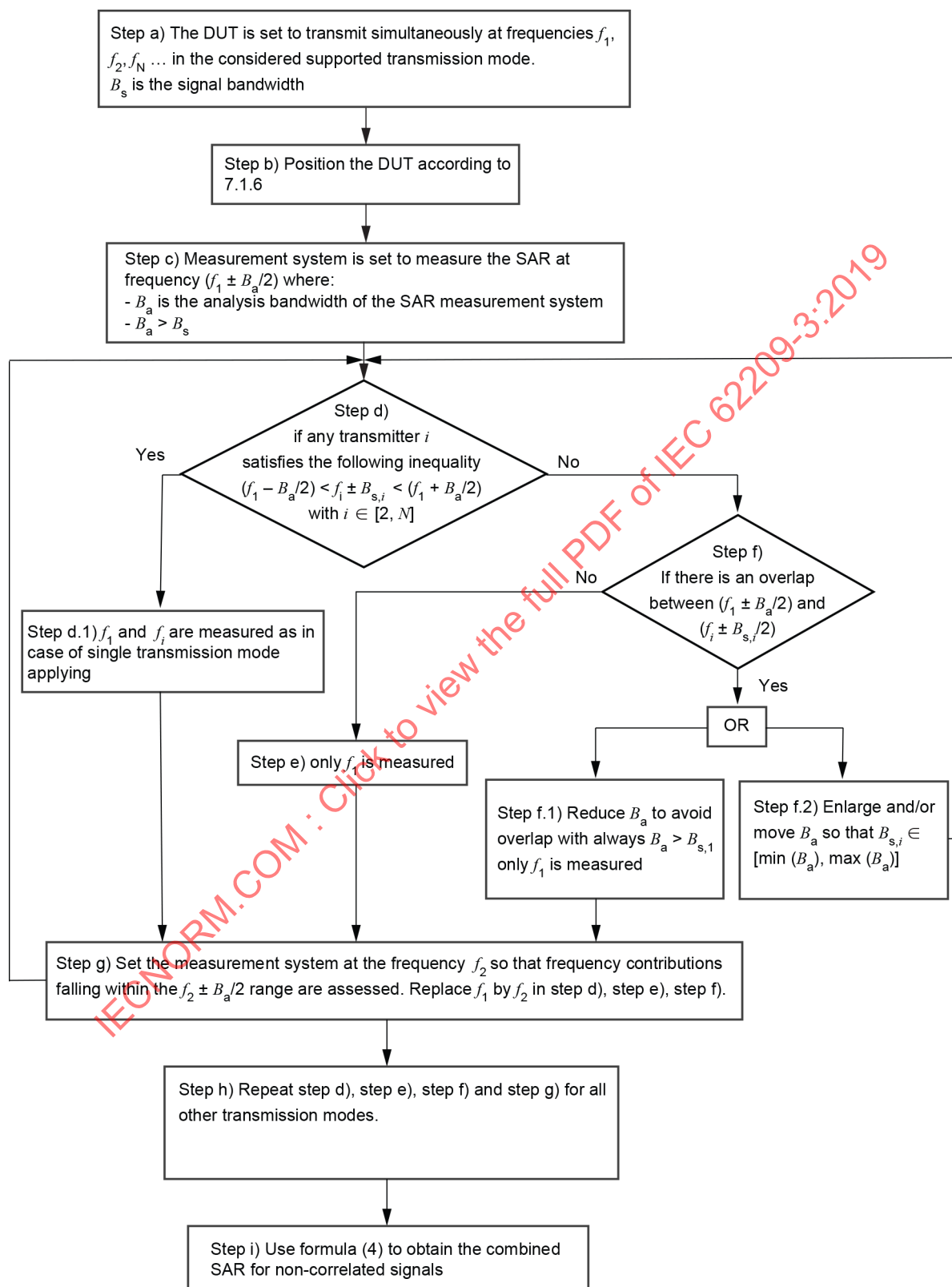


Figure 4 – Flow chart for SAR measurements of uncorrelated signals at different frequencies using a measurement system able to distinguish between different frequency components (Method 2)

Subclause 7.4.2 describes two methods (7.4.2.2 and 7.4.2.3) for the measurement of SAR from non-correlated signals. The summation of the SAR distributions is described in 7.4.2.4.

7.4.2.2 Method 1

For measurement of uncorrelated signals that are transmitting separately, the following procedure applies:

- Set the DUT to transmit in one of the N frequency bands at frequencies f_k for $f_1, f_2, \dots, f_N$.
- Measure the SAR distribution, $SAR_k(r)$, as described in 7.3.
- Repeat steps a) and b) for the other frequency bands.
- Perform the summation of the N SAR distributions as described in 7.4.2.4.

7.4.2.3 Method 2

For measurement equipment capable of distinguishing between various signals and frequency contributions, direct SAR assessment for simultaneous transmission, including carrier aggregation technologies (with contiguous or non-contiguous transmitting channels), may be performed provided that all the transmission frequencies fall within a valid range of both the probe calibration and the tissue-equivalent medium. Figure 4 illustrates the individual steps of Method 2.

In such a case, the following procedure applies:

- The DUT is set to transmit simultaneously at frequencies $f_1, f_i, f_N, \dots$ in the considered supported transmission mode (Figure 5).

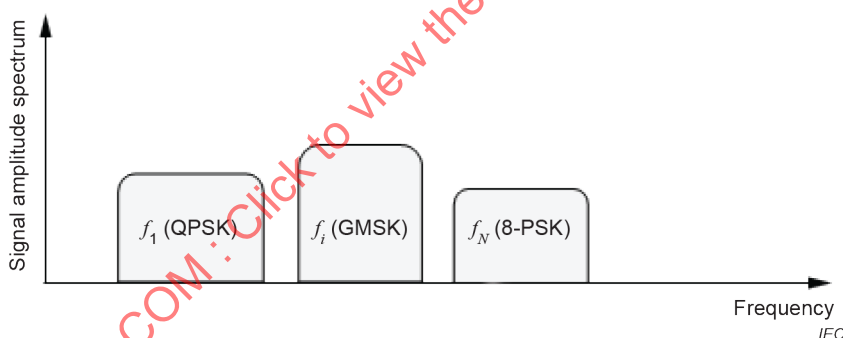


Figure 5 – Illustration of the amplitude spectrum, as function of frequency, for simultaneously transmitted signals of multiple frequency bands emitted by a DUT

- The DUT is positioned in relation to the phantom according to 7.1.6. at a single position such that SAR summation or aggregation is applicable.
- The measurement system is set to measure SAR at frequency f_1 , so that frequency contributions falling within the analysis bandwidth B_a of the measurement system readout electronics are assessed. B_a shall be larger than the signal bandwidth B_s as illustrated in Figure 6.

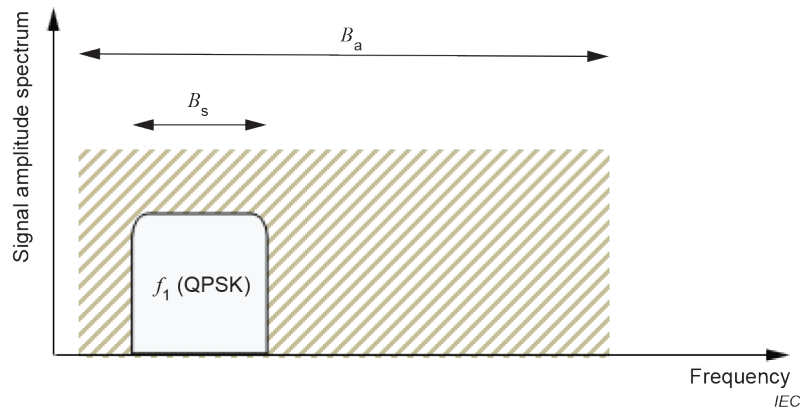


Figure 6 – Illustration of a completely covered signal bandwidth B_s by the measurement system analysis bandwidth B_a at single transmission mode

- d) If all B_{si} are contained in B_a range, for any transmitter i between 2 and N , as illustrated in Figure 7, then the SAR is measured directly as in the case of single-frequency transmission mode. This is equally applied to the case where more than two signal bands fall within B_a .

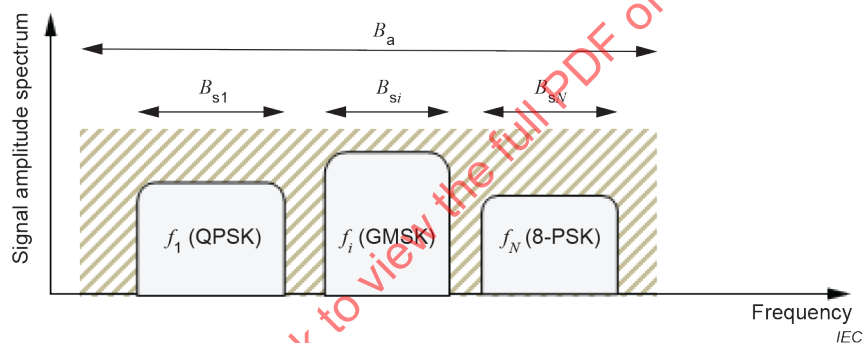


Figure 7 – Illustration of a completely covered signal bandwidths B_{si} (for $i = 2$ to N) by the measurement system analysis bandwidth B_a for simultaneous multiple-frequency transmission mode

- e) If B_{si} , of any transmitter (index $i = 1$ to N), does not fully overlap B_a then only the B_{si} that are strictly fully covered by B_a shall be measured simultaneously and according to step d) (Figure 8).

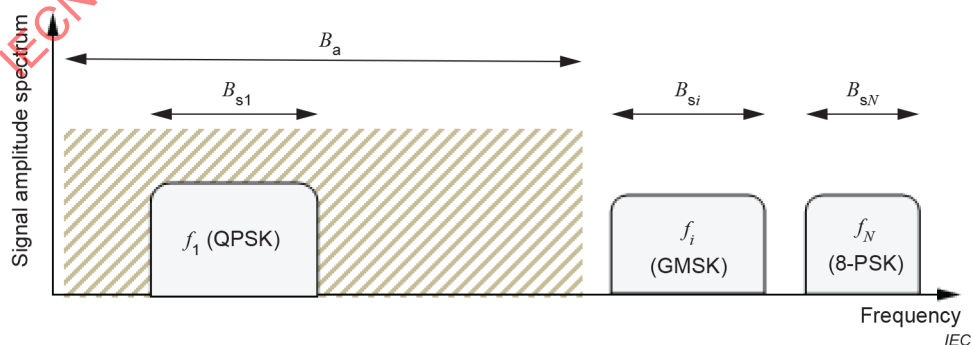


Figure 8 – Illustration of a non-coverage of the signal bandwidths B_{si} (for $i = 2$ to N) by the measurement system analysis bandwidth B_a for simultaneous multiple-frequency transmission mode

- f) If there is an overlap between B_a and B_{si} , of any transmitter index $i = 2$ to N , as shown in Figure 9, then one of the two steps f)1) or f)2) shall be applied.

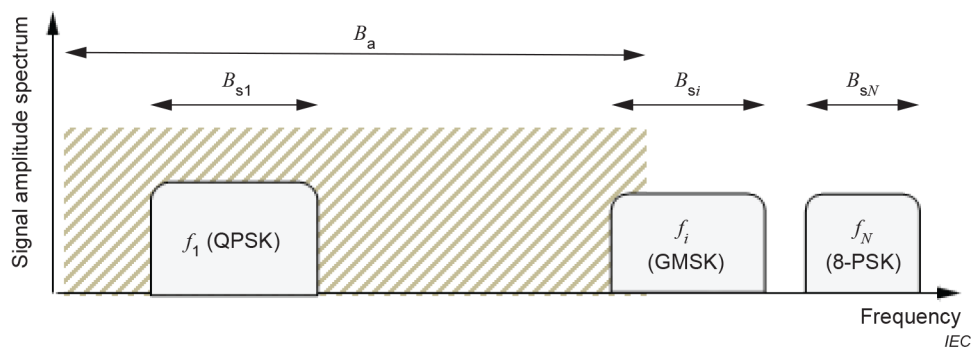


Figure 9 – Illustration of a partial-coverage of the signal bandwidths B_{si} (for $i = 2$ to N) by the measurement system analysis bandwidth B_a for simultaneous multiple-frequency transmission mode

- 1) The analysis bandwidth shall be reduced to match a bandwidth as small as possible but no lower than B_{s1} and avoid overlap, then apply step g) (Figure 10).

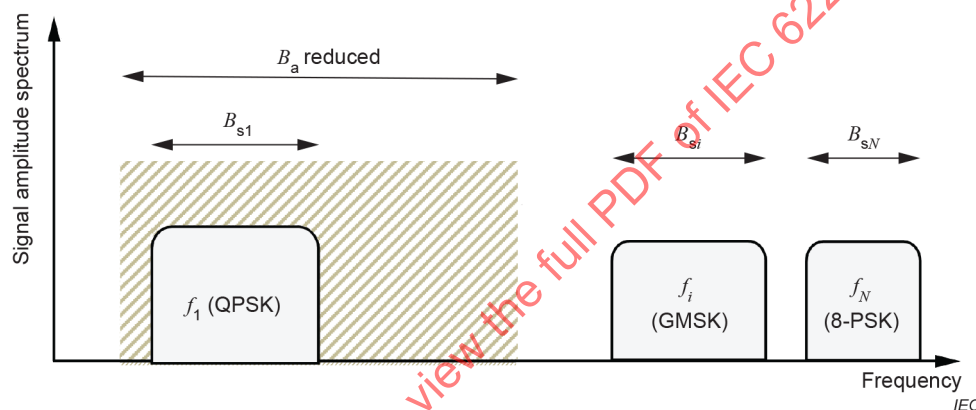


Figure 10 – Illustration of reduction of the measurement system analysis bandwidth B_a to cover only one signal bandwidth B_{si} (for $i = 1$ to N) for simultaneous multiple-frequency transmission mode

- 2) The analysis bandwidth B_a shall be enlarged or moved or both so that the span from the minimum frequency to the maximum frequency of the two signals falls within the analysis bandwidth, then apply step d) (Figure 11).

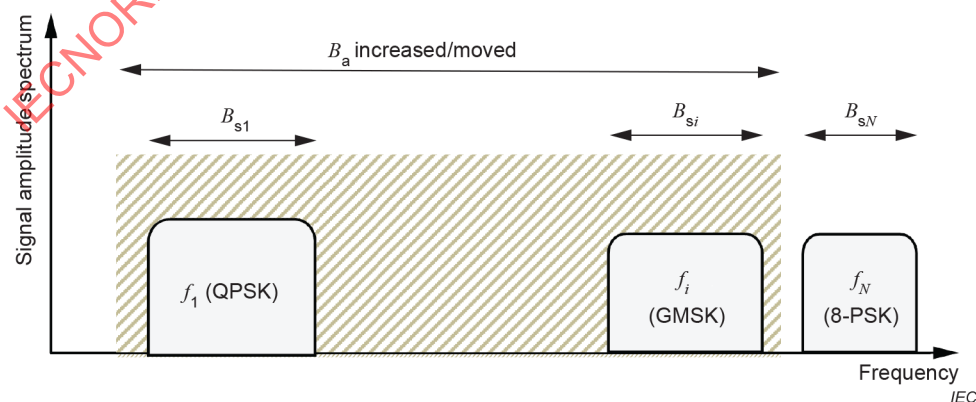


Figure 11 – Illustration of increasing or moving the measurement system analysis bandwidth B_a to cover one or more signal bandwidth B_{si} (for $i = 1$ to N) for simultaneous multiple-frequency transmission mode

NOTE Depending on measurement system technology, the analysis bandwidth can be in the radiofrequency range or DC centred using downconverting techniques.

- g) The measurement system shall be set to measure SAR at frequency f_2 , so that frequency contributions fall within the analysis bandwidth B_a . Apply step d), step e) and step f) for transmitter 2 as appropriate.
- h) Repeat step d), step e), step f) and step g) for all other transmission modes.
- i) The summation of the N SAR distributions shall be performed as described in 7.4.2.4.

7.4.2.4 Procedure for summation of SAR distributions

When two or more signals are uncorrelated (e.g. transmission at different frequencies, modulations, or data streams), the combined SAR at each location, r , in the phantom is calculated from simple summation of the SAR values of the individual transmitters (Formula (3)):

$$SAR_T(r) = \sum_{k=1}^N SAR_k(r) \quad (3)$$

Prior to averaging and search of the psSAR, each SAR distribution shall be assessed separately. After field reconstruction and determination of the individual SAR distributions, $SAR_k(r)$, the summation given in Formula (3) is performed. The averaging and search procedures for the peak-spatial average SAR are then performed.

7.4.3 SAR measurements for correlated signals

DUTs with multiple antennas transmitting correlated signals simultaneously represent a particular class of devices, such as MIMO transmitters with digital beam-forming capabilities, and require special test considerations. Signals of such DUTs can be classified based on the change of amplitude and relative phases of signal in a normal communication. In general, there are two types of signals that can be found in most of recent generation multi-antenna transmitters. The first, referred to as type 1, are signals with relative phases unchanged during a relatively long duration compared with symbol duration. These types of signals can be found in phased array antenna systems where the relative phases of signals fed to the antennas are controlled to form the radiation pattern of the array antenna towards a specific direction. In different operating environments, the relative phases may change to obtain different desired radiation patterns. However, as soon as the transmitting direction is determined and the pattern is formed, the relative phases will be fixed for a specific duration, and will only change when the radiation pattern is configured to another form. In fact, the duration that relative phases are kept unchanged is relatively long, compared with the duration of a symbol in normal communication. The second type, referred to as type 2, on the other hand, are signals with relative phases changed quickly in a relatively short time period. Such signals can be found in systems utilizing MIMO techniques. The relative phases of signals will be changed from symbols to symbols due to the function of space-time block codes (STBC) in MIMO schemes. The relative phases of signals are changed from symbol to symbol according to the STBC coding, and no specified direction is formed during normal communications.

As explained in IEC TR 62630, correlated signals can be transmitted only at the same carrier frequency and SAR depends on the relative phase(s) between the signals.

For type 1 correlated signals, the psSAR is evaluated by one of the methods described in IEC TR 62630. Prior to averaging and search of the psSAR, each field distribution shall be assessed separately. After field reconstruction of each signal contribution, the combined SAR distribution is determined at each point either by summation of the E-field amplitudes, summation of the E-field components or summation of the complex E-field vectors (IEC TR 62630). The averaging and search of the psSAR procedure steps are then performed. Summation of the E-field amplitudes or E-field components provides a conservative overestimation compared to the summation of the E-field vectors. If both amplitude and phase of the electric field are known, it is possible to accurately evaluate psSAR under simultaneous transmission conditions by combining the vector fields of each individual transmitter, as

transmitting separately at the highest time-averaged output power with single SAR measurements, in that case, 6.5.1 of IEC TR 62630:2010 applies to characterize the combined fields from correlated signals.

For type 1 correlated signals, the phase combination providing the highest psSAR shall be determined from among the set of phase combinations that the device is capable of. If summation of the complex E-field vectors is used, post-processing may be used to vary the phases prior to summation (i.e. for two signals, add a constant phase shift to the induced E-fields from the second signal, then add the SAR distributions from the first and second signals). Otherwise, other techniques can be used, such as measurement of all phase combinations or estimation from fewer phase combinations.

For type 2 correlated signals, the SAR shall be measured with all signals transmitting simultaneously (e.g. space-time block code (STBC)). The signal integration time of the measurement system shall be determined according to I.3.4 and J.3.4 to ensure convergence of the acquisition of the modulated signal spectrum.

8 Measurement uncertainty estimation

8.1 General

The concepts of uncertainty estimation in the measurement of the SAR from wireless devices are based on the general rules provided by ISO/IEC Guide 98-3 and the guidelines provided in Annex H.

Clause 8 provides guidance on how the uncertainty budget shall be assessed for scanning systems and array systems. At a minimum, the uncertainty components listed in Table 2 to Table 5 shall be determined and documented. These tables provide the generic uncertainty terms that are applicable to both head and body SAR measurement. Because this document allows for different implementations of measurement systems, additional uncertainty components may be required that are not sufficiently covered by these generic tables.

Each input quantity is described together with an example of how the associated standard uncertainty is evaluated. These are general examples that may not be applicable to all measuring systems, and additional quantities may be required in a specific case as determined by the system manufacturer.

The measurement uncertainty of 1 g and 10 g SAR assessment results shall be estimated using established procedures (e.g. ISO/IEC Guide 98-3) and documented following the uncertainty model in 8.3. In addition, the measurement uncertainty for the *system check* results shall be provided using the same procedure.

8.2 Requirements on the measurement uncertainty evaluation

The expanded measurement uncertainty is the result of an uncertainty evaluation, specific details of which are recorded in an uncertainty budget. Separate uncertainty budgets shall be evaluated for SAR measurement results according to the following:

- The expanded measurement uncertainty of the measured value of psSAR (1 g or 10 g) measured values shall be assessed in accordance with the guidance and explanation given in ISO/IEC Guide 98-3 and the requirements specified in this document following the uncertainty model in 8.3.
- The range for which the measurement uncertainty is applicable shall be clearly stated by documented and valid analysis, e.g. measurement region on the phantom, frequency range and power range.
- For the *system validation* acceptance criteria, the measurement uncertainty estimate used shall be the maximum for any DUT type to be measured on the system, i.e. it is comprehensive for any DUT type to be measured with the system.

- The measurement uncertainty quoted on the test report shall provide a realistic uncertainty estimate for the measurement result at the 95 % confidence level.
- The reported measurement uncertainty shall represent the maximum expanded uncertainty within this range.
- The expanded measurement uncertainty of the *system check* and *system validation* measurement results shall also be evaluated. The uncertainty shall be quoted at the 95 % confidence level, and the expanded uncertainty shall not exceed 30 % of the psSAR value in range of 0,4 W/kg to 20 W/kg for SAR averaged over 1 g and 10 g. Accordingly, for psSAR values below 0,4 W/kg, the expanded uncertainty shall not exceed 0,12 W/kg. If the expanded uncertainty for DUT testing is greater than 30 %, when acceptable by national requirements, the reported data shall take into account the percentage difference between the actual uncertainty and the 30 % target value (ISO/IEC Guide 98–3). The formula used for scaling the measured SAR by the excess uncertainty shall be as described in IEC 62479.

8.3 Description of measurement uncertainty models

8.3.1 General

The combined standard measurement uncertainty of the 1 g or 10 g SAR consists of uncertainty contributions from the following influences, as described in Annex I for single probe scanning systems and Annex J for fixed or scanning array systems.

- a) Measurement system uncertainties to be specified by the manufacturer, *MM* (Clauses I.1 and J.1). The standard uncertainty for calibration of the vector measurement-based system is determined by the system calibration laboratory or system manufacturer.
- b) Uncertainties in reconstruction, post-processing and corrections, *MN* (Clauses I.2 and J.2).
- c) Measurement system uncertainties that are dependent on the DUT, *MD* (Clauses I.3 and J.3), including probe coupling with the DUT, modulation response, integration time and SAR drift. The corresponding uncertainty may include a Type A uncertainty analysis based on a set of sources that shall be documented and demonstrated to be sufficient for ensuring a conservative assessment of the related uncertainty contribution. The analytical approach described in Clause H.5 may also be used.
- d) Uncertainties related to the measurement environment, *ME* (Clauses I.4 and J.4). The uncertainties caused by the user handling or the laboratory environment in which the measurement system will be used. These uncertainties include those relating to the setup, ambient signals and reflections.
- e) Uncertainties of the validation antennas, *MV* (Clauses I.5 and J.5).

The types of DUTs for which the combined uncertainty estimate is valid shall be stated.

The measurement system uncertainties shall be assessed separately for head or body measurements and for 1 g or 10 g averaged SAR as required. All uncertainty terms are given as fractions or percentages. The measurement uncertainty shall be a realistic estimate of the uncertainty in the measured SAR of the DUT, and this will be multiplied by a coverage factor to provide a 95 % confidence level.

According to ISO/IEC Guide 98-3 the measurement uncertainty is defined as the result of root-sum-squares of the uncertainty contributions. The following uncertainty components are specified which are described in Annex I and Annex J.

Table 2 to Table 5 list all of the measurement uncertainty components. For a particular measurement case, the relevant uncertainty terms are summed according to the uncertainty models (Formulas (4) to (12)) for that measurement.

8.3.2 Uncertainty models for array measurement system and scanning measurement systems

For the result of a DUT SAR measurement, the measurement uncertainty ΔSAR is per Formula (4):

$$\Delta SAR = \sqrt{MS^2 + MD^2 + ME^2} \quad (4)$$

For *system check*, the measurement uncertainty is per Formula (5):

$$\Delta SAR = \sqrt{MS^2 + MD^2 + ME^2 + MV^2} \quad (5)$$

In the above formulas, MS is the total measurement system uncertainty that shall be specified by the system manufacturer, given by Formula (6):

$$MS = \sqrt{MM^2 + MN^2} \quad (6)$$

where MM and MN are the uncertainty contributions from the measurement system and from the corrections and post-processing, respectively. MM depends on the type of measurement system. For scanning systems with a single probe (Annex I), Formula (7) applies:

$$MM = \sqrt{CF^2 + ISO^2 + LIN^2 + SL^2 + BE^2 + RE^2 + RT^2 + PP^2 + SE^2 + PS^2 + MAT^2 + MSI^2} \quad (7)$$

For fixed or scanning array systems (Annex J), Formula (8) applies:

$$MM = \sqrt{CF^2 + ISO^2 + MSC^2 + AS^2 + LIN^2 + SL^2 + BE^2 + RE^2 + RT^2 + PP^2 + SE^2 + AB^2 + PS^2 + MAT^2 + HOM^2 + MSI^2} \quad (8)$$

The other terms are given by Formulas (9) to (12):

$$MN = \sqrt{REC^2 + POL^2 + SAV^2 + SARS^2 + SC^2} \quad (9)$$

$$MD = \sqrt{PC^2 + MOD^2 + IT^2 + SD^2} \quad (10)$$

$$ME = \sqrt{DH^2 + DP^2 + AC^2 + DN^2} \quad (11)$$

$$MV = \sqrt{DEX^2 + PMU^2 + OVS^2} \quad (12)$$

The uncertainty contributors that are not involved during the repeatability of the SAR measurement of a DUT are set to zero. The total uncertainty for this case is provided in Formula (13):

$$\Delta SAR = \sqrt{AS^2 + PP^2 + POL^2 + SC^2 + PC^2 + DN^2 + DP^2 + DH^2 + SD^2 + AC^2 + MSI^2} \quad (13)$$

8.3.3 Example uncertainty budget templates

Table 2 to Table 5 show the templates for the uncertainty budgets of the formulas in 8.3.2.

- Table 2 shows an example measurement system uncertainty budget template, which shall be completed by the SAR system manufacturer.
- Table 3 shows an example uncertainty budget template for a DUT measurement.
- Table 4 shows an example uncertainty budget template for a *system validation* measurement.
- Table 5 shows an example uncertainty budget template for a *system check* measurement.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62209-3:2019

Table 2 – Uncertainty budget template for the evaluation of the measurement system uncertainty of the 1 g or 10 g psSAR to be carried out by the system manufacturer

Symbol Notes	Quantity x_i (source of uncertainty)	Reference	Prob. Dist. ^a	Uncertainty	Divisor ^a q	$u(x_i)$	c_i	$u_i(y)$	v_i
Uncertainty in the measurement system to be specified by the manufacturer (MM)									
CF	Calibration	I.1.2, J.1.2							n
ISO	Isotropy	I.1.3, J.1.3							n
MSC	Mutual sensor coupling	J.1.4							n
AS	Scattering due to the presence of the array	J.1.5							n
LIN	System linearity	I.1.4, J.1.6							n
SL	Sensitivity limit	I.1.5, J.1.7							n
BE	Boundary effect	I.1.6, J.1.8							n
RE	Readout electronics	I.1.7, J.1.9							n
RT	Response time	I.1.8, J.1.10							n
PP	Probe positioning	I.1.9, J.1.11							n
SE	Sampling error	I.1.10, J.1.12							n
AB	Array boundaries	J.1.13							n
PS	Phantom shell	I.1.11, J.1.14							n
MAT	Tissue-equivalent medium parameters	I.1.12, J.1.15							n
HOM	Phantom homogeneity	J.1.16							n
MSI	Measurement system immunity/secondary reception	I.1.13, J.1.17							n
Uncertainty in corrections and post processing to be specified by the manufacturer (MN)									
REC	Uncertainty due to reconstruction	I.2.2, J.2.2							n
POL	Impact of noise on the reconstruction	I.2.3, J.2.3							n
SAV	SAR averaging	I.2.4, J.2.4							n
$SARS$	SAR scaling	I.2.5, J.2.5							n
SC	SAR correction for deviations in permittivity and conductivity	I.2.6, J.2.6							n
Total uncertainty to be determined by the manufacturer									
MS	Uncertainty ($k = 1$) and effective degrees of freedom						$U =$		$v_{\text{eff}} =$

^a Probability distributions and divisors are chosen to best represent available knowledge of the quantities concerned.

n = number of repeated measurements used in the Type A evaluation.

NOTE Some uncertainty components can be evaluated in combination with other uncertainty components.

Table 3 – Uncertainty budget template for evaluating the uncertainty in the measured value of 1 g SAR or 10 g SAR from a DUT

Symbol/ notes	Quantity x_i (source of uncertainty)	Reference	Prob. Dist. ^a	Unc	Divisor ^a q	$u(x_i)$	c_i	$u_i(y)$	v_i
Measurement system uncertainties to be specified by the manufacturer, MS									
MS	Measurement system uncertainties to be specified by the manufacturer	Table 2							n
Measurement system uncertainties that are dependent on the DUT, MD									
PC	Probe or probe-array coupling with DUT	I.3.2, J.3.2							n
MOD	Modulation response	I.3.3, J.3.3							n
IT	Integration time	I.3.4, J.3.4							n
SD	Measured SAR drift	I.3.5, J.3.5							n
DUT-related uncertainties and environmental factors, ME									
DH	Device holder	I.4.2, J.4.2							n
DP	Device positioning	I.4.3, J.4.3							n
AC	RF ambient conditions	I.4.4, J.4.4							n
DN	Drift and noise	I.4.5, J.4.5							n
ΔSAR	Expanded uncertainty and effective degrees of freedom							$U =$	$v_{\text{eff}} =$

^a Probability distributions and divisors are chosen to best represent available knowledge of the quantities concerned.

n = number of repeated measurements used in the Type A evaluation.

NOTE Some uncertainty components can be evaluated in combination with other uncertainty components.

Table 4 – Uncertainty budget template for evaluating the uncertainty in the measured value of 1 g SAR or 10 g SAR from a validation antenna

Symbol/n otes	Quantity x_i (source of uncertainty)	Reference	Prob. Dist. ^a	Uncer- tainty	Divisor ^a q	$u(x_i)$	c_i	$u_i(y)$	v_i
Measurement system uncertainties to be specified by the manufacturer, M_S									
M_S	Measurement system uncertainties to be specified by the manufacturer	Table 2							n
Measurement system uncertainties that are dependent on the DUT, M_D									
P_C	Probe or probe-array coupling with DUT	I.3.2, J.3.2							n
M_O	Modulation response	I.3.3, J.3.3							n
I_T	Integration time	I.3.4, J.3.4							n
Uncertainty related to source or noise, M_E									
D_P	Device positioning	I.4.3, J.4.3							n
D_H	Device holder	I.4.2, J.4.2							n
A_C	RF ambient conditions	I.4.4, J.4.4							n
D_N	Drift and noise	I.4.5, J.4.5							n
M_{S_I}	Measurement system immunity/secondary reception	I.1.13, J.1.17							n
Uncertainties of validation antennas, M_V									
D_{E_X}	Deviation of experimental antennas	I.5.2, J.5.2							n
P_{M_U}	Power measurement uncertainty	I.5.3 J.5.3							
O_{V_S}	Other uncertainty contributions when using validation antennas	I.5.4, J.5.4							n
$\Delta S_A R$	Expanded uncertainty and effective degrees of freedom							$U =$	$v_{\text{eff}} =$

^a Probability distributions and divisors are chosen to best represent available knowledge of the quantities concerned.

n = number of repeated measurements used in the Type A evaluation.

NOTE Some uncertainty components may be evaluated in combination with other uncertainty components.

Table 5 – Uncertainty budget template for evaluating the uncertainty in the measured value of 1 g SAR or 10 g SAR from the *system check*

Symbol /notes	Quantity  (source of uncertainty)	Reference	Prob. Dist. ^a	Uncertainty	Divisor ^a q	$u(x_i)$	c_i	$u_c(y)$	ν_i
Measurement system uncertainties to be specified by the manufacturer, <i>MS</i>									
<i>MS</i>	Measurement system uncertainties to be specified by the manufacturer	Table 2					1		n
Measurement system uncertainties that are dependent on the DUT, <i>MD</i>									
<i>PC</i>	Probe or probe-array coupling with DUT	I.3.2, J.3.2					1		n
<i>MOD</i>	Modulation response	I.3.3, J.3.3					0		n
<i>IT</i>	Integration time	I.3.4, J.3.4					0		n
Uncertainties related to the source or noise, <i>ME</i>									
<i>DH</i>	Device holder	I.4.2, J.4.2					1		n
<i>DP</i>	Device positioning	I.4.3, J.4.3					1		n
<i>AC</i>	RF ambient conditions	I.4.4, J.4.4					1		n
<i>DN</i>	Drift and noise	I.4.5, J.4.5					1		n
Uncertainties of <i>system check</i> antennas, <i>MV</i>									
<i>MSI</i>	Measurement system immunity/secondary reception	I.1.13, J.1.17					1		n
<i>DEX</i>	Deviation of experimental antennas	I.5.2, J.5.2					1		n
<i>PMU</i>	Power measurement uncertainty	I.5.3 J.5.3					1		∞
<i>OVS</i>	Other uncertainty contributions when using <i>system check</i> antennas	I.5.4, J.5.4					1		n
ΔSAR	Expanded uncertainty and effective degrees of freedom							$U=$	$\nu_{\text{eff}} =$
^a Probability distributions and divisors are chosen to best represent available knowledge of the quantities concerned. n = number of repeated measurements used in the Type A evaluation. NOTE Some uncertainty components can be evaluated in combination with other uncertainty components.									

9 Measurement report

The reporting requirements of IEC 62209-1 and IEC 62209-2 apply, as well as the reporting requirements specified in other clauses of this document.

Annex A (normative)

Phantom specifications

A.1 SAM phantom specifications

A.1.1 Justification

The justification for the SAM phantom is provided in IEC 62209-1.

A.1.2 SAM phantom geometry

The phantom geometry and requirements for the shell are specified in IEC 62209-1.

CAD model files are provided for use in the basic manufacturing of the SAM phantom standard test fixture by groups having the necessary expertise and resources. Four *.igs files of inner and outer surfaces for the left and right halves extracted from the CAD model of the SAM phantom are available in the supporting documents folder of <http://www.iec.ch/tc106>:

http://www.iec.ch/dyn/www/f?p=103:227:0:::FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID:1303,25

The four file names are:

- sam_lft_in_6_11.igs
- sam_lft_out_6_11.igs
- sam_rt_in_6_11.igs
- sam_rt_out_6_11.igs

A.1.3 Tissue-equivalent medium

The phantom shall be filled with a homogeneous tissue-equivalent medium. The dielectric properties of the tissue-equivalent medium are provided in A.4.

If the vector measurement-based system is a scanning measurement system, the phantom shall be an open container and the tissue-equivalent medium shall be a liquid, so as to allow the scanning system to move the probe. The sagittally-bisected phantom is recommended for devices having the peak spatial-average SAR (psSAR) near the ear (see Figure A.1). Other phantom orientations may be used if the psSAR is in another region of the head. Different phantom orientations may also be necessary for enabling probe access to certain regions of the SAM phantom for SAR measurement. For scanning measurement systems, the orientation of the phantom should be used to minimize the measurement uncertainties (e.g. from probe isotropy and boundary effects).

If the vector measurement-based system is an array system with fixed sensor locations, the phantom can be a closed container and the tissue-equivalent medium can be either solid or liquid. The orientation of the SAM phantom is irrelevant if a closed container is used.

To minimize reflections within the phantom, the depth of the homogeneous medium should be chosen such that the effect of reflections on psSAR is less than 1 %. If the effect of reflections on psSAR is more than 1 % but less than 3 %, the maximum uncertainty shall be added to the uncertainty budget.

For hermetically sealed phantoms, the presence of air gaps beneath the measurement surface will result in large measurement uncertainties. Great care shall be taken when designing and filling the phantoms to prevent the occurrence of air gaps.

Dimensions in millimetres

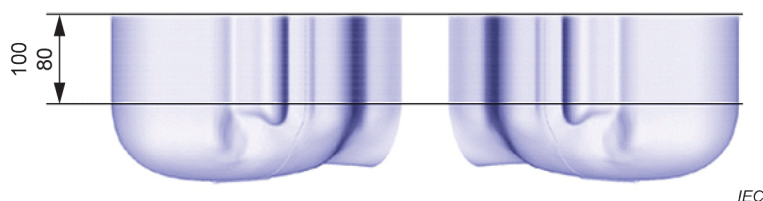


Figure A.1 – Sagittally-bisected phantom with extended perimeter, used for scanning measurement systems

Figure A.1 illustrates a sagittally-bisected phantom with extended perimeter, used for scanning measurement systems (shown placed on its side as used for device SAR tests). Other phantom orientations may be used if the psSAR is in another region of the head or to enable probe access to certain regions of the SAM phantom for SAR measurement. The orientation of the SAM phantom is irrelevant if a sealed phantom is used.

A.2 Flat phantom specifications

The shell of the flat phantom shall be constructed in the form of a container with a flat side which is in contact with the DUT during measurement.

Any flat phantoms used shall be large enough to allow SAR to be measured accurately using the *system validation* and *system check* antennas for 1 g and 10 g psSAR with less than 1 % influence from the phantom shape and dimensions.

If the vector measurement-based system is an array system with fixed sensor locations, the phantom is typically a closed container and the tissue-equivalent medium can be either solid or liquid. The orientation of the flat phantom is irrelevant if a closed container is used.

For open containers and for hermetically sealed containers, the flat phantom shall have the following shape and dimensions:

- a) Unless specified in Step b), the shape of the phantom shall be an ellipse with a length of $600 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ and a width of $400 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ (Figure A.2).
- b) For frequencies above 600 MHz, phantoms with other shapes and smaller dimensions are allowed as follows:
 - between 600 MHz and 800 MHz, the phantom side that makes contact with the DUT may have any shape that encompasses an ellipse with a length of $0,6 \lambda_0$ and a width of $0,4 \lambda_0$, where λ_0 is the wavelength in air.
 - between 800 MHz and 6 GHz, the phantom side that makes contact with the DUT may have any shape that encompasses an ellipse with a length of 225 mm and a width of 150 mm.

Dimensions in millimetres

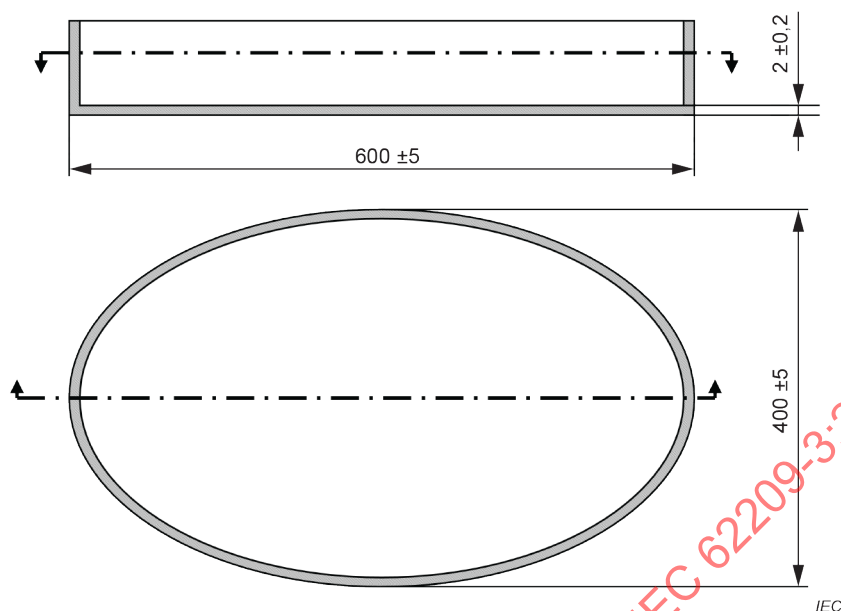


Figure A.2 – Dimensions of the elliptical phantom

The phantom shall be filled with tissue-equivalent medium meeting the requirements of this document. To minimize reflections within the phantom, the depth of the homogeneous tissue-equivalent medium should be at least 15 cm. Medium depth of less than 15 cm can be used if it is demonstrated (e.g. using numerical simulations) that the effect of reflections on psSAR is less than 1 %. If the effect of reflections on psSAR is more than 1 %, detailed evaluation of the maximum uncertainty shall be documented and added to the uncertainty budget. The phantom shell shall be made of low-loss and low-permittivity material, having a loss tangent $\tan \delta \leq 0,05$ and a relative permittivity ϵ_r of

$$1 \leq \epsilon_r \leq 5 \text{ for } f \leq 3 \text{ GHz,}$$

$$2 \leq \epsilon_r \leq 5 \text{ for } f > 3 \text{ GHz [1]}^1.$$

The thickness of the flat face of the flat phantom shall be 2,0 mm with a tolerance of $\pm 0,2$ mm.

Effects on SAR due to deviations of phantom shell parameters and thickness shall be included in the uncertainty estimation.

The phantom shell material shall be resistant to damage or reaction with tissue-equivalent medium chemicals used in it.

A.3 Specific phantoms

Other specific phantoms are applicable. The same requirements regarding the shell material, mechanical tolerance and tissue-equivalent media apply according to the requirements of IEC 62209-1 for scanning systems or array systems.

¹ Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

A.4 Tissue-equivalent medium

Table A.1 shows the target relative permittivity and conductivity of the tissue-equivalent medium. The justification for the parameters is provided in IEC 62209-1. For dielectric properties of the tissue-equivalent medium at other frequencies within the frequency range, a linear interpolation method shall be used. Examples of recipes for liquids having properties as specified in Table A.1 are given in Annex I of IEC 62209-1:2016. This measurement can be performed using the equipment and procedures described in Annex J of IEC 62209-1:2016.

Table A.1 – Dielectric properties of the tissue-equivalent medium

Frequency (MHz)	Relative permittivity, ϵ_r	Conductivity, σ (S/m)
600	42,7	0,88
750	41,9	0,89
835	41,5	0,90
900	41,5	0,97
1 450	40,5	1,20
1 500	40,4	1,23
1 640	40,2	1,31
1 750	40,1	1,37
1 800	40,0	1,40
1 900	40,0	1,40
2 000	40,0	1,40
2 100	39,8	1,49
2 300	39,5	1,67
2 450	39,2	1,80
2 600	39,0	1,96
3 000	38,5	2,40
3 500	37,9	2,91
4 000	37,4	3,43
4 500	36,8	3,94
5 000	36,2	4,45
5 200	36,0	4,66
5 400	35,8	4,86
5 600	35,5	5,07
5 800	35,3	5,27
6 000	35,1	5,48

NOTE For convenience, permittivity and conductivity values at those frequencies that are not part of the original data provided by Drossos et al. [2] or the extension to 5 800 MHz are provided (i.e. the values shown in italics). These values were linearly interpolated between the values in this table that are immediately above and below these values, except the values at 6 000 MHz that were linearly extrapolated from the values at 3 000 MHz and 5 800 MHz.

Annex B (normative)

Calibration and characterization of dosimetric probes

B.1 General

SAR is proportional to $|E|^2$. The SAR in a human phantom can therefore be determined either by directly measuring the amplitude of the electric field in the volume of the phantom as specified in IEC 62209-1 and IEC 62209-2 or by measuring the electric or magnetic field at sufficient points (e.g. using a scanning system or a fixed array of sensors) and reconstructing the SAR at other locations in the phantom. There are several methods to achieve these goals; and each method has advantages and disadvantages. The scope of this document covers the methods that are based on reconstruction of the SAR from a limited number of measurement points. The precision and traceability of the measurement system calibration is essential to the accuracy of the SAR measurement method.

In general, the absolute sensitivity (amplitude) and the relative phase of each sensor shall be calibrated. Field distributions used for calibration shall have different distributions than those used during validation. Antennas and sources used for calibration shall have different field distributions from those used in validation. The result of the validation shall not be used to tune or modify the calibration.

The calibration shall be traceable to the SI system of measurements through the use of an unbroken chain of calibrations or comparisons. Calibration equipment (e.g. power sensors, antennas) consists of primary and secondary standards. Primary standards have a valid calibration by an accredited calibration laboratory. Secondary standards do not have a traceable calibration but their performance and stability are verified (e.g. using in-house checks) using primary standards. Only primary standards shall be used where the accuracy of the equipment is relevant to the calibration accuracy (e.g. power meters, calibration antennas). An example of a secondary standard is an amplifier whose output is monitored by a power meter.

For system recalibration, the calibration certificate shall include the difference in the peak spatial-average SAR (psSAR) before and after the recalibration, so that the extent of the system drift over the previous calibration interval is apparent to the user. For scanning systems using a single probe, it is sufficient to report the maximum difference in the probe calibration parameters. For systems having multiple probes, the maximum differences in the validation results shall be reported.

B.2 Types of calibration

B.2.1 Amplitude calibration with analytical fields

In this document the analytical fields are sampled as fields in waveguides, where the field amplitude inside the tissue-equivalent medium is known from the measured power. Techniques and design guidelines for waveguide calibration are described in IEC 62209-1:2016, Annex B. This method can be applied to single probes.

When performing an uncertainty analysis of the probe calibration in a waveguide, at least the parameters included in Table B.1 shall be considered.

Table B.1 – Uncertainty analysis for single-probe calibration in waveguide

	<i>a</i>		<i>b</i>	<i>c</i>	$u_i = (a/b) \times (c)$	
Quantity x_i (source of uncertainty)	Uncertainty $\pm \%$	Probability distribution	Divisor	c_i	Standard uncertainty $\pm \%$	Degree of freedom ν_i
Incident or forward power				1		∞
Reflected power				1		∞
Liquid conductivity measurement				1		∞
Liquid permittivity measurement				1		∞
Liquid conductivity deviation				1		∞
Liquid permittivity deviation				1		∞
Frequency deviation				1		∞
Field homogeneity				1		∞
Field-probe positioning				1		∞
Field-probe linearity				1		∞
Modulation				1		∞
Noise				1		∞
Combined standard uncertainty		RSS				
NOTE Column headings <i>a</i> , <i>b</i> , <i>c</i> are for reference.						

B.2.2 Amplitude and phase calibration by transfer calibration

Transfer calibration uses one or more antennas (referred to as transfer calibration source) to excite an induced field (referred to as a reference field) that is not known analytically. The field generated by the transfer calibration antenna is instead determined by measurement for a given antenna input power, using a probe that has been calibrated in an analytical field. An example of a transfer calibration is the use of one or several transfer calibration antennas to calibrate a probe-array in a phantom, where the target SAR or reference field at the locations of the probes in the array inside the phantom have been evaluated by measurement using a single reference dosimetric probe for which amplitude calibration has been performed in a waveguide. Calibration of the field phase may require either the use of a phaseless approach to retrieve the phase of the reference fields (Annex C) or a reference probe of different nature that would have been calibrated in phase using analytical fields. Each chosen approach may involve variations in the list of uncertainty contributions that shall be taken into account.

For ensuring an accurate transfer calibration, it is recommended to minimize the deviations between conditions used during the probe or probe-array calibration and conditions used for measurement of the reference fields with the reference probe. For example, the phantom geometry, dielectric properties, temperature and sensor locations shall be as similar as possible.

For calibration of array systems, lower overall uncertainty may be achieved if the sensors are calibrated *in-situ* within the array. This is because removing the sensor from the array for calibration will introduce additional measurement uncertainties due to mutual coupling of the sensors in the array, the mechanical support structure and boundary uncertainties.

Transfer calibration introduces additional uncertainties compared to calibration in analytical fields. The predominant uncertainty contribution is typically the determination of the antenna target value. Other uncertainty contributions include the sensor search (deviation from maximum coupling), sensor coupling (e.g. distortion caused by scattering from adjacent

Table B.2 – Uncertainty analysis for transfer calibration of array systems

[illegible]

B.2.3 Amplitude and phase calibration using numerical reference

This procedure is similar to that of B.2.2 but uses as reference values for the amplitude and the phase of a transfer calibration antenna that have been determined by validated simulations instead of by measurements. The field is instead determined by means of numerical modelling techniques complying with requirements from IEC/IEEE 62704-1. An example of such calibration would involve the use of one or several antennas to calibrate a probe-array in a phantom, where the target SAR or reference field at the locations of the probes in the array inside the phantom have been evaluated by numerical simulations with a finite difference time-domain (FDTD) code. Such methods enable the assessment of both amplitude and phase of all components of the electromagnetic fields. IEC/IEEE 62704-1 provides details on evaluating the uncertainty of numerically simulated fields and SAR data in phantoms. In particular, the deviation between the physical antenna-phantom setup and the numerical model have to be carefully taken into account in the uncertainty budget. The FDTD code used to generate the reference results in this document has been verified according to IEC/IEEE 62704-1. The FDTD algorithm is an explicit second-order accurate solution of Maxwell's equation [31, 32].

The code verification specified in IEC/IEEE 62704-1 unequivocally identifies the algorithm in the software as a numerical implementation of Maxwell's equations according to [31]. Hence, numerical solutions obtained with an FDTD code that has been verified according to IEC/IEEE 62704-1 are traceable to the particular numerical solution of Maxwell's equation of [32]. Numerical error bounds for solutions obtained with [31] shall be quantified particularly for each application as pointed out in IEC/IEEE 62704-1.

The differences between numerical model and physical antenna with respect to the relevant reference values also shall be assessed using the calibration method as described in Annex G. The appropriate uncertainty value covering the maximum differences shall be assessed.

For ensuring an accurate calibration using numerical reference, it is recommended to minimize the deviations between conditions used during the physical probe or probe-array calibration and conditions used for the numerical calculations of the reference fields. For example, the phantom geometry, dielectric properties and sensor locations shall be as close as possible.

For calibration of array systems, lower overall uncertainty may be achieved if the sensors are calibrated *in-situ* within the array. This is because removing the sensor from the array for calibration will introduce additional measurement uncertainties due to mutual coupling of the sensors in the array, the mechanical support structure and boundary uncertainties. Therefore, calibration of the entire array against a numerical reference may be preferable to calibration of individual sensors against an analytic field.

Calibration using numerical reference introduces additional uncertainties compared to calibration in analytical fields. The predominant uncertainty contributions are typically the determination of the transfer calibration antenna target value or reference field, and the deviation between the physical antenna-phantom setup and its numerical model. Other uncertainty contributions include the sensor search, sensor coupling and phantom shape. When performing an uncertainty analysis of the calibration of an array system using numerical reference, at least the parameters included in Table B.3 shall be considered.

Table B.3 – Uncertainty analysis of transfer calibration of array systems

	<i>a</i>		<i>b</i>	<i>c</i>	$u_i = (a/b) \times (c)$	
Quantity x_i (source of uncertainty)	Uncertainty $\pm \%$	Probability distribution	Divisor	c_i	Standard uncertainty $\pm \%$	Degree of freedom v_i
Calibration instrumentation						
Incident or forward power or transmission coefficient measurement accuracy						∞
Reflected power or reflection coefficient measurement						∞
Noise						
Phantom						
Liquid conductivity measurement						∞
Liquid permittivity measurement						∞
Liquid conductivity deviation						∞
Liquid permittivity deviation						∞
Phantom shell shape and dielectric properties						
Application of reference fields						
Reference antenna target value or reference field – numerical modelling uncertainties supposing perfect source model						∞
Deviation between physical antenna and numerical reference antenna						
Reference antenna position						∞
Sensor						
Sensor mutual coupling						∞
Position of the sensor within the probe or probe- array within the calibration setup						
Modulation						∞
Linearity						
Noise						∞
Combined standard uncertainty		RSS				

NOTE 1 Column headings *a*, *b*, *c* are for reference.

NOTE 2 Some of the lines can be doubled to take into account the impact of amplitude and phase on the measurement uncertainty.

Annex C (informative)

Field reconstruction techniques

C.1 General

Vector measurement-based systems and protocols use field reconstruction methods, allowing the application of indirect measurement approaches in which the SAR is evaluated in three dimensions from a limited number of measurement points that may be located in a limited part of the volume of interest, or even outside this volume.

Annex C provides information about methods used to reconstruct the SAR in the volume of interest from measurements on a 2D surface or another sub-region. The objectives and background of field reconstruction techniques are covered in C.2 and C.3, respectively. Clause C.4 describes examples of expansion techniques.

The requirements for field reconstruction techniques are covered in 6.5.

Reconstruction approaches are not limited to the above-mentioned principal methods. For some combinations of measurement and reconstruction approaches the reconstruction problem is in itself underdetermined and requires additional application-specific knowledge (e.g. spatial limits of the source, distance between source and phantom, etc.) and/or constrained optimization to obtain unique solutions. [3, 4, 5, 6]

C.2 Objective of field reconstruction techniques

The objective of vector measurement-based systems in the context of this document is to determine the psSAR averaged over a cubical volume of 1 g or 10 g mass. For that purpose, the knowledge of the SAR distribution in exposed regions of the phantom is required. These regions typically include locations of the phantom that are in close proximity to the device antennas. In addition to propagating modes from the phantom surface, there may also be evanescent modes that decay much more rapidly. Higher measurement uncertainty may result from limitations in the field reconstruction algorithm in the presence of these evanescent modes.

Because only a limited number of points can be measured, the 3D SAR distribution in the relevant regions shall be reconstructed from these measurements. Scanning systems may use a robot to sample the electric field and/or magnetic field at a limited number of points, then reconstruct the volume SAR distribution.

The objective of field reconstruction is to reliably determine the 3D SAR distribution in the relevant regions from a limited number of measurements and to compute the psSAR averaged over a cubical averaging volume of 1 g or 10 g mass.

C.3 Background

Field reconstruction techniques that are suitable for vector measurement-based SAR systems can be derived from the well-established theory of electromagnetic near-field measurements, especially planar 2D scanning based techniques. The principle relies on the measurement of the sampled distributions of the E-field over a 2D grid located in a source-free region, as depicted Figure C.1. In a general sense, the electric-field reconstruction, at an observation point of coordinates $\mathbf{r} = x\hat{\mathbf{x}} + y\hat{\mathbf{y}} + z\hat{\mathbf{z}}$ from the measured field over the scan surface S at $\mathbf{r}' = x'\hat{\mathbf{x}} + y'\hat{\mathbf{y}} + z'\hat{\mathbf{z}}$ can be represented by the integral transform (Formula (C.1)).

$$E(r) = \int_S dr' D(r, r') E(r') \quad (C.1)$$

where

- $E(r)$ is the 3D (volume) vector electric-field phasor;
- $E(r')$ is the 2D (surface) vector electric-field phasor over the scan surface S ;
- $D(r, r')$ is the kernel of the transform.

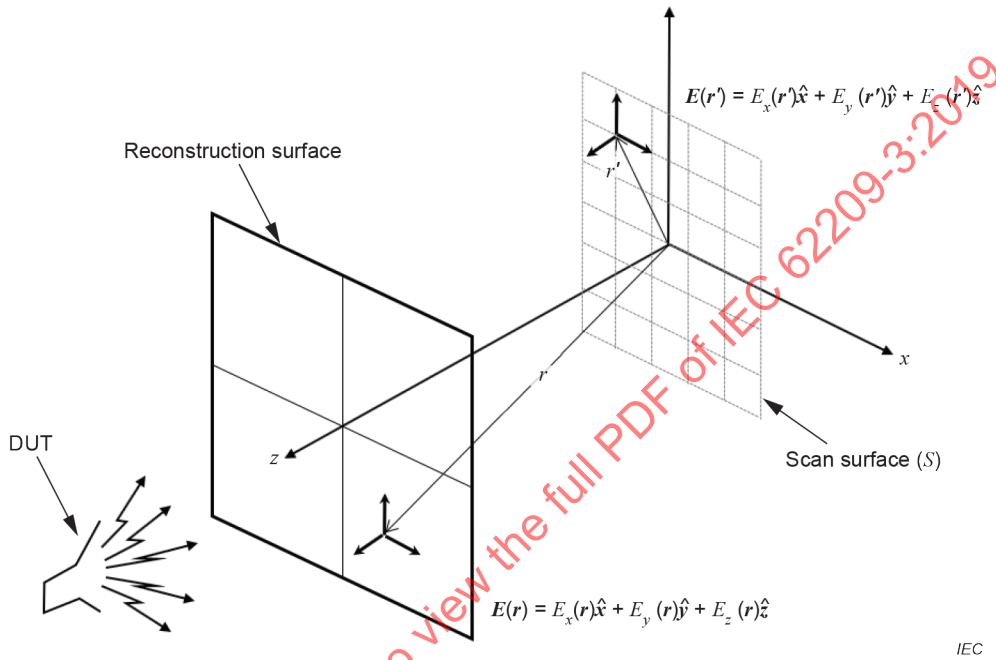


Figure C.1 – Coordinate system for 2D planar measurement-system

Numerous field expansion techniques allow the retrieval of the 3D electromagnetic field in the volume of interest from the sampled 2D fields. For instance, the electromagnetic field can be expanded in terms of Green's functions, plane-waves, or in general, in terms of orthogonal or non-orthogonal basis-functions. Different formulations exist that require the representation of at least two orthogonal field components on a 2D scan area. For example, (i) tangential E-field or dual H fields, (ii) normal component and its normal derivative, or (iii) a mixture of E-field and H-field components. In practice, ideal electromagnetic field probes, such as the Hertzian dipole, do not exist. Hence, the calibration of the probes of vector measurement-based SAR system is indeed key for the achievement of reasonable measurement uncertainties.

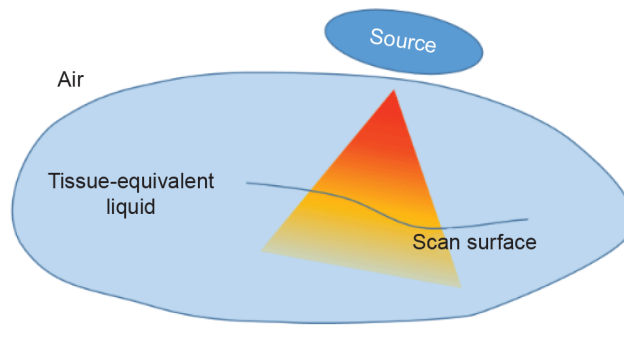


Figure C.2 – Generic configuration of SAR measurement system

Some particular assumptions are necessary for the application of 2D near-field measurement techniques to multiple-probe SAR systems, which have the probes immersed within the tissue-equivalent medium enclosed in the phantom. The high dielectric contrast between the air (the source region) and the tissue-equivalent medium (the measurement region) gives rise to a spatially confined radiation, which together with the rapid dissipation in the tissue-equivalent medium renders resonances in the phantom and scattering of the fields from phantom boundaries negligible. These assumptions allow the tissue-equivalent medium region to be considered as an open homogeneous medium, where a valid field reconstruction can be performed within the inner region as depicted in Figure C.2.

Reconstruction is feasible because the SAR distribution is constrained by Maxwell's equations (which in source-free homogeneous medium reduces to the Helmholtz equation [7]). It is well known that this physical constraint allows the reconstruction of the full field from, for example, complete knowledge of the field on an enclosing surface (Huygens' principle of expansion into spherical waves [8]) or complete knowledge of the field on an infinite plane (plane wave expansion [7]).

It should be pointed out that precise phase information of the electric field components is not necessary to compute the peak spatial-average SAR (psSAR) from the electric fields. Precise knowledge of the phase is only required where measured field components are propagated over an electrically large distance to the location of the averaging volume.

C.4 Reconstruction techniques

C.4.1 Expansion techniques

Probe array SAR measurement systems perform discrete sampling of a sub-region/surface within the phantom. If the sampling is sufficiently dense and the field strength outside the measurable exposure area is sufficiently low, reconstruction can be performed accurately by expansion techniques up to a certain distance from the source. Most commonly applied expansion methods require knowledge of at least two field components as well as their relative phases. Phase information can be obtained either directly through phase measurements or reconstructed from field measurements.

As an example, the main steps of the PWS (plane wave spectrum) expansion principle based on a 2D planar measurement system, depicted in Figure C.3, can be described as follows. Consider the measured electric field $E(x', y', 0)$ over the probe array grid Σ_0 , at an angular frequency $\omega = 2\pi f$, at which the tissue-equivalent medium has a relative permittivity ϵ' and an electrical conductivity σ . Given measurement of all field components, including their phases, the reconstructed, or back-projected, electric-field at a plane $z \geq 0$ (Figure C.3) within the tissue-equivalent medium, using the plane-wave expansion technique is given in Formula (C.2).

$$E(x, y, z) = \iint_{\Sigma_0} D(x, y, z; x', y', 0) E(x', y', 0) dx' dy' \quad (C.2)$$

where

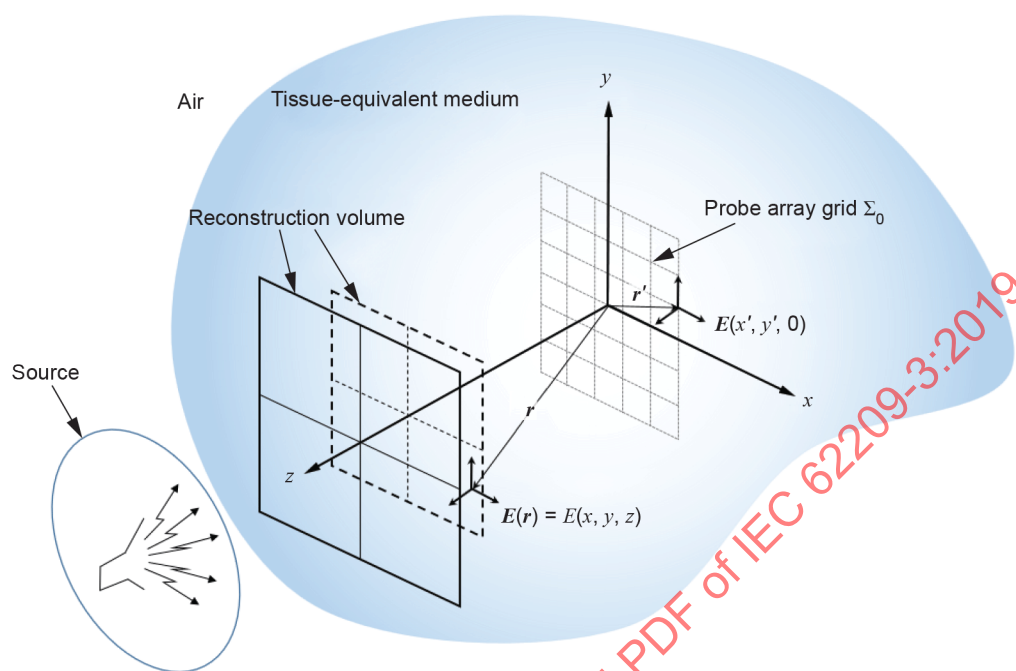
$$D(x, y, z; x', y', 0) = \frac{1}{(2\pi)^2} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-jk_x(x-x') - jk_y(y-y') - j\sqrt{k^2 - k_x^2 - k_y^2}z} dk_x dk_y \quad (C.3)$$

k_x, k_y are the spectral variables;

k is the propagation constant $k = \sqrt{\omega\mu_0(\omega\epsilon_0\epsilon_r - j\sigma)}$;

$\mu_0 = 8,854 \times 10^{-12}$ F/m;

$$\varepsilon_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m.}$$



IEC

Figure C.3 – Schematic representation of 2D planar measurement-based SAR system and its coordinate system

In practice, the scan-area Σ_0 is sampled at the probe locations, and the spectral variables are discretised. The integral operations inherent in the field expansion in Formula (C.2) and Formula (C.3) become simple DFT (discrete Fourier transform) operations.

C.4.2 Source reconstruction techniques

Source reconstruction methods, another well studied category of approaches, are derived from the equivalence theorem [9], which states that it is possible to find magnetic current and/or electric current distributions on a surface that produce the same field within a region as the original source [10, 11]. Such equivalent current distributions can be constructed using, for example, the measured amplitudes and phases of the electric field components and used to obtain the overall field. Source reconstruction techniques do not necessarily require phase information [12] provided that the relevant domain that contains the source and the target fields is confined in a sufficiently small region with respect to the wavelength.

C.4.3 Source base function decomposition

Conceptually between source reconstruction and expansion techniques are approaches that perform constructive synthesis of the SAR distribution from base functions derived from small generic sources (e.g. dipole or multipole) and match them to a measured field distribution.

C.4.4 Phase reconstruction

If measurements only provide amplitude information, phase distributions can be recovered by approaches such as the Gerchberg-Saxton algorithm [13], which requires field measurements on two planes, gradient search methods [14], or solving of the Eikonal equation [15]. The resulting systems of equations are generally underdetermined and nonlinear. They also require the application of additional application-specific knowledge.

C.5 Source reconstruction and SAR estimation from fields measured outside the phantom

The general formulation of the source reconstruction techniques enables the determination of a distribution of equivalent electric currents and magnetic currents on a closed surface surrounding the original source. This distribution radiates the same fields outside the reconstruction region [16] to [18]. In the case of a source device outside a phantom, the equivalent current distribution of the source can therefore be determined from the radiated fields measured outside the phantom by a single probe or multi-probe measurement system using standard antenna measurement techniques as shown in Figure C.4 [19]. This concept can be used to determine the fields induced in a body/head phantom and hence determine the SAR distribution from fields measured outside the phantom ([20] [21]).

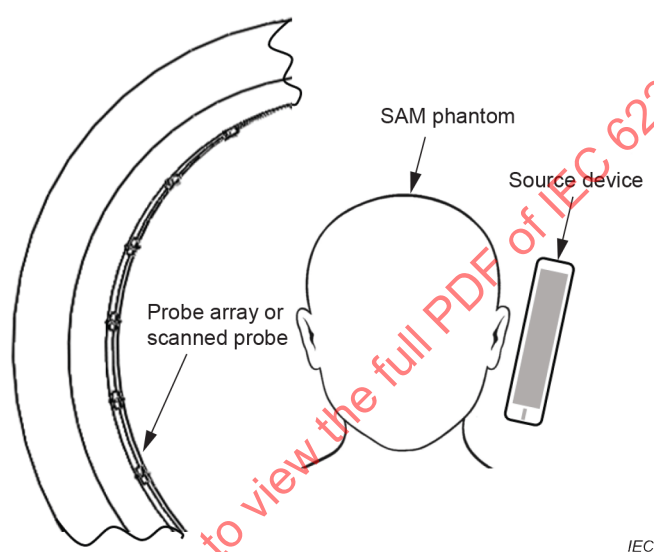


Figure C.4 – Source reconstruction from fields outside a phantom

C.6 Additional considerations for field reconstruction in scanning systems

Scanning systems, which take measurements of the amplitude and/or relative phase of electromagnetic fields, are compatible with the reconstruction techniques described in Clause C.4. Moreover, scanning systems are known to enable adaptive and non-uniform sampling of the electromagnetic fields over scan surfaces that are not necessarily planar. Such sampling strategy can be exploited to compensate for the long measurement time, which is inherent to the probe positioning of scanning systems.

Scanning systems can be based on the same techniques as described above (e.g. phase reference can be readily obtained by a second spatially fixed sensor). However, they may utilize 3D regular and irregular grids that adapt to the exposure conditions [22, 23, 24, 25].

They may also enable non-redundant and varying sampling rate of the electromagnetic field using advanced sampling interpolation schemes [26].

Annex D (normative)

SAR measurement system verification and system validation

D.1 Objectives and purpose

D.1.1 General

The goal of Annex D is to specify the *system check* and *system validation* procedures that enable users and third parties to verify system performance by applying consistent protocols:

- a) *System check*: procedure that uses specific antennas to verify that the performance of the measurement system is repeatable and has not degenerated since the last calibration. The *system check* is performed within the manufacturer-specified specifications of frequency range and antenna position on the phantom;
- b) *System validation*: procedure that uses specific antennas to validate that a measurement system operates within the stated measurement uncertainty. In other words, it verifies that the accuracy is acceptable for use according to this document.

NOTE System validation is normally performed by the system manufacturer, even though it is specified such that it can also be performed independently by any third party. Validation for software updates can be done for each hardware version and does not necessarily have to be done on each specific system.

D.1.2 Objectives and purpose of *system check*

System check provides a fast and reliable method to verify that the SAR system is operational without system component failure, including probe defects, drifts or deviation from target performance requirements. A *system check* also verifies the measurement repeatability of the SAR measurement system against calibrated *system check* antenna(s) before performing compliance testing.

- a) In the case of a scanning system where the tissue-equivalent medium is exposed to air (e.g. robot-based scanning system), *system check* shall be performed prior to compliance tests or within 24 hours before the SAR evaluation and on the same SAR measurement system that is used for the SAR evaluation of the handset. The antenna locations are specified in D.3.2.
- b) For array systems that are sealed and maintained within the laboratory environmental conditions of 6.1, *system check* shall be performed within seven days prior to SAR evaluation because of the small drift. It shall be performed on all phantoms used for the measurements, according to the measurement locations specified in D.3.3 to ensure that there are no potential component failures (e.g. broken sensors), performance degradation (e.g. changes in dielectric properties) or system configuration errors (e.g. air bubbles).

The *system check* is a complete 1 g or 10 g peak spatial-average SAR(psSAR) measurement using a *system check* antenna (see D.3.1), according to the requirements of this document. The same measurement system (sensors, tissue-equivalent medium, and electronics), software version, calibration, and measurement parameters (e.g. resolution, reconstruction parameters, measurement time) shall be used for the *system check* as those used for the compliance tests.

D.1.3 Objectives of *system validation*

The objective of *system validation* is to verify that the SAR measurement system (within its boundaries of the specifications and corresponding uncertainty as determined in Clause 8) will not give erroneous measurement results for the measurement of the DUT. This is achieved by testing a sufficiently large set of well-characterized antennas having target values with minimal uncertainty that encompasses the range of field distributions and signal types encountered with currently available mobile communications devices.

The SAR measurement system is acceptable if the validation measurement results comply with the criteria specified in D.4.

The general requirements for the validation tests are as follows. They shall cover the range of frequencies, SAR levels, signal modulations and measurement locations supported by the measurement system and in accordance with the requirements of this document and the measurement scope of the testing laboratory. The method of measurement for simultaneous transmission (7.4) shall also be validated. The complete set of SAR distributions and results shall be reported according to measurement configurations specified in D.4 and shall be evaluated using the reference antennas specified in Annex F and the target values specified in Table D.3, Table D.4, Table D.5 and Table D.6. A minimum set of antennas to be used for validation is specified in Annex F. Additional antennas may be added to Annex F (e.g. using an amended standard) as described in F.6.

NOTE The method of measurement for simultaneous transmission (7.4) can be validated using two different antennas at different locations.

D.2 SAR measurement setup and procedure for *system check* and *system validation*

D.2.1 General

Antennas described in Annex F for *system check* and *system validation* have been developed for optimum return loss and psSAR reference values at a fixed distance from the flat and SAM head phantom. Those are obtained from numerical simulations and validated by inter-laboratory comparison. The objective of the system check and validation is to reproduce a set of reference psSAR values under well-defined experimental conditions. The simulations reproduce the exact operational conditions of the antennas in their positions at the flat phantom and at the SAM head and therefore reproduce both the field amplitude and distribution in the phantom and the loading conditions of the antenna and their impact on the return loss.

The psSAR reference values for system validation and *system check* using antennas described in Annex F have been determined for the forward power (Tables D.3, D.4, D.5 and D.6 in D.4.5).

The reference antennas for *system validation* (Annex F) may also be used for *system check*. The psSAR measured for the required test conditions shall be normalized to the forward power at the RF input of the reference antenna according to procedures in D.2.3 and compared to the target SAR values. The return loss shall be within the tolerance intervals specified in Tables D.3, D.4, D.5 and D.6. Satisfying this requirement ensures that the uncertainty due to antenna mismatch is within 5 % when comparing to numerical target values (see F.2).

Subclause D.2.2 describes the required power measurement setup for *system check* and *system validation*. Assessment of RF power measurement uncertainty according to D.2.4 is also described.

D.2.2 Power measurement setups

Both *system check* and *system validation* procedures require accurately measured and stable forward power and return loss at the RF input of the reference antennas.

A recommended test setup for using off-the-shelf instrumentation with a reference antenna is shown in Figure D.1. The system includes a signal generator, an amplifier, 10 dB to 20 dB attenuators, a directional coupler, power meter(s), two power sensors, a 50-Ω load, a precision short termination, cables, connectors and adapters. An alternative setup using a single directional coupler instead of a bidirectional coupler to establish reflected power (bwd.) from an S_{11} measurement at the input of the reference antenna may be used. When other

equipment is used, the measurement setup shall be documented by applying similar procedures.

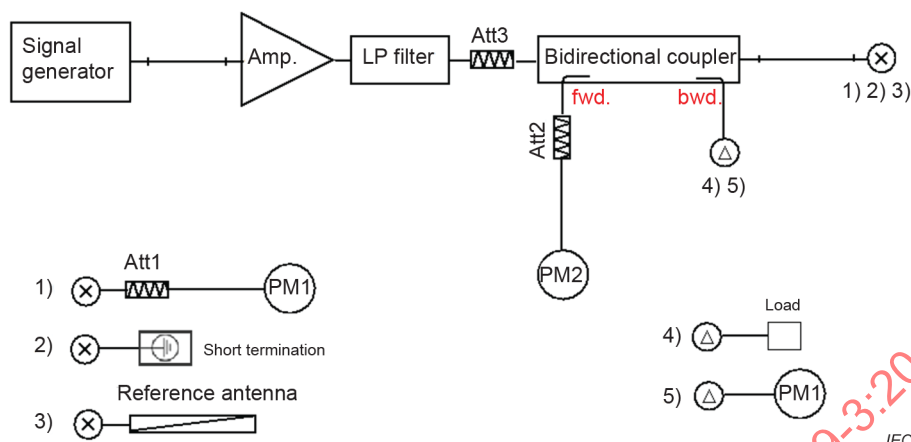


Figure D.1 – Recommended power measurement setup for system check and system validation

The requirements for the components used in the setup shown in Figure D.1 are described in the following.

- a) The signal generator and amplifier shall be stable (after warm-up). The forward power to the reference antenna shall be sufficient to avoid the influence of measurement noise.

NOTE 1 If the signal generator can deliver 15 dBm or more, an amplifier is not necessary for the lower power SAR evaluations.

Some high-power amplifiers should not be operated at a level far below their maximum output power level (e.g. a 100 W power amplifier operated at 250 mW output can be quite noisy).

- b) A low pass filter may be placed after the amplifier to reduce the effects of harmonics and noise from the amplifier.

NOTE 2 For most amplifiers, this filter is typically not necessary if power stability is maintained for normal operation during the measurement.

- c) An attenuator should be placed after the amplifier, before the directional coupler, to improve source matching and overall measurement accuracy (see operating manual of the specific power meter).

NOTE 3 This also allows the amplifier to operate at its optimal condition for improving system stability.

NOTE 4 Att3 is not necessary when the return loss of the low pass filter is better than 20 dB at the input and output ports.

- d) A directional coupler with a coupling coefficient ≥ 20 dB is recommended for monitoring the forward power and adjusting the signal generator output to maintain constant forward power. The coupler shall have a return loss ≥ 20 dB at the input and output ports. A high-quality coupler with respect to directivity and output matching is necessary to avoid additional errors.
- e) The power meter PM2 should have a low drift and a resolution of $\leq 0,01$ dBm, but otherwise its accuracy has no impact on the power setting.
- f) The influence of the cable between the coupler and the reference antenna shall be evaluated as part of the uncertainty assessment.
- g) The power meter PM1 and attenuator Att1 shall be of high quality and calibrated. The attenuator (≥ 10 dB) is used to improve the accuracy of the power sensor (some higher power heads come with a built-in calibrated attenuator). Attenuations can be off by up to 0,2 dB from the specified value; therefore, the exact attenuation at each test frequency shall be verified and used in the calculations.

- h) To avoid linearity and range switching errors in power meter PM2 for *system check* performed at various power levels, the range of PM2 during actual measurement with the reference antenna shall be kept the same as that used during power setup with power meter PM1 connected directly to the cable.
- i) The reference antenna shall be connected directly to the cable at location "X" in Figure D.1. If the power meter and reference antenna require different connector systems, a calibration grade, high-quality adapter shall be used. Preferably, the adapter is calibrated with attenuator Att1 at the input (location "X").
- j) To avoid unacceptable power drifts during *system check*, the equipment should be allowed to warm-up for the duration recommended by the manufacturer(s) before any measurement.

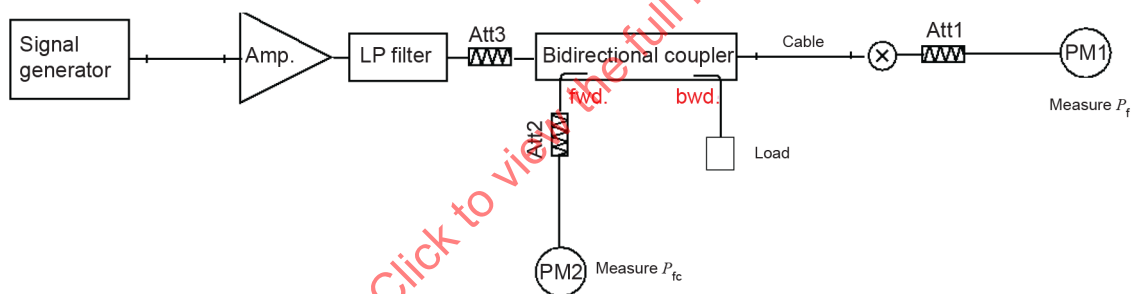
D.2.3 Procedure to measure and normalize SAR

The test procedure is described in the following steps.

- a) Connect the equipment as shown in Figure D.2, with the power meter PM1 and attenuator Att1 connected to the end of the cable. A 50 Ω termination shall be connected at the reverse (bwd.) coupled port of the directional coupler.
- b) Adjust the power output from the signal generator until the forward power P_f at PM1 is at the desired power level.

NOTE All power values in this procedure are RMS values averaged over sufficiently long periods to ensure convergence.

- c) Measure the forward coupled power P_{fc} at PM2.



IEC

Figure D.2 – Equipment setup for measurement of forward power P_f and forward coupled power P_{fc}

- d) Connect the equipment as shown in Figure D.3. The power meter PM1 and its attenuator are disconnected from the end of the cable and a short is placed instead. A power meter is connected to the reverse (bwd.) coupled port of the directional coupler, replacing the 50- Ω termination.
- e) Adjust the power from the signal generator such that the forward (fwd.) coupled power at PM2 is equal to P_{fc} in step c).
- f) Read the shorted reverse coupled power P_{rcs} at power meter PM1.

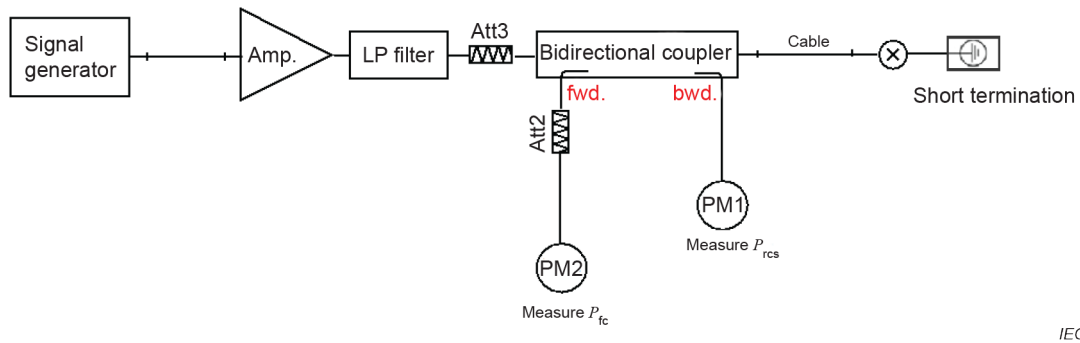


Figure D.3 – Equipment setup for measuring the shorted reverse coupled power P_{rcs}

- g) Connect the equipment as shown in Figure D.4 with the reference antenna connected to the end of the cable, replacing the short termination.
- h) Position the reference antenna at a test location on the phantom, at a test location as shown in Figure D.8, Figure D.9 and Figure D.10.
- i) Adjust the power from the signal generator such that the forward (fwd.) coupled power at PM2 is equal to P_{fc} .

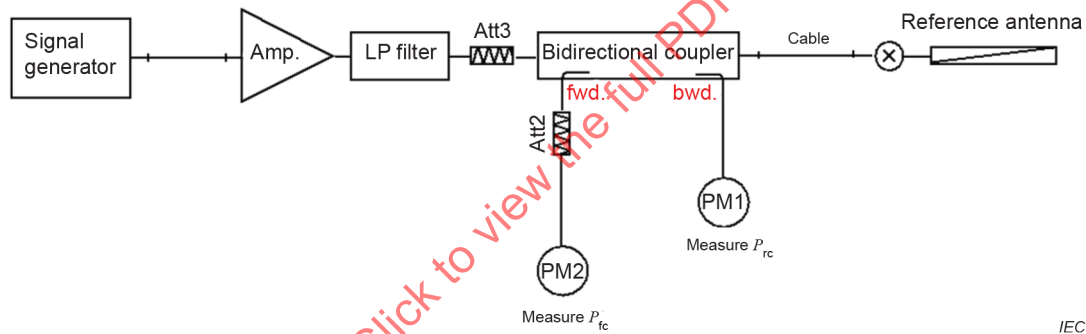


Figure D.4 – Equipment setup for measuring the power with the reference antenna connected

- j) Read the reverse (bwd.) coupled power P_{rc} at power meter PM1.
- k) Measure the 1 g and 10 g psSAR, $SAR_{1g,m}$ and $SAR_{10g,m}$, at the phantom test position.
- l) Calculate the return loss of the reference antenna in dB: $RL = P_{rcs} - P_{rc}$, where P_{rcs} and P_{rc} are in dBm. Ensure that the return loss is within the specifications of Table D.3 to Table D.6.
- m) Normalize the measured SAR to the forward power P_f (Formulas (D.1) and (D.2)):

$$SAR_{1g,NORM} = \frac{SAR_{1g,m}}{P_f} \quad (D.1)$$

$$SAR_{10g,NORM} = \frac{SAR_{10g,m}}{P_f} \quad (D.2)$$

where

$SAR_{1g,NORM}$ is the 1 g psSAR normalized to 1 W;

$SAR_{10g,NORM}$ is the 10 g psSAR normalized to 1 W;

$SAR_{1g,m}$ is the measured 1 g psSAR;

$SAR_{10g,m}$ is the measured 10 g psSAR;

P_f is the forward power.

- n) Record $SAR_{1g,NORM}$, $SAR_{10g,NORM}$, P_f and RL .
- o) Compare the measured SAR values with the appropriate target values, as described in D.3.4 (*system check*) and D.4.7 (*system validation*).
- p) Check that the return loss, RL , is in accordance with the requirements of D.2.1.

D.2.4 Power measurement uncertainty

Figure D.2 describes the power measurement setup used to determine accepted power (P_{acc}) at the end of the cable. P_f is measured by PM1 and related to the forward coupled power (P_{fc}) measured by PM2. Return loss of the reference antenna (RL) is determined by the power measurement setup shown in Figure D.3, where the shorted reverse coupled power (P_{rcs}) is measured at the reverse power port of the directional coupler by PM1. When the reference antenna is connected to the cable as shown in Figure D.4, the reverse coupled power (P_{rc}) is measured by PM1. The uncertainty contributions for P_f , P_{fc} , P_{rc} and P_{rcs} are as follows:

- a) The contributors to $u_{p_{acc}}$ are: $u_1(PM1)$, $u_1(\text{cable})$, $u_1(Att1)$, $u_1(\Gamma_{GE}, \Gamma_e, RL)$.

where

$u_1(PM1)$ is dependent on instrument accuracy, sensor linearity, noise, zero setting, zero drift, calibration factor, reference power accuracy, reference power mismatch;

$u_1(\text{cable})$ is the maximum deviation resulting from cable movement (rectangular distribution);

$u_1(\text{attenuator})$ is the uncertainty on the attenuator value;

NOTE The uncertainty of the attenuator can be excluded if both the power meter PM1 and attenuator Att1 are calibrated together.

- b) The contributors to P_{fc} : no uncertainty, because the signal generator output is adjusted to maintain an exact constant value for P_f at the output of the cable (reference plane).

- c) The contributors to P_{rc} , P_{rcs} are: $u_2(PM1)$, $2 \times u_1(\text{cable})$.

where

$u_2(PM1)$ is dependent on instrument accuracy, sensor linearity, noise, zero setting, zero drift, calibration factor, reference power accuracy, reference power mismatch;

- d) Uncertainty by approximation: $u_1(F)$, this contributor is included if the measurement method with bidirectional coupler is used (the mismatch is included in this uncertainty) without VNA.

- e) Mismatch uncertainty $u_1(\Gamma_{GE}, \Gamma_e, RL)$, this contributor is included if a measurement method with directional coupler and a VNA (for the RL measurement) is used;

where

Γ_{GE} is the equivalent source reflection (Formula (D.3)), when a directional coupler is used:

$$\Gamma_{GE} = \frac{S_{32} + S_{21}}{S_{31}} - S_{22} \quad (D.3)$$

The S parameters (S_{31} , S_{21} , S_{32} , S_{22}) for the 4-port directional coupler (illustrated in Figure D.5) can be obtained from manufacturer specifications, or measured with a VNA.

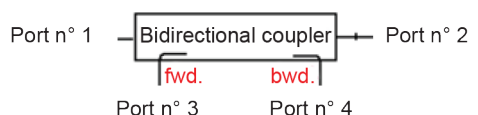


Figure D.5 – Port numbering for the S -parameter measurements of the directional coupler

f) $u_1(\Gamma_{\text{GF}}, \Gamma_e, RL)$ is expressed in Formula (D.4) as:

$$u_1(\Gamma_{\text{GE}}, \Gamma_{\text{e}}, RL) = \sqrt{2} \times \Gamma_{\text{GE}} \times \sqrt{|\Gamma_{\text{e}}|^2 + |RL|^2} \quad (\text{D.4})$$

where

Γ_e is the reflection coefficient of the PM1 power sensor with attenuator Att1;

Γ_{GE} is the equivalent source reflection

RL is the reflection coefficient of the reference antenna.

u_{p_acc} is expressed as:

$$u_{p_acc} = \sqrt{u_1(\text{PM1})^2 + u_1(\text{attenuator})^2 + u_1(\text{cable})^2 + u_2(\text{PM1})^2 + u_1(\Gamma_{GE, \Gamma_e, RL})^2} \quad (\text{D.5})$$

Table D.1 – Example of power measurement uncertainty in %

			a	b	a/b	c	$u_i = (a/b) \times c$	
Symbol	Uncertainty Source	Prob. Dist. ^a	Uncertainty $\pm \%$	Divisor ^a	$u(X_i)$	c_i	Standard uncertainty $\pm \%$	Degree of freedom (ν_i)
Contributors to P_f								
$u_1(\text{PM1})$	Uncertainty of absolute measurement with PM1	N	1,04	1	1,04	1	1,04	100
$u_1(\text{attenuator})$	Uncertainty in S_{21} of Att1	N	0,52	1	0,52	1	0,52	500
$u_1(\text{cable})$	Uncertainty by flexion cable	R	0,18	$\sqrt{3}$	0,104	1	0,104	500
Contributors to P_{rc} and P_{rfs}								
$u_2(\text{PM1})$	Uncertainty of relative measurement with PM1	N	0,29	1	0,29	1	0,29	100
$u_1(\Gamma_{GE}, \Gamma_e, RL)$	Mismatch error uncertainty	R	2,69	$\sqrt{3}$	1,553	1	1,553	100
u_{P_acc}	Power measurement uncertainty ($k=1$)						$u_{P_acc} = 1,964$	Effective degrees of freedom (ν_{eff}) = 192,27

^a Probability distributions and divisors are chosen to best represent available knowledge of the quantities concerned.

NOTE Column headings a, b, c are for reference.

D.3 System check

D.3.1 System check antennas and test conditions

The antennas used for *system check* may be different from those required for the *system validation* (see Annex F). *System check* antennas shall have excellent SAR repeatability (less than 10 % variation) and therefore underpin good positioning repeatability (< 0,2 mm with respect to distance from the shell that shall be established with a low-loss spacer and < 1 mm in tangential directions in case of the head phantoms), mechanical stability, and impedance matching for the measurement conditions.

System check antennas can have two pairs of target values.

- a) Absolute targets $SAR_{1g,cal}$ and $SAR_{10g,cal}$. If the antennas of Annex F are used, the absolute targets provided in Table D.3, Table D.4, Table D.5, Table D.6, Table D.7 and Table D.8 shall be used. These target values shall be determined by numerical modelling that is compliant with IEC/IEEE 62704-1 requirements (including the low-loss spacer in the model). The target values shall also be validated experimentally using a traceable calibration standard in accordance with the requirements of Annex G. Proper application of these conditions according to the requirements of this document shall be demonstrated.
- b) Relative target values $SAR_{1g,sys}$ and $SAR_{10g,sys}$. These are measured values for the specific calibrated measurement system. They are used to determine the drift of the measurement system over time. They are measured in accordance with the setup requirements of D.2 and the test conditions and acceptance criteria of D.3. The *system check* shall be performed within two weeks of the recalibration of the SAR measurement system by the calibration laboratory and $SAR_{1g,sys}$ and $SAR_{10g,sys}$ shall be provided to the user.

D.3.2 System check antennas and test conditions for scanning systems

In case of scanning systems, *system check* for $SAR_{cal,1g}$ and $SAR_{cal,10g}$ shall be performed using the same calibration factors and medium as in the compliance test and using a *system check* antenna at a chosen fixed frequency that is within ± 10 % or ± 100 MHz of the compliance test mid-band frequency, whichever is greater. The *system check* shall be performed in the centre location of the flat phantom. For the head phantom, the *system check* shall be performed at one of the four locations: C(0), D(90), F(90) and H(0) selected equally over time. The test may be limited to the flat phantom (i.e. head phantom is optional) if the same sensors, tissue-equivalent medium and reconstruction algorithm are used in each flat phantom and in each head phantom and each phantom. The psSAR value from the *system check* shall be within the acceptance criteria specified in D.3.4.

To evaluate the maximum drift in the psSAR from $SAR_{sys,1g}$ and $SAR_{sys,10g}$, the user shall select the same locations as those where $SAR_{sys,1g}$ and $SAR_{sys,10g}$ are provided (see D.3.1).

D.3.3 System check antennas and test conditions for array systems

In case of array systems, the *system check* antennas shall be selected such that tested frequencies of the DUT are covered. The frequencies of the *system check* shall either each be within ± 10 % or ± 100 MHz of the compliance test mid-band frequency (whichever is greater), or they cover the tested frequency range of the DUT. The system manufacturer shall provide justification that the selected frequencies are sufficient to cover the tested frequency range. This justification shall document the frequency dependence of the validation results.

NOTE 1 As an example, four dipole antennas at 835 MHz, 1 950 MHz, 2 450 MHz and 5 800 MHz can be considered sufficient to cover testing from 600 MHz to 6 000 MHz, based on justification provided by the system manufacturer.

At each selected frequency, SAR shall be measured in all flat and head phantoms at four or more locations. The user may select any locations and orientations where target values, $SAR_{1g,cal}$ and $SAR_{10g,cal}$, are specified (see D.3.1) and that are within the validity range of the phantom specified by the manufacturer.

NOTE 2 The user may want to cover the locations of the measurement area of the phantom.

To evaluate the maximum drift in the psSAR from $SAR_{sys,1g}$ and $SAR_{sys,10g}$, the user shall select the same locations as those where $SAR_{sys,1g}$ and $SAR_{sys,10g}$ are provided (see D.3.1).

D.3.4 System check acceptance criteria

System check is a complete 1 g and/or 10 g psSAR measurement. The measured 1 g and/or 10 g SAR is normalized to 1 W forward power into the *system check* antenna and compared to the appropriate target values. The required RF power measurement setup and SAR normalization procedure are described in Clause D.2.

The *system check* is successful if:

- all measured values are within two standard deviations of the system standard uncertainty u_s (see Table 5) of the absolute targets $SAR_{1g,cal}$ and/or $SAR_{10g,cal}$, provided in Table D.3, Table D.4, Table D.5, and Table D.6, and
- all measured values are within $\pm 10\%$ of the values ($SAR_{1g,sys}$ and/or $SAR_{10g,sys}$, see D.3.1) for that measurement system using the same equipment setup and source antenna.

In case these criteria are met, the reasons for non-conformity shall be investigated and corrected before starting DUT SAR testing with the non-conformed frequency and phantom configuration.

D.4 System validation

D.4.1 Validation of array systems and scanning systems

All vector-measurement based systems shall meet the same validation criteria. *System validation* is typically performed at least once a year, and shall be documented by the system manufacturer, in accordance with Clause 6.

The user may perform the on-site *system validation* after installation of the system (see D.4.6).

D.4.2 Requirements for system validation antennas and test conditions

Validation test conditions shall be selected based on system specifications established by the system manufacturer as compliant with the requirements of this document and according to measurement requirements for the system as deployed at the testing laboratory.

NOTE For example, if a laboratory performs only WLAN tests for body-worn devices, validation is required only for the flat phantom in the 2,45 GHz and 5 GHz range for the subsets of tests specified in D.4.

D.4.3 Requirements for array systems and scanning systems

The *system validation* antennas and procedure shall meet the following requirements:

- a) *System validation* shall cover the range of frequencies used by the system for testing. Every DUT test frequency shall be within ± 100 MHz or $\pm 10\%$ (whichever is greater) of a validation frequency supported by the SAR system. An example set of validation frequencies for a system used in the 600 MHz to 6 000 MHz range may include 750 MHz, 835 MHz, 900 MHz, 1 450 MHz, 1 750 MHz, 1 950 MHz, 2 450 MHz, 2 600 MHz, 3 700 MHz, 5 200 MHz, 5 500 MHz and 5 800 MHz.
- b) *System validation* shall be done for the modulation, multiplexing schemes and duplex schemes that represent the set of signals that the DUTs are using. In Table D.2, all modulations of group G1 and all modulations in each of groups G2 and G3 shall be tested.

- c) The SAR distributions included in *system validation* shall include those that are dominated by field components normal to the phantom surface (i.e., evanescent components) of various polarizations, and those that are dominated by field components tangential to the phantom surface.
- d) The antennas and RF measurement equipment used for the validation shall be an independent set of equipment from those used for system calibration. Using different sets of equipment avoids any calibration biases being passed on to the validation.
- e) The measured SAR levels shall correspond to the dynamic range of the SAR measurement system and the range of SAR expected from wireless devices to be tested, (e.g. from $> 0,1$ W/kg to < 10 W/kg).
- f) Different locations (Figure D.11 and Figure D.12) are chosen to ensure that variations in the sensor locations and inhomogeneity of the tissue-equivalent medium are considered. The locations are chosen for reliable psSAR evaluation within the measurement region specified for the system, i.e. the manufacturer shall specify this region. Locations that are too close to the edges of the measurement region may introduce errors and uncertainties that are unacceptable.
- g) 1 g and 10 g psSAR targets of the reference antennas shall be determined based on numerical assessments that are in compliance with IEC/IEEE 62704-1. The expanded uncertainty of the SAR targets (stated as $u_{sa} = 15$ % in D.4.7) shall not exceed 20 % and results for more than 60 % of the antennas shall be below 10 % ($k = 2$). The reference antennas shall be verified by traceable calibration (e.g. in accordance with ISO/IEC 17025). The reference antennas used for *system validation* are specified in Annex F.

Table D.2 – Modulations and multiplexing modes used by radio systems

Group	No.	Group denomination	Modulation Type	Transmission method / Multiplexing	Duplex	Example	Description
G1	M1	Reference non modulated – Low PAPR	CW	n/a	n/a	CW	Unmodulated carrier
	M14	Reference non modulated – High PAPR	CW	n/a	n/a	Pulse	Pulse signal with a period of 10 ms and a duty cycle of 10 % (1ms ON – 9 ms OFF)
G2	M2	High PAPR	GFSK, PSK	TDMA	FDD	GSM	EDGE-FDD (TDMA, 8PSK, TN 0)
	M6	High PAPR	QAM	OFDM	TDD	WLAN	IEEE 802.11g WiFi 2,4 GHz (DSSS/OFDM, 54 Mbps)
	M5	High PAPR	QAM	OFDM	TDD	WLAN	IEEE 802.11a/h WiFi 5 GHz (OFDM, 54 Mbps)
	M10	High PAPR	64-QAM	SC-FDMA	TDD	LTE-TDD	LTE-TDD (SC-FDMA, 1 RB, 1,4 MHz, 64-QAM)
	M8	High PAPR	64-QAM	SC-FDMA	TDD	LTE-TDD	LTE-TDD (SC-FDMA, 100 RB, 20 MHz, 64-QAM)
G3	M4	Low PAPR	QAM	OFDM	TDD	WLAN	IEEE 802.11a/h WiFi 5 GHz (OFDM, 6 Mbps)
	M9	Low PAPR	16-QAM	SC-FDMA	FDD	LTE-FDD	LTE-FDD (SC-FDMA, 1 RB, 20 MHz, 16-QAM)
	M7	Low PAPR	QPSK	SC-FDMA	FDD	LTE-FDD	LTE-FDD (SC-FDMA, 100 RB, 20 MHz, QPSK)
	M3	Low PAPR	GFSK	TDMA	TDD	Bluetooth	IEEE 802.15.1 Bluetooth (GFSK, DH1)
	M12	Low PAPR	QPSK	DSSS	TDD	WLAN	IEEE 802.11b WiFi 2,4 GHz (DSSS, 11 Mbps)
	M13	Low PAPR	GFSK, PSK	TDMA	FDD	GSM	GPRS-FDD (TDMA, GMSK, TN 0-1-2-3)
	M11	Low PAPR	QPSK	CDMA	FDD	UMTS	WCDMA, 12,2 kbps RMC, IS-2000

D.4.4 Test positions for system validation

D.4.4.1 General

The antenna test positions for head phantoms are selected such that the projected area of a large wireless device that can be operated at the ear is covered by the test positions within the measurement region. The selected dimensions are 80 mm × 160 mm. Given that the antennas can be located anywhere on the wireless device and that curved devices cannot be excluded, the antenna may be in close proximity to the user's face anywhere within this area. The maximum measurement area specified by the system manufacturer shall be marked on the phantom or otherwise indicated to the user.

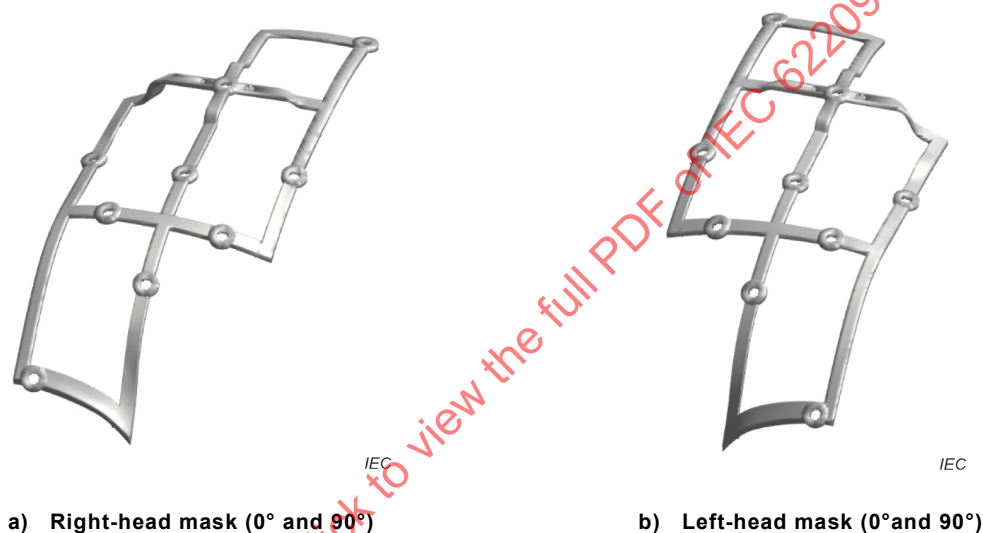
The test positions for flat phantoms are selected such that the largest wireless device to be tested by the system is covered by the test positions within the measurement region. Maximum device size (maximum length L , maximum width W) shall be marked on the phantom or otherwise indicated to the user. The validation locations shall be independently scaled to the maximum device size within the measurement region specified in Figure D.11. If the DUT is equal to or larger than the measurement area supported by the phantom, the scan shall be divided into smaller regions, as described in 7.1.7.

D.4.4.2 Antenna location

The selected test locations for the antenna on the flat and head phantoms are specified as follows:

- Flat phantom: the locations of positioning for the reference antennas are defined in Figure D.11. Location A0 is specified such that the geometric centre of the antenna structure is above the centre of the measurement area. For dipole antennas, the geometric centre is the midpoint of the dipole tips along the dipole axis. For VPIFAs, the geometric centre is at the tip of the integrated spacer. For 2-PEAK CPIFAs, the geometric centre is the midpoint along the length L_1 and width W_1 (Clause F.5).

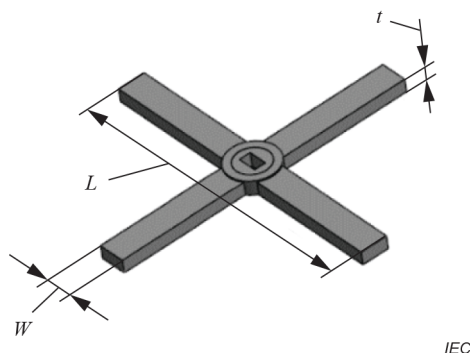
Head phantom: the locations of positioning for the reference antennas are specified in Figure D.12. For dipole antennas and VPIFAs, the positioning is achieved using SAM masks in Figure D.6. For the 2-PEAK CPIFA, the position is achieved by locating the centre of the cross (Clause F.5) over the ear reference point (ERP).



The recommended tolerances for the 3D printed masks are $\pm 0,50$ mm.

NOTE Different techniques can be used to produce these masks. For example, selective laser sintering (SLS) of Polyamide 12 (PA12) has been used. This material has a relative permittivity of 2,2 and loss tangent better than 0,01.

Figure D.6 – SAM masks for positioning dipole antennas and VPIFAs on the head phantoms, including holes where the antenna spacer is inserted



The recommended tolerances for the 3D printed masks are $\pm 0,50$ mm.

NOTE 1 The masks have a width of $w = 5,4$ mm. The rectangular hole for inserting the VPIFA spacer has a length of $L_h = 3,8$ mm and a width of $w_h = 2,3$ mm. The length and thickness depend on the antenna. For 750 MHz, 835 MHz and 1 950 MHz, $L = 60$ mm and $t = 1,5$ mm. For 3 700 MHz, $L = 40$ mm and $t = 2,9$ mm.

NOTE 2 Different techniques can be used to produce these masks. For example, selective laser sintering (SLS) of Polyamide 12 (PA12) has been used. This material has a relative permittivity of 2,2 and loss tangent better than 0,01.

Figure D.7 – Flat masks for positioning VPIFAs on the flat phantoms, including a hole in the centre where the VPIFA spacer is inserted

D.4.4.3 Antenna orientation

For the flat phantom, the 0° orientation is specified such that the long axis of the antenna is parallel to the line between points D1 and A1 (see Figure D.11). Other orientations are specified by clockwise rotation of the antenna from the D1-A1 line.

For the head phantom, the 0° orientation is specified such that the long axis of the antenna is parallel to the MB line on the SAM phantom. For the VPIFAs, the 0° orientation is additionally specified such that the coaxial feed is facing the neck of the SAM phantom; the 90° orientation is specified such that the coaxial feed is oriented toward the nose of the SAM phantom. For the 2-PEAK CPIFA, the 0° orientation is additionally specified such that the rectangular cavity on the opposite side of the cross is above the MB line. For dipole antennas, the antenna orientations are shown in Figure D.13.

D.4.4.4 Antenna separation distance

For the validation antennas described in Annex F, the separation distances s referenced in Tables D.3 and D.4 and s referenced in Tables D.5 and D.6 are specified for the flat phantom and SAM phantom, respectively.

On the flat phantom, the distance s includes the thickness of the shell, e , and is specified as follows:

- For the dipoles, s is the distance from the axis of the dipole arms to the tissue-equivalent medium, as shown in Figure D.8.
- For the VPIFA, s is the distance from the tip of the integrated spacer to the tissue-equivalent medium, as shown in Figure D.10. This distance is fixed at $s = 2$ mm. In other words, the tip of the integrated spacer is positioned against the outer surface of the phantom shell.
- For the 2-PEAK CPIFA, s is the distance from the front surface of the 2-PEAK CPIFA to the tissue-equivalent medium as shown in Figure D.9. This distance is fixed at $s = 7$ mm, which includes a 5 mm distance to the outer surface of the flat phantom shell and the 2 mm shell thickness. A low loss, low permittivity spacer with 5 mm thickness may be inserted between the 2-PEAK CPIFA and the phantom shell to achieve this distance (see 6.5 for spacer permittivity and loss requirements).

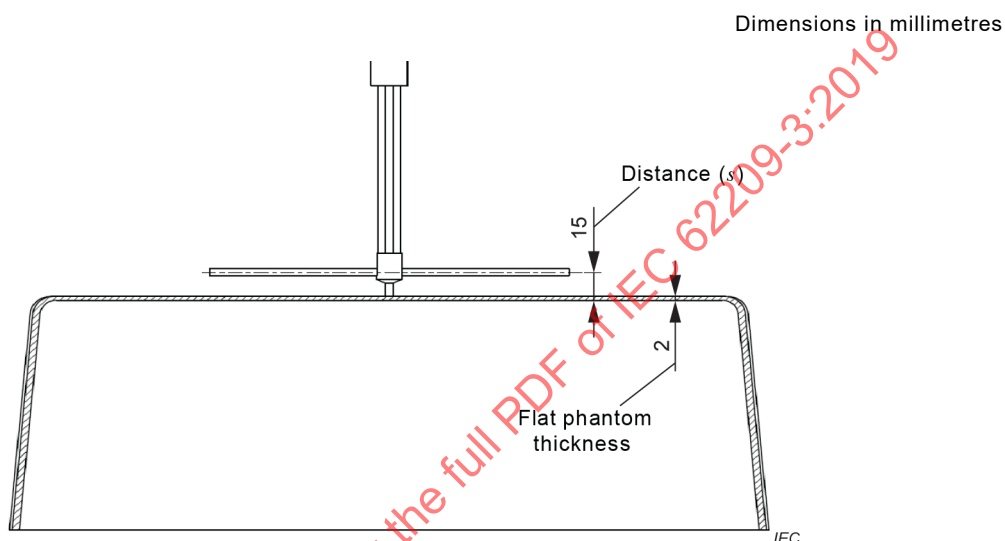
On SAM phantom the distance (d) refers to the distance from the antenna to the external surface of the shell, with Formula (D.6):

$$d = s - e \quad (\text{D.6})$$

where

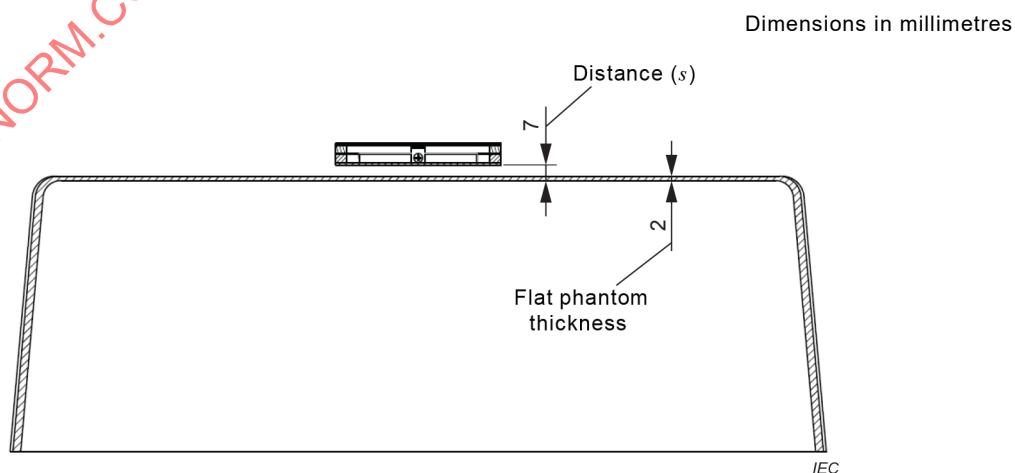
s depends on the antenna type as specified for the flat phantom,

e is the flat phantom shell thickness = 2 mm $\pm$ 0,2 mm as specified in Clause A.2.



NOTE Dipole positioned over the flat phantom having 2 mm shell thickness, showing the distance of $s = 15$ mm between the axis of the dipole arms and the tissue-equivalent medium. The 0° orientation of the dipole antenna is specified such that dipole axis is parallel to the longest dimension of the flat phantom measurement area.

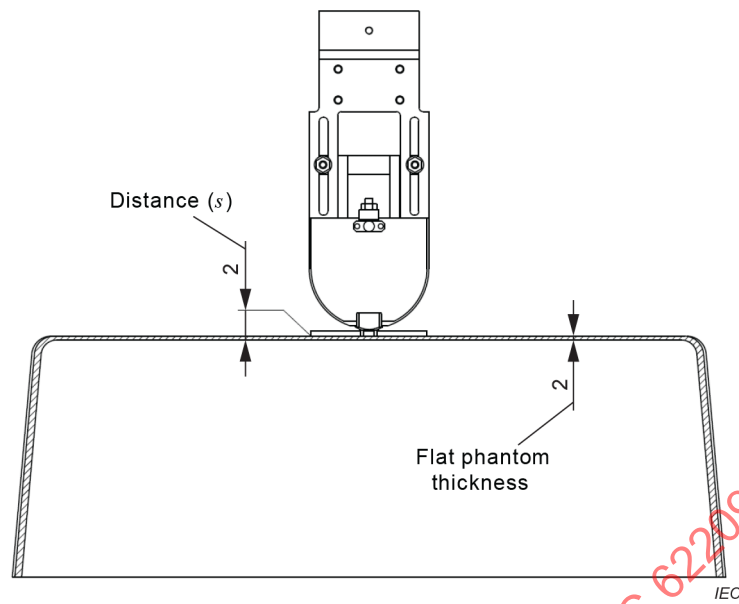
Figure D.8 – Dipole showing the distance of $s = 15$ mm



NOTE 2-PEAK CPIFA positioned over the flat phantom having 2 mm shell thickness, showing the fixed distance of $s = 7$ mm between the front surface of the 2-PEAK CPIFA and the tissue-equivalent medium. The 0° orientation of the 2-PEAK CPIFA is specified such that the longest dimension of the 2-PEAK CPIFA is parallel to the longest dimension of the flat phantom measurement area.

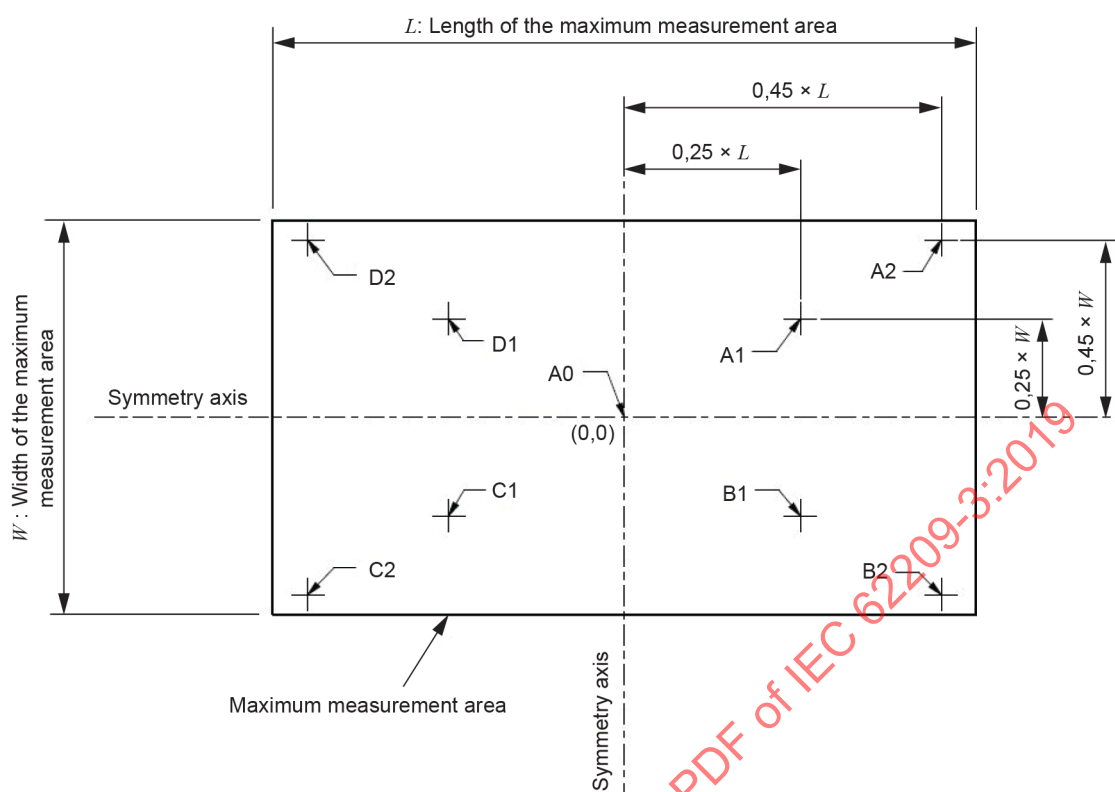
Figure D.9 – 2-PEAK CPIFA showing the fixed distance of $s = 7$ mm

Dimensions in millimetres



NOTE VPIFA positioned over flat phantom with 2 mm shell thickness, showing the fixed distance of $s = 2$ mm between the tip of the integrated spacer and the tissue-equivalent medium. The 0° orientation of the VPIFA is specified such that the width of the VPIFA is parallel to the longest dimension of the flat phantom measurement area.

Figure D.10 – VPIFA positioned showing the fixed distance of $s = 2$ mm



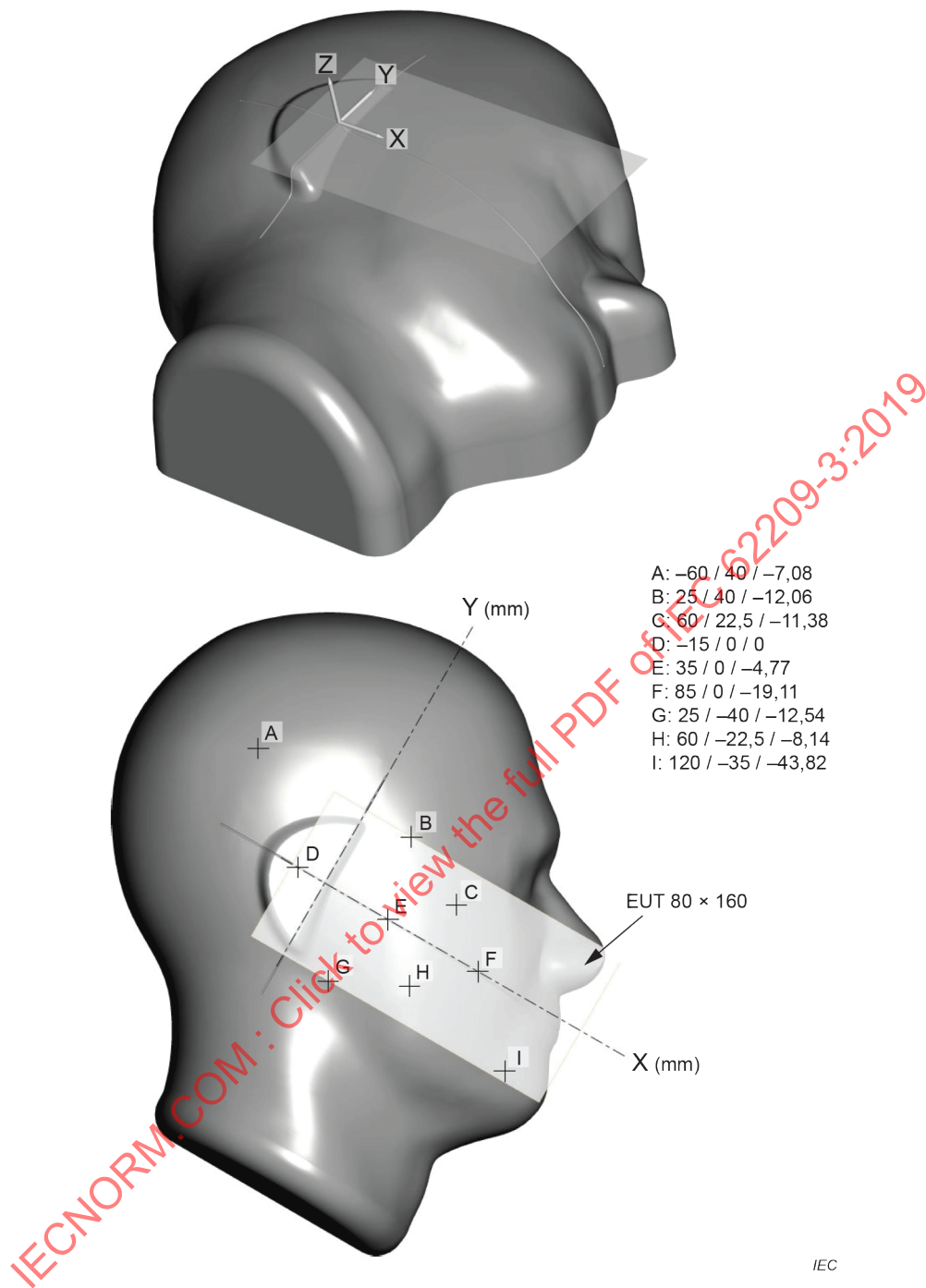
IEC

NOTE 1 The zero degree orientation is in the D1 to A1 direction with clockwise rotation to achieve the different orientation defined in Tables D.2 to D.3. The rotational axis z is normal to phantom surface and points inside the phantom.

NOTE 2 Point A0 is aligned with the centre of the flat phantom.

Figure D.11 – System check and validation locations for the flat phantom

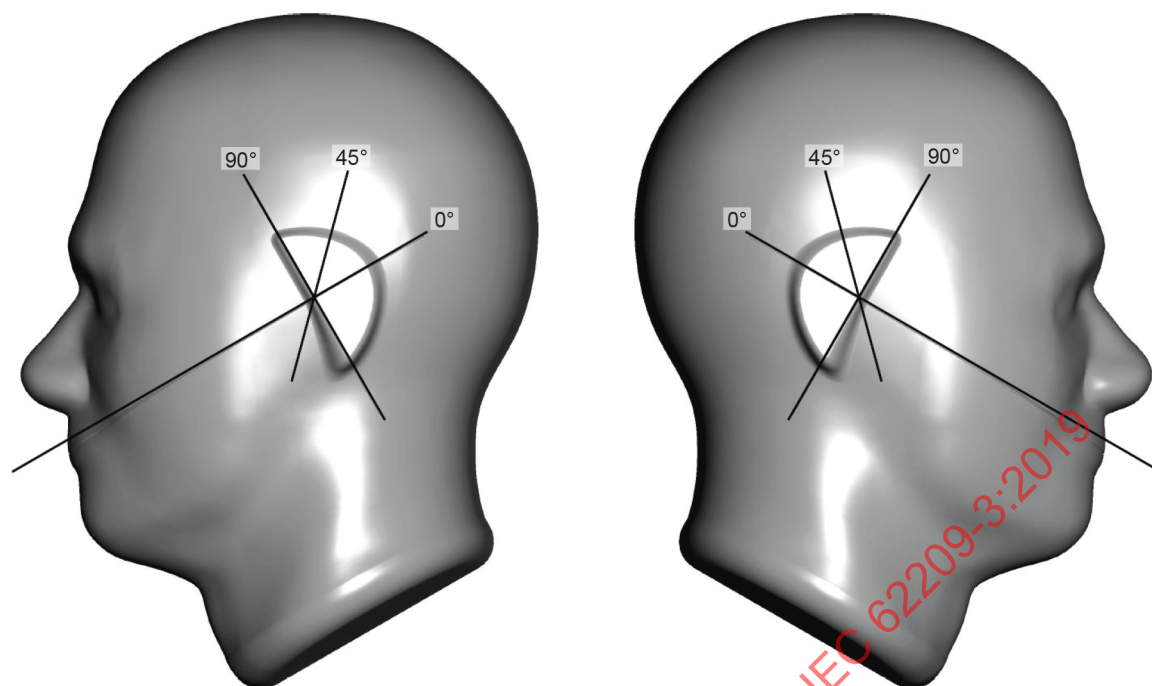
In Figure D.11, L and W shall be at least 160 mm and 80 mm, respectively. These shall be extended independently such that they cover the maximum measurement area for 10 g psSAR.



The points are illustrated here for the right head but the mirror points may be taken for the left head. Measurement location A may be omitted if the system is declared not suitable for testing devices with external stub or whip antennas. Measurement location I can be omitted if the system is declared not suitable for devices with bottom antenna or curved surface in close proximity to this location.

NOTE The points correspond to the projected points from a planar phone positioned at the ear.

Figure D.12 – System check and validation locations for the head phantom



IEC

NOTE The z axis points normal to the surface and positive direction into the medium for the right head (and opposite for the left head). The 0° angle is parallel to the line from the mouth to the ear reference point (i.e., the x axis in Figure D.12). For the right head, the other angles are defined with clockwise rotation from 0°.

Figure D.13 – Definition of rotation angles for dipoles

D.4.5 System validation procedure based on peak spatial-average SAR

The *system validation* procedure is performed for each phantom system using the reference antennas as specified in Annex F and by sequentially measuring the spatial peak SAR_{1g} and SAR_{10g} of all the test conditions as specified in Table D.3, Table D.4, Table D.5 and Table D.6.

Additional tests may also be included if valid numerical target values are available (see D.4.6). The target values have been determined numerically with a standard uncertainty of u_{saj} of 0,2 dB for the dipoles and 0,3 dB for the VPIFAs and 2-PEAK CPIFA. All values have been verified measurements in accordance with the requirements of F.1, and the difference between numerical target and the measured value was found well within the combined uncertainty of the calibration procedure.

Table D.3 – Peak spatial-average SAR (psSAR) averaged over 1 g and 10 g values for the flat phantom filled with tissue-equivalent medium for the antennas specified in Annex F

No	Antenna Annex F	f_1 [MHz]	P_f [dBm]	Modulation	Location Angle [°]	s [mm]	$SAR_{1g,cal}$ [W/kg]	$SAR_{10g,cal}$ [W/kg]	U_{sa1} ($k=1$) [dB]	Lower_RL_limit [dB]	Upper_RL_limit [dB]
1	D750	750	20	M1	A0/A1/A2/B1/B2 C1/C2/D1/D2 0/ 45/ 90	15	0,849	0,555	0,2	12,3	>35
2	D750	750	13	M1, M9, M10	A0/A1/A2 0/ 67,5/ 90	15	0,169	0,111	0,2	12,3	>35
4	D750	750	20	M2, M13, M14	C1/C2 22,5	25	0,515	0,359	0,2	12,6	>35
5	D1950	1950	10	M1, M7, M8, M11	B1/B2 0/67,5/90	10	0,405	0,209	0,2	12,3	>35
6	D1950	1950	24	M1	A 1/A2 0/ 45/ 90	10	10,17	5,25	0,2	12,3	>35
7	D1950	1950	3	M1	A0/D1/D2 0/22,5/90	5	0,13	0,059	0,2	8,6	13,2
8	D1950	1950	30	M1, M14	D1/D2 22,5	25	6,91	4,15	0,2	11,2	>35
9	D2450	2450	10	M1, M3, M6	C1/C2 0/45/90	10	0,514	0,238	0,2	12,3	>35
11	D2450	2450	30	M3, M12	D1/D2 0/45/90	10	51,4	23,80	0,2	12,3	>35
11	D2450	2450	3	M1	A0/A1/A2 0/67,5/90	5	0,188	0,078	0,2	7,6	10,6
12	D2450	2450	20	M3, M6, M14	B2 22,5	25	0,717	0,393	0,2	8,6	13,1
13	D5800	5800	10	M4, M5	D1/D2 0/67,5/90	10	0,78	0,219	0,2	12,3	>35
15	D5800	5800	0	M1	A0/A1/A2 0/45/90/	5	0,274	0,057	0,2	7,2	9,7
16	D5800	5800	20	M1, M14	A0 22,5	25	1,48	0,57	0,2	10,3	>35
17	D835	835	30	M1	A2 22,5/ 67,5	15	9,56	6,22	0,2	12,3	>35
18	D900	900	17	M1	A1 0/ 90	15	0,547	0,350	0,2	12,3	>35
19	D1450	1450	13	M1	A0 0/ 90	10	0,583	0,324	0,2	12,3	>35
20	D1750	1750	10	M1	B1 22,5/ 67,5	10	0,364	0,193	0,2	12,3	>35
21	D2300	2300	20	M1	B2 0/ 90	10	4,87	2,33	0,2	12,3	>35
22	D2600	2600	20	M1	C1 0/ 90	10	5,53	2,46	0,2	12,3	>35
23	D3700	3700	10	M1	C2 22,5/ 67,5	10	0,674	0,242	0,2	12,3	>35

No	Antenna Annex F	f_1 [MHz]	P_f [dBm]	Modulation	Location Angle [°]	s [mm]	$SAR_{1g,cal}$ [W/kg]	$SAR_{10g,cal}$ [W/kg]	$U_{eq}(k=1)$ [dB]	Lower_RL_limit [dB]	Upper_RL_limit [dB]
24	D5000	5200	7	M1	D1 0/ 90	10	0,379	0,107	0,2	12,3	>35
25	D5000	5500	7	M1	D2 22,5/ 67,5	10	0,417	0,117	0,2	12,25	>35
26	D5000	5600	27	M1	A1 0/ 90	10	40,1	11,3	0,2	12,3	>35
27	VPIFA- 750	750	24	M1	A0/A1/A2/B1/B2/ C1/C2/D1/D2 0/ 90	2	3,25	0,97	0,3	12,5	>35
28	VPIFA- 835	835	24	M1	A0/A1/A2/B1/B2/ C1/C2/D1/D2 0/ 90	2	3,32	0,96	0,3	12,3	>35
29	VPIFA- 1950	1950	24	M1	A0/A1/A2/B1/B2/ C1/C2/D1/D2 0/ 90	2	2,18	0,90	0,3	10,8	>35
30	VPIFA- 3700	3700	24	M1	A0/A1/A2/B1/B2/ C1/C2/D1/D2 0/ 90	2	2,48	1,04	0,3	12,6	>35

NOTE 1 The return loss limits indicate that the mismatch uncertainty is within 5 % of the uncertainty defined in Table D.1 compared to the return loss provided in Table F.1.

NOTE 2 Modulations are as specified in Table D.2.

NOTE 3 P_f is the forward power described in D.2.2.

Table D.4 – Peak spatial-average SAR (psSAR) averaged over 1 g and 10 g values for antenna generating two peaks on the flat phantom filled with tissue-equivalent medium for the antennas specified in Annex F

No	Antenna Annex F	f_1 [MHz]	P_f [dBm]	Modulation	Location Angle [°]	s [mm]	$SAR_{1g,cal}$ [W/kg]	$SAR_{10g,cal}$ [W/kg]	$SAR_{1g,cal}$ [W/kg]	$SAR_{10g,cal}$ [W/kg]	$U_{tj}(k=1)$ [dB]	Lower_RL_limit [dB]	Upper_RL_limit [dB]
1	2-PEAK CPIFA	2450	24	M1	A0 0/ 180	7	1,7	0,806	1,34	0,661	0,3	11,3	>35

NOTE 1 Distance (s) is shown in figures D.7.

NOTE 2 The return loss limits indicate that the mismatch uncertainty is within 5 % of the uncertainty specified in Table D.1 compared to the return loss provided in Table F.1.

NOTE 3 Modulations are as specified in Table D.2.

NOTE 3 P_f is the forward power described in D.2.2.

Table D.5 – Peak spatial-average SAR (psSAR) averaged over 1 g and 10 g values on the head left and right phantom for the antennas specified in Annex F

No	Antenna Annex F	f_1 [MHz]	P_{eff} [dBm]	Modulation	Location angle [°]	d [mm]	SAR 1g,cal [W/kg]	SAR 10g,cal [W/kg]	U_{eff} ($k=1$) [dB]	Lower_RL_limit [dB]	Upper_RL_limit [dB]
1	D750	750	30	M1, M9, M10, M14	A/ B/ D/ F 0/ 45/ 90	15	A(0/45/90)=(7,55/7,28/7,58); B(0/45/90)=(8,32/8,90/8,24); D(0/45/90)=(7,13/7,17/6,78); F(0/45/90)=(7,48/8,48/8,43)	A(0/45/90)=(4,98/4,91/5,09); B(0/45/90)=(5,51/5,85/5,44); D(0/45/90)=(4,85/4,90/4,62); F(0/45/90)=(5,03/5,72/5,60)	0,2	A(0/45/90)=(8,4/9,0/8,5) B(0/45/90)=(9,1/9,4/9,1) D(0/45/90)=(10,3/10,8/10,3) F(0/45/90)=(9,0/8,8/8,9)	A(0/45/90)=(12,6/14,7/13,0) B(0/45/90)=(15,1/16,8/14,9) D(0/45/90)=(>35/>35/>35) F(0/45/90)=(14,6/14,1/14,4)
2	D750	750	15	M2, M13	C/ E/ H/ I 0/ 45/ 90	15	C(0/45/90)=(0,243/0,278/0,266); E(0/45/90)=(0,278/0,288/0,259); H(0/45/90)=(0,243/0,288/0,266); I(0/45/90)=(0,256/0,247/0,225)	C(0/45/90)=(0,161/0,183/0,177); E(0/45/90)=(0,183/0,190/0,171); H(0/45/90)=(0,168/0,190/0,177); I(0/45/90)=(0,171/0,164/0,149)	0,2	C(0/45/90)=(9,4/9,8/9,4) E(0/45/90)=(9,4/10,2/11,1) H(0/45/90)=(9,7/10,4/10,4) I(0/45/90)=(10,428/10,926/10,662)	C(0/45/90)=(16,7/20,4/16,9) E(0/45/90)=(16,9/>35/>35) H(0/45/90)=(>35/>35/>35) I(0/45/90)=(>35/>35/>35)
3	D1950	1950	20	M1, M7, M8, M11	A/ B/ D/ F 0/ 45/ 90	10	A(0/45/90)=(4,22/3,98/4,10); B(0/45/90)=(4,23/4,27/4,17); D(0/45/90)=(2,91/2,87/2,85); F(0/45/90)=(4,00/4,14/4,22)	A(0/45/90)=(2,13/2,05/2,11); B(0/45/90)=(2,16/2,17/2,12); D(0/45/90)=(1,57/1,56/1,56); F(0/45/90)=(2,05/2,11/2,15)	0,2	A(0/45/90)=(12,3/12,3/12,3) B(0/45/90)=(12,3/12,3/12,3) D(0/45/90)=(11,8/11,6/10,5) F(0/45/90)=(12,3/12,3/12,3)	A(0/45/90)=(>35/>35/>35) B(0/45/90)=(>35/>35/>35) D(0/45/90)=(>35/>35/>35) F(0/45/90)=(>35/>35/>35)
4	D1950	1950	3	M1, M14	C/ E/ H/ I 45	10	C(45)=(0,087); E(45)=(0,084); H(45)=(0,087); I(45)=(0,081)	C(45)=(0,044); E(45)=(0,043); H(45)=(0,044); I(45)=(0,042)	0,2	C(45)=12,3 E(45)=12,0 H(45)=11,5 I(45)=12,3	C(45)>35 E(45)>35 H(45)>35 I(45)>35
5	D1950	1950	14	M1	A/ B/ C/ D/ E/ F/ H/ I 0/ 90	5	A(0/90)=(2,05/1,94); B(0/90)=(1,90/1,94); C(0/90)=(1,97/1,95); D(0/90)=(1,35/1,15); E(90)=(1,91); F(0/90)=(2,05/1,96); H(0/90)=(1,93/2,07); I(0/90)=(1,34/2,02)	A(0/90)=(0,90/0,87); B(0/90)=(0,85/0,86); C(0/90)=(0,87/0,86); D(0/90)=(0,67/0,58); E(90)=(0,86); F(0/90)=(0,90/0,87); H(0/90)=(0,86/0,92); I(0/90)=(0,85/0,86)	0,2	A(0/90)=(12,2/12,1) B(0/90)=(12,2/12,2) C(0/90)=(12,3/12,3) D(0/90)=(11,7/11,6) E(90)=(11,7) F(0/90)=(12,2/12,2) H(0/90)=(12,0/11,9) I(0/90)=(12,0/12,0)	A(0/90)=(>35/>35) B(0/90)=(>35/>35) C(0/90)=(>35/>35) D(0/90)=(>35/>35) E(90)=(>35) F(0/90)=(>35/>35) H(0/90)=(>35/>35) I(0/90)=(>35/>35)

No	Antenna Annex F	f_1 [MHz]	P_f [dBm]	Modulation	Location angle [°]	d [mm]	SAR 1g,cal [W/kg]	SAR 10g,cal [W/kg]	U_{ref} ($k=1$) [dB]	Lower_RL_limit [dB]	Upper_RL_limit [dB]
6	D1950	1950	24	M1	A-I 0/ 45/ 90	25	A(0/45/90)=(1,79/1,68/1,75); B(0/45/90)=(1,77/1,85/1,74); C(0/45/90)=(1,75/1,91/1,84); D(0/45/90)=(1,39/1,38/1,37); E(0/45/90)=(1,78/1,87/1,72); F(0/45/90)=(1,62/1,76/1,84); G(0/45/90)=(1,69/1,75/1,87); H(0/45/90)=(1,68/1,99/1,87); I(0/45/90)=(2,05/1,85/1,57)	A(0/45/90)=(1,08/1,03/1,07); B(0/45/90)=(1,07/1,11/1,05); C(0/45/90)=(1,06/1,14/1,10); D(0/45/90)=(0,85/0,85/0,84); E(0/45/90)=(1,07/1,12/1,04); F(0/45/90)=(1,00/1,08/1,12); G(0/45/90)=(1,05/1,07/1,14); H(0/45/90)=(1,03/1,18/1,11); I(0/45/90)=(1,27/1,15/0,96)	0,2	A(0/45/90)=(10,1/10,1/10,1) B(0/45/90)=(10,0/10,0/9,9) C(0/45/90)=(11,0/10,8/10,9) D(0/45/90)=(9,7/9,6/9,6) E(0/45/90)=(10,0/10,0/10,2) F(0/45/90)=(10,2/10,2/10,4) G(0/45/90)=(10,3/10,1/10,2) H(0/45/90)=(10,2/10,1/10,0) I(0/45/90)=(10,5/10,5/10,5)	A(0/45/90)=(24,9/26,9/26,5) B(0/45/90)=(23,6/22,8/21,8) C(0/45/90)=(>35/>35/>35) D(0/45/90)=(18,8/18,4/18,2) E(0/45/90)=(22,3/22,0/28,8) F(0/45/90)=(>35/30,8/>35) G(0/45/90)=(>35/25,1/>35) H(0/45/90)=(>35/25,1/23,9) I(0/45/90)=(>35/>35/>35)
7	D2450	2450	20	M1, M3, M6, M12, M14	A/ B/ D/ F 0/ 90	10	A(0/90)=(5,46/5,35); B(0/90)=(5,40/5,38); D(0/90)=(3,39/3,22); F(0/90)=(5,32/5,48)	A(0/90)=(2,46/2,40); B(0/90)=(2,51/2,43); D(0/90)=(1,65/1,60); F(0/90)=(2,40/2,49)	0,2	A(0/90)=(12,1/12,1) B(0/90)=(12,3/12,3) D(0/90)=(10,7/10,7) F(0/90)=(12,1/12,1)	A(0/90)=(>35/>35) B(0/90)=(>35/>35) D(0/90)=(>35/>35) F(0/90)=(>35/>35)
8	D2450	2450	10	M1	C/ E/ G/ H/ I 0/ 90	10	C(0/90)=(0,53/0,55); E(0/90)=(0,52/0,52); G(0/90)=(0,46/0,49); H(0/90)=(0,51/0,56); I(0/90)=(0,56/0,53)	C(0/90)=(0,24/0,25); E(0/90)=(0,24/0,24); G(0/90)=(0,23/0,23); H(0/90)=(0,24/0,27); I(0/90)=(0,26/0,24)	0,2	C(0/90)=(12,3/12,3) E(0/90)=(12,23/12,2) G(0/90)=(11,8/11,9) H(0/90)=(11,3/11,3) I(0/90)=(12,1/12,1)	C(0/90)=(>35/>35) E(0/90)=(>35/>35) G(0/90)=(>35/>35) H(0/90)=(>35/>35) I(0/90)=(>35/>35)
9	D5000	5800	24	M1, M4, M5, M14	A/ B/ D/ F 0/ 45/ 90	10	A(0/45/90)=(21,1/19,7/20,1); B(0/45/90)=(21,1/21,2/20,4); D(0/45/90)=(15,5/15,7/16,1); F(0/45/90)=(20,8/20,9/20,6)	A(0/45/90)=(5,2/5/5,1); B(0/45/90)=(5,4/5,3/5,2); D(0/45/90)=(5,0/5,1/5,3); F(0/45/90)=(5,2/5,2/5,2)	0,2	A(0/45/90)=(12,2/12,2/12,2) B(0/45/90)=(12,3/12,3/12,3) D(0/45/90)=(11,0/11,0/11,0) F(0/45/90)=(12,1/12,0/12,12)	A(0/45/90)=(>35/>35/>35) B(0/45/90)=(>35/>35/>35) D(0/45/90)=(>35/>35/>35) F(0/45/90)=(>35/>35/>35)D>35;
10	D5000	5800	5	M5	C/ E/ G/ H/ I 0/ 45/ 90	10	C(0/45/90)=(0,253/0,262/0,266); E(0/45/90)=(0,269/0,266/0,260); G(0/45/90)=(0,256/0,262/0,266); H(0/45/90)=(0,250/0,250/0,272); I(0/45/90)=(0,269/0,266/0,269)	C(0/45/90)=(0,063/0,066/0,066); E(0/45/90)=(0,070/0,066/0,063); G(0/45/90)=(0,070/0,073/0,073); H(0/45/90)=(0,063/0,060/0,066); I(0/45/90)=(0,066/0,066/0,066)	0,2	C(0/45/90)=(12,3/12,3/12,3) E(0/45/90)=(11,8/11,8/11,9) G(0/45/90)=(11,9/11,9/12,0) H(0/45/90)=(11,345/11,323/11,351) I(0/45/90)=(11,8/11,8/11,8)	C(0/45/90)=(>35/>35/>35) E(0/45/90)=(>35/>35/>35) G(0/45/90)=(>35/>35/>35) H(0/45/90)=(>35/>35/>35) I(0/45/90)=(>35/>35/>35)
11	D5000	5800	24	M1	A/ B/ D/ F 0/ 45/ 90	5	A(0/45/90)=(69/5/69/7/67/4); B(0/45/90)=(63/9/73/9/74/9); D(0/45/90)=(25/2/27/8/25/8); F(0/45/90)=(67/4/75/0/75/0)	A(0/45/90)=(13,2/13,2/13,1); B(0/45/90)=(13,0/14,0/14,1); D(0/45/90)=(7,2/7,8/7,4); F(0/45/90)=(13,1/13,9/14,0)	0,2	A(0/45/90)=(11,9/11,9/11,9) B(0/45/90)=(12,1/12,1/12,1) D(0/45/90)=(10,6/10,6/10,5) F(0/45/90)=(11,6/11,6/11,6)	A(0/45/90)=(>35/>35/>35) B(0/45/90)=(>35/>35/>35) D(0/45/90)=(>35/>35/>35) F(0/45/90)=(>35/>35/>35)

No	Antenna Annex F	f_1 [MHz]	P_f [dBm]	Modulation	Location angle [°]	d [mm]	SAR 1g,cal [W/kg]	SAR 10g,cal [W/kg]	U_{max} ($k=1$) [dB]	Lower_RL_limit [dB]	Upper_RL_limit [dB]
12	D5000	5800	14	M1	C/ E/ G/ H/ I 0/ 45/ 90	25	C(0/45/90)=(0.41/0.43/0.43); E(0/45/90)=(0.41/0.40/0.38); G(0/45/90)=(0.37/0.39/0.40); H(0/45/90)=(0.38/0.41/0.42); I(0/45/90)=(0.39/0.39/0.39)	C(0/45/90)=(0.15/0.15/0.15); E(0/45/90)=(0.15/0.14/0.14); G(0/45/90)=(0.14/0.15/0.15); H(0/45/90)=(0.14/0.14/0.15); I(0/45/90)=(0.15/0.14/0.14)	0,2	C(0/45/90)=(9.9/10.0/10.0) E(0/45/90)=(9.7/9.5/9.2) G(0/45/90)=(10.0/10.1/10.2) H(0/45/90)=(9.9/9.9/9.8) I(0/45/90)=(10.0/10.1/10.2)	C(0/45/90)=(21.8/22.1/23.0) E(0/45/90)=(18.9/17.1/18.3) G(0/45/90)=(23.0/26.0/>35) H(0/45/90)=(20.6/20.8/20.4) I(0/45/90)=(23.7/26.5/32.2)
13	D835	835	20	M1	A/ B/ D/ F 0/ 90	15	A(0/90)=(0.91/0.90); B(0/90)=(0.98/0.97); D(0/90)=(0.82/0.78); F(0/90)=(0.89/0.98)	A(0/90)=(0.595/0.602); B(0/90)=(0.644/0.637); D(0/90)=(0.557/0.528); F(0/90)=(0.597/0.649)	0,2	A(0/90)=(9.2/9.2); B(0/90)=(10.0/9.8); D(0/90)=(11.0/11.0); F(0/90)=(9.2/10.1)	A(0/90)=(15.7/15.4); B(0/90)=(22.9/19.2); D(0/90)>35; F(0/90)=(15.4/24.1)
14	D900	900	30	M1	C/ E/ H/ I 0/ 90	15	C(0/90)=(10.34/11.15); E(0/90)=(11.46/10.86); H(0/90)=(10.40/11.12); I(0/90)=(11.09/9.26)	C(0/90)=(6.74/7.25); E(0/90)=(7.39/7.06); H(0/90)=(6.91/7.21); I(0/90)=(7.20/6.03)	0,2	C(0/90)=(9.7/10.1) E(0/90)=(11.5/10.5) H(0/90)=(10.1/11.7) I(0/90)=(10.7/11.0)	C(0/90)=(18.7/27.0) E(0/90)=(>35/>35) H(0/90)=(26.5/>35) I(0/90)=(>35/>35)
15	D900	900	30	M1	G 0/ 90	25	G(0/90)=(5.76/7.10);	G(0/90)=(4.04/4.80);	0,2	G(0/90)=(11.6/11.6)	G(0/90)=(>35/>35)
16	D1450	1450	10	M1	A/ B/ D/ F 0/ 90	10	A(0/90)=(0.29/0.29); B(0/90)=(0.30/0.30); D(0/90)=(0.23/0.23); F(0/90)=(0.28/0.30)	A(0/90)=(0.16/0.16); B(0/90)=(0.17/0.16); D(0/90)=(0.13/0.13); F(0/90)=(0.16/0.17)	0,2	A(0/90)=(12.0/12.0) B(0/90)=(12.1/12.1) D(0/90)=(11.6/11.5) F(0/90)=(12.0/12.0)	A(0/90)=(>35/>35) B(0/90)=(>35/>35) D(0/90)=(>35/>35) F(0/90)=(>35/>35)
17	D1750	1750	30	M1	C/ E/ H/ I 0/ 90	10	C(0/90)=(37.69/39.26); E(0/90)=(37.18/37.89); H(0/90)=(36.72/39.63); I(0/90)=(39.50/34.40)	C(0/90)=(19.70/20.52); E(0/90)=(19.59/19.93); H(0/90)=(19.35/20.57); I(0/90)=(21.03/17.92)	0,2	C(0/90)=(11.2/12.4) E(0/90)=(12.9/11.9) H(0/90)=(10.9/12.4) I(0/90)=(10.7/12.2)	C(0/90)=(>35/>35) E(0/90)=(>35/>35) H(0/90)=(>35/>35) I(0/90)=(>35/>35)
18	D2300	2300	10	M1	A/ B/ D/ F 0/ 90	10	A(0/90)=(0.51/0.50); B(0/90)=(0.51/0.50); D(0/90)=(0.33/0.33); F(0/90)=(0.49/0.51)	A(0/90)=(0.24/0.23); B(0/90)=(0.24/0.24); D(0/90)=(0.17/0.17); F(0/90)=(0.23/0.24)	0,2	A(0/90)=(11.9/12.0) B(0/90)=(12.1/12.0) D(0/90)=(11.8/11.6) F(0/90)=(11.9/11.9)	A(0/90)=(>35/>35) B(0/90)=(>35/>35) D(0/90)=(>35/>35) F(0/90)=(>35/>35)
19	D2600	2600	20	M1	C/ E/ G/ H/ I 0/ 90	10	C(0/90)=(5.63/5.88); E(0/90)=(5.72/5.56); G(0/90)=(5.21/5.52); H(0/90)=(5.41/5.95); I(0/90)=(6.02/5.58)	C(0/90)=(2.42/2.53); E(0/90)=(2.48/2.43); G(0/90)=(2.40/2.51); H(0/90)=(2.32/2.53); I(0/90)=(2.64/2.39)	0,2	C(0/90)=(12.3/12.3) E(0/90)=(12.2/12.2) G(0/90)=(11.8/11.8) H(0/90)=(11.4/11.4) I(0/90)=(12.1/12.1)	C(0/90)=(>35/>35) E(0/90)=(>35/>35) G(0/90)=(>35/>35) H(0/90)=(>35/>35) I(0/90)=(>35/>35)

No	Antenna Annex F	f_1 [MHz]	P_f [dBm]	Modulation	Location angle [°]	d [mm]	SAR 1g,cal [W/kg]	SAR 10g,cal [W/kg]	U_{ref} ($k=1$) [dB]	Lower_RL_limit [dB]	Upper_RL_limit [dB]
20	D3700	3700	10	M1	A/ B/ D/ F 0/ 90	10	A(0/90)=(0.72/0.68); B(0/90)=(0.72/0.70); D(0/90)=(0.44/0.41); F(0/90)=(0.71/0.72)	A(0/90)=(0.24/0.24); B(0/90)=(0.25/0.24); D(0/90)=(0.17/0.16); F(0/90)=(0.24/0.25)	0,2	A(0/90)=(11,8/11,9) B(0/90)=(12,2/12,2) D(0/90)=(11,0/11,0) F(0/90)=(12,1/12,1)	A(0/90)=(>35/>35) B(0/90)=(>35/>35) D(0/90)=(>35/>35) F(0/90)=(>35/>35)
21	D5000	5200	10	M1	C/ E/ G/ H/ I 0/ 90	10	C(0/90)=(0.839/0.889); E(0/90)=(0.893/0.829); G(0/90)=(0.847/0.884); H(0/90)=(0.827/0.898); I(0/90)=(0.889/0.893)	C(0/90)=(0.216/0.227); E(0/90)=(0.232/0.219); G(0/90)=(0.235/0.244); H(0/90)=(0.209/0.224); I(0/90)=(0.231/0.229)	0,2	C(0/90)=(12,3/12,3) E(0/90)=(11,6/11,6) G(0/90)=(11,4/11,4) H(0/90)=(10,7/10,7) I(0/90)=(11,5/11,5)	C(0/90)=(>35/>35) E(0/90)=(>35/>35) G(0/90)=(>35/>35) H(0/90)=(>35/>35) I(0/90)=(>35/>35)
22	D5000	5400	5	M1	A/ B/ D/ F 0/ 90	10	A(0/90)=(0.273/0.261); B(0/90)=(0.276/0.266); D(0/90)=(0.190/0.193); F(0/90)=(0.272/0.272)	A(0/90)=(0.069/0.068); B(0/90)=(0.070/0.068); D(0/90)=(0.062/0.063); F(0/90)=(0.069/0.059)	0,2	A(0/90)=(12,0/12,0) B(0/90)=(12,1/12,1) D(0/90)=(10,6/10,7) F(0/90)=(12,0/12,0)	A(0/90)=(>35/>35) B(0/90)=(>35/>35) D(0/90)=(>35/>35) F(0/90)=(>35/>35)
23	D5000	5500	24	M1	C/ E/ G/ H/ I 0/ 90	10	C(0/90)=(20,6/21,8); E(0/90)=(21,9/20,4); G(0/90)=(20,8/21,7); H(0/90)=(20,4/22,1); I(0/90)=(21,8/21,8)	C(0/90)=(5,2/5,5); E(0/90)=(5,6/5,3); G(0/90)=(5,7/5,9); H(0/90)=(5,1/5,4); I(0/90)=(5,6/5,5)	0,2	C(0/90)=(12,3/12,3) E(0/90)=(11,6/11,6) G(0/90)=(11,6/11,6) H(0/90)=(11,0/11,0) I(0/90)=(11,804/11,828)	C(0/90)=(>35/>35) E(0/90)=(>35/>35) G(0/90)=(>35/>35) H(0/90)=(>35/>35) I(0/90)=(>35/>35)
24	D5000	5600	14	M1	A/ B/ D/ F 0/ 90	10	A(0/90)=(2,14/2,04); B(0/90)=(2,15/2,07); D(0/90)=(1,53/1,57); F(0/90)=(2,12/2,12)	A(0/90)=(0.54/0.52); B(0/90)=(0.55/0.53); D(0/90)=(0.49/0.52); F(0/90)=(0.53/0.53)	0,2	A(0/90)=(12,1/12,0) B(0/90)=(12,1/12,1) D(0/90)=(10,7/10,7) F(0/90)=(12,0/12,0)	A(0/90)=(>35/>35) B(0/90)=(>35/>35) D(0/90)=(>35/>35) F(0/90)=(>35/>35)
25	VPIFA-750	750	24	M1	A/ B/ C/ E/ F/ G/ H/ I 0/ 90	2	A(0/90)=(3,39/3,28); B(0/90)=(3,27/3,30); C(0/90)=(3,25/3,31); E(0/90)=(3,33/3,33); F(0/90)=(3,28/3,35); G(0/90)=(3,34/3,37); H(0/90)=(3,26/3,46); I(0/90)=(2,87/3,01)	A(0/90)=(0.91/0.88); B(0/90)=(0.89/0.90); C(0/90)=(0.87/0.89); E(0/90)=(0.92/0.91); F(0/90)=(0.89/0.91); G(0/90)=(0.96/0.96); H(0/90)=(0.88/0.92); I(0/90)=(0.81/0.84)	0,3	A(0/90)=(7,2/7,2) B(0/90)=(6,9/6,9) C(0/90)=(7,3/7,4) E(0/90)=(7,3/7,3) F(0/90)=(7,0/7,0) G(0/90)=(9,0/9,1) H(0/90)=(8,4/8,6) I(0/90)=(8,9/8,9)	A(0/90)=(9,7/9,8) B(0/90)=(9,2/9,2) C(0/90)=(10,0/10,1) E(0/90)=(9,9/10,0) F(0/90)=(9,4/9,3) G(0/90)=(14,7/15,2) H(0/90)=(12,6/13,3) I(0/90)=(14,4/14,3)

No	Antenna Annex F	f_1 [MHz]	P_f [dBm]	Modulation	Location angle [°]	d [mm]	SAR 1g,cal [W/kg]	SAR 10g,cal [W/kg]	U_{ref} ($k=1$) [dB]	Lower_RL_limit [dB]	Upper_RL_limit [dB]
26	VPIFA-835	835	24	M1	A/ B/ C/ E/ F/ G/ H/ I 0/ 90	2	A(0/90)=(3,39/ 3,27); B(0/90)=(3,26/ 3,28); C(0/90)=(3,20/ 3,22); E(0/90)=(3,23/ 3,23); F(0/90)=(3,21/ 3,23); G(0/90)=(3,24/ 3,31); H(0/90)=(3, 14/ 3,36); I(0/90)=(2,85/ 2,98)	A(0/90)=(0,93/ 0,90); B(0/90)=(0,91/ 0,92); C(0/90)=(0,88/ 0,88); E(0/90)=(0,91/ 0,90); F(0/90)=(0,90/ 0,90); G(0/90)=(0,96/ 0,97); H(0/90)=(0,87/ 0,92); I(0/90)=(0,83/ 0,86)	0,3	A(0/90)=(8,7/8,5) B(0/90)=(9,5/9,2) C(0/90)=(8,7/8,6) E(0/90)=(10,4/9,8) F(0/90)=(9,0/9,7) G(0/90)=(9,6/9,7) H(0/90)=(9,6/9,5) I(0/90)=(9,223/9,366)	A(0/90)=(12,9/12,9) B(0/90)=(17,0/15,4) C(0/90)=(13,7/18,0) E(0/90)=(27,3/19,6) F(0/90)=(14,8/15,0) G(0/90)=(18,1/19,0) H(0/90)=(17,7/17,2) I(0/90)=(15,7/16,5)
27	VPIFA-1950	1950	24	M1	A/ B/ C/ E/ F/ G/ H/ I 0/ 90	2	A(0/90)=(2,27/ 2,23); B(0/90)=(2,23/ 2,25); C(0/90)=(2,29/ 2,27); E(0/90)=(2,27/ 2,26); F(0/90)=(2,24/ 2,28); G(0/90)=(2,24/ 2,22); H(0/90)=(2,26/ 2,32); I(0/90)=(2,14/ 2,16)	A(0/90)=(0,90/ 0,89); B(0/90)=(0,90/ 0,90); C(0/90)=(0,90/ 0,90); E(0/90)=(0,92/ 0,91); F(0/90)=(0,90/ 0,90); G(0/90)=(0,96/ 0,97); H(0/90)=(0,88/ 0,94); I(0/90)=(0,88/ 0,87)	0,3	A(0/90)=(10,1/10,1) B(0/90)=(10,5/10,4) C(0/90)=(10,1/10,1) E(0/90)=(9,6/9,7) F(0/90)=(10,4/10,2) G(0/90)=(10,5/10,5) H(0/90)=(9,1/9,0) I(0/90)=(10,3/10,2)	A(0/90)=(26,2/25,4) B(0/90)=(>35/>35) C(0/90)=(24,9/24,0) E(0/90)=(18,1/18,7) F(0/90)=(>35/31,4) G(0/90)=(>35/>35) H(0/90)=(15,0/14,8) I(0/90)=(>35/>35)
28	VPIFA-3700	3700	24	M1	A/ B/ C/ E/ F/ G/ H/ I 0/ 90	2	A(0/90)=(2,50/ 2,30); B(0/90)=(2,25/ 2,21); C(0/90)=(2,23/ 2,27); E(0/90)=(2,45/ 2,31); F(0/90)=(2,09/ 2,33); G(0/90)=(2,32/ 2,72); H(0/90)=(2,09/ 2,46); I(0/90)=(2,44/ 2,09)	A(0/90)=(1,02/ 1,00); B(0/90)=(0,96/ 0,97); C(0/90)=(0,98/ 0,98); E(0/90)=(1,01/ 1,00); F(0/90)=(0,97/ 0,99); G(0/90)=(0,99/ 1,05); H(0/90)=(0,97/ 1,00); I(0/90)=(0,98/ 0,96)	0,3	A(0/90)=(12,3/12,3) B(0/90)=(12,8/12,8) C(0/90)=(12,3/12,3) E(0/90)=(12,3/12,3) F(0/90)=(12,7/12,8) G(0/90)=(12,9/12,8) H(0/90)=(12,3/12,3) I(0/90)=(12,3/12,3)	A(0/90)=(>35/>35) B(0/90)=(>35/>35) C(0/90)=(>35/>35) E(0/90)=(>35/>35) F(0/90)=(>35/>35) G(0/90)=(>35/>35) H(0/90)=(>35/>35) I(0/90)=(>35/>35)

NOTE 1 The return loss limits indicate that the mismatch uncertainty is within 5% of the uncertainty specified in Table D.1 compared to the return loss provided in Table F.1.

NOTE 2 Modulations are as specified in Table D.2.

NOTE 3 P_f is the forward power described in D.2.2.

NOTE 4 Distance (s) is specified in Figures D.8, D.9 and D.10.

Table D.6 – Peak spatial-average SAR (psSAR) averaged over 1 g and 10 g values for antenna generating two peaks on the head left and right phantom for the antennas specified in Annex F. Modulations are as specified in Table D.2

No	Antenna Annex F	f_1 [MHz]	P_f [dBm]	Modulation	Loc Pos [°]	d [mm]	SAR_1 1g,cal [W/kg]	SAR_1 10g,cal [W/kg]	SAR_2 1g,cal [W/kg]	SAR_2 10g,cal [W/kg]	U_{tj} ($k=1$) [dB]	Lower_RL_limit [dB]	Upper_RL_limit [dB]
1	2-PEAK CPIFA	2450	24	M1	Cheek position R/L	0	3,00/4,80	1,41/1,96	2,12/2,91	0,94/1,45	0,3	10,5/10,2	>35

NOTE 1 Distance (d) is shown in Figure D.9. The 2-PEAK CPIFA is placed directly against the head phantom with no spacer.

NOTE 2 The return loss limits indicate that the mismatch uncertainty is within 5 % of the uncertainty specified in Table D.1 compared to the return loss provided in Table F.1.

NOTE 3 Modulations are as specified in Table D.2.

NOTE 4 P_f is the forward power described in D.2.2.

D.4.6 On-site system validation after installation

On-site *system validation* is an operational test that may be performed by the user to verify the system performance (e.g. after receiving the unit from the system manufacturer). This test does not replace the requirements of the full validation tests (see D.4.5) that shall be performed by the manufacturer. On the flat phantom, it includes tests at a number of random power levels, locations and angles. The set of tests for the on-site *system validation* is described in Table D.7 and Table D.8 for the flat and head phantoms, respectively.

For an array system, all flat phantoms and head phantoms should be evaluated separately.

For a scanning system where the probe, electronics and tissue-equivalent liquid are the same between head phantoms and flat phantoms, the on-site *system validation* should be performed in one head phantom, at a minimum.

Table D.7 – Set of randomised tests for on-site system validation using flat phantom 1 g and 10 g psSAR, normalized to 1 W forward power, using the antennas specified in Annex F

No	Antenna Annex F	f_1 [MHz]	P_f No. power levels	Modulation	No locations	No. angles	s [mm]	SAR 1g,cal [W/kg]	SAR 10g,cal [W/kg]	U_{saj} ($k=1$) [dB]
1	D835	835	2	M14	5	3	15	9,56	6,22	0,2
2	D1950	1 950	2	M1	2	3	10	40,8	21,0	0,2
3	D1950	1 950	2	M1	1	1	5	65,0	29,5	0,2
4	D1950	1 950	2	M14	1	1	25	6,91	4,15	0,2
5	D2450	2 450	2	M1	1	3	5	94,0	39,0	0,2
6	D2450	2 450	2	M14	1	1	25	71,7	39,3	0,2
7	D5800	5 800	2	M1	1	3	5	274	57,0	0,2
8	D5800	5 800	2	M14	1	1	25	14,0	5,70	0,2

NOTE 1 Modulations are as specified in Table D.2.

NOTE 2 SAR values are normalized to 1 W (30 dBm) forward power, specified in D.2.2.

NOTE 3 Distance (s) is shown in Figures D.8, D.9 and D.10.

NOTE 4 Use the return loss limits for the same antenna and distance in Table D.3.

Table D.8 – Set of tests for on-site system validation using left and right head phantoms for 1 g and 10 g psSAR for the antennas specified in Annex F

	Antenna Annex F	f_1 [MHz]	P_f [dBm]	Modulation	Loc. Angle [°] for array probe	d [mm]	SAR 1g,cal [W/kg]	SAR 10g,cal [W/kg]	$U_{\text{cal},i}$ ($k=1$) [dB]
1	D835	835	20	M14	D/ F 0/ 90	15	D(0/90)=(0,82/0,78); F(0/90)=(0,89/0,98)	D(0/90)=(0,557/0,528); F(0/90)=(0,597/0,649)	0,2
2	D835	835	20	M1	A/ B 0/ 90	15	A(0/90)=(0,91/0,90); B(0/90)=(0,98/0,97)	A(0/90)=(0,595/0,602); B(0/90)=(0,644/0,637)	0,2
3	D1950	1 950	20	M1	D/ F 0/ 45/ 90	10	D(0/45/90)=(2,91/2,87/ 2,85); F(0/45/90)=(4,00/4,14/ 4,22)	D(0/45/90)=(1,57/1,56/ 1,56); F(0/45/90)=(2,05/2,11/ 2,15)	0,2
4	D1950	1 950	3	M14	C/H 45	10	C(45)=(0,087) H(45)=(0,087)	C(45)=(0,044); H(45)=(0,044)	0,2
5	D2450	2 450	20	M14	D/ F 0/ 90	10	D(0/90)=(3,39/3,22); F(0/90)=(5,32/5,48)	D(0/90)=(1,65/1,60); F(0/90)=(2,40/2,49)	0,2
6	D5000	5 800	24	M14	D/ F 0/ 45/ 90	10	D(0/45/90)=(15,5/15,7/ 16,1); F(0/45/90)=(20,8/20,9/ 20,8)	D(0/45/90)=(5,0/5,1/5,3); F(0/45/90)=(5,2/5,2/5,2)	0,2
7	D5000	5 800	5	M1	C/H 0/ 45/ 90	10	C(0/45/90)=(0,253/0,262/ 0,266); H(0/45/90)=(0,250/0,250/ 0,272);	C(0/45/90)=(0,063/0,066/ 0,066); H(0/45/90)=(0,063/0,060/ 0,066);	0,2
8	D5000	5 800	24	M1	D/ F 0/ 45/ 90	5	D(0/45/90)=(25/2/27/8/25/ 8); F(0/45/90)=(67/4/75/0/75/ 0)	D(0/45/90)=(7,2/7,8/7,4); F(0/45/90)=(13,1/13,9/ 14,0)	0,2
NOTE 1 Modulations are as specified in Table D.2.									
NOTE 2 P_f is the forward power described in D.2.2.									
NOTE 3 Use the return loss limits for the same antenna and distance in Table D.5.									

D.4.7 System validation acceptance criteria

The validation criteria are specified to meet the objectives as specified in D.1.2, i.e. to verify that the SAR measurement system is operating within its range of specified use and corresponding measurement uncertainty as determined in Clause 8 will not give erroneous measurement results for the DUT. Each single subsystem(s) or phantom (left head, right head, flat, etc.) is validated separately.

NOTE 1 The acceptance criteria are adapted from ISO 3611:2010 [33].

All validation antennas and configurations from Table D.3 and Table D.4 that are within the operating frequency range and surface area of the measurement system (as specified by the system manufacturer), shall be tested according to the procedure specified in Clause D.2. The relative differences $r_{s,1g,j}$ and $r_{s,10g,j}$ in %, between the numerical targets $SAR_{1g,cal,j}$ and $SAR_{10g,cal,j}$ and the measured values, $SAR_{1g,m,j}$ and $SAR_{10g,m,j}$, are specified in Formulas (D.7) and (D.8):

$$r_{s,1g,j} = 100 \% \times \left(\frac{SAR_{1g,m,j} - SAR_{1g,cal,j}}{SAR_{1g,cal,j}} \right) \quad (D.7)$$

$$r_{s,10g,j} = 100 \% \times \left(\frac{SAR_{10g,m,j} - SAR_{10g,cal,j}}{SAR_{10g,cal,j}} \right) \quad (D.8)$$

whereby the maximum $r_{sj,max}$ and the minimum $r_{sj,min}$ over all $r_{s,1g,j}$ and all $r_{s,10g,j}$ shall be determined. The maximum permissible error (mpe) is the smallest tolerance $(+O, -U)$ that encompasses all of the calculated differences.

Therefore, the vector measurement-based system conforms with the criteria if the following conditions are met with Formulas (D.9) and (D.10):

$$r_{sj,max} < 2 \times u_s + 15 \% = +O \quad (D.9)$$

$$r_{sj,min} > -100 \times \frac{2 \times u_s + 15 \%}{100 + 2 \times u_s + 15 \%} = -U \quad (D.10)$$

where

u_s is the standard uncertainty of the system in % at $k = 1$ as determined in Clause 8; and
15 % (i.e. u_{sa} in D.4.5) is the maximum expanded uncertainty for $k = 2$ of the numerical target for the validation antennas as provided in Table D.3 and D.4.

NOTE 2 Formula (D.9) limits the degree to which the system over-reads, and Formula (D.10) limits the degree to which the system under-reads. The bound of 15 % is the maximum target uncertainty of the validation antennas ($k = 2$). Because of conservative reasons in favour of the array systems, these uncertainties are considered linearly additive. If the system uncertainty is 15 %, $+O = 45 \%$ and $-U = -31 \%$.

If any measurement result does not meet the conditions in (D.9) and (D.10), the measurements corresponding to the points that failed shall be repeated at least 10 times in order to preclude measurement outliers. Calculate the average μ_{sj} and standard deviation σ_{sj} from the 10 r_{sj} values. If $\mu_{sj} > 1$, replace r_{sj} with $(\mu_{sj} + 2 \sigma_{sj})$. If $\mu_{sj} < 1$, replace r_{sj} with $(\mu_{sj} - 2 \sigma_{sj})$.

All measured results shall be reported. If all conditions in (D.9) and (D.10) are met, the system conforms with the requirements of this document, and the mpe values $(+O, -U)$ obtained from the system validation procedure shall be reported in all measurement certificates, together with the uncertainty estimate for results obtainable with the measurement system.

NOTE 3 This additional repetition ensures that 95 % of the values will be within the acceptance criteria and the acceptance criteria were not non-conforming by chance.

Annex E (informative)

Interlaboratory comparisons

E.1 Purpose

The purpose of an interlaboratory comparison is to compare the results from several laboratories in order to evaluate the performance of SAR measurement systems, their reported measurement uncertainties and evaluate measurement protocols specified in this document. The principle is to use reference devices and fully validated measurement systems conform with the requirements of this document. The SAR assessment protocols described in Clause 7 are used.

The measured data from all participating laboratories is compared. Also, each participating laboratory submits a full measurement uncertainty budget in accordance with Clause 8. If the deviations in the measured data between laboratories can be attributed to the measurement uncertainties (see Clause E.5), the interlaboratory comparison is deemed to be successful. If not, all uncertainty sources shall be re-evaluated per the recommendations of Clause 8. Also, other possible sources of uncertainties different from those specified in Clause 8 can be considered.

E.2 Monitor laboratory

A monitor laboratory is designated that is responsible for the maintenance of the reference devices (i.e. to check that they meet the requirements given in E.3, E.4 and E.5) and the circulation of the devices to the participating laboratories. The monitor laboratory is also responsible for collecting the measurement data.

If deemed necessary, the reference devices should be returned to the monitor laboratory periodically during the comparison campaign to verify the SAR level, output power (see Clause E.5), frequency and battery condition.

NOTE General guidelines for accomplishing interlaboratory comparison tests are given for example in ISO/IEC 17043.

E.3 Phantom set-up

The required phantoms and device holders are specified in this document. Metallic parts closer than 50 cm from the structure shall be avoided. The phantom shall be irradiated using a reference device mounted according to the test positions described in Clause 7.

E.4 Reference devices

Reference devices are commercial wireless devices that are maintained and distributed in accordance with ISO/IEC 17043. The set of reference devices may also be extended to include non-commercial sources. Each reference device shall have evaluated target SAR values with associated measurement uncertainties less than 30 % for $k = 2$. The designation of the supplier for the reference devices is based on agreement between the participating parties.

E.5 Power set-up

If the reference device has an accessible antenna port, the forward power to the antenna should be measured by the monitor laboratory and each participating laboratory. The power set-up is dependent on the precision of the output power measurement of the reference device used for the interlaboratory comparison. Each device is checked by the participating laboratory so that the conducted output power of each reference device is in the range of $\pm 0,3$ dB of the reference value reported by the monitor laboratory. The measured output power shall be reported to the monitor laboratory. The device battery shall be fully charged.

E.6 Interlaboratory comparison – Procedure

Measurement procedures for SAR assessment used in the interlaboratory comparison are the same as those used for compliance testing in accordance with Clause 7. Each participating laboratory shall provide a full test report in accordance with the requirements of Clause 9 including *system check* (see 7.1.2), *system validation* (see Annex D), tissue-equivalent media properties (see Clause 6 and 7.1.1), system uncertainty data (see Clause 8), and measured output power data (see Clause E.5).

Results of the interlaboratory comparison shall be compared to their respective target values. Each result shall fall within the combined expanded uncertainty of the measured value and target value, i.e. the root-sum-square of the expanded ($k = 2$) measurement uncertainty and the expanded ($k = 2$) target value uncertainty. The reports from different laboratories are to be evaluated and compared by the designated monitor laboratory.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF IEC 62209-3:2019

Annex F (normative)

System validation antennas

F.1 General requirements

Annex F specifies the antennas that shall be used for the *system validation* of vector measurement-based systems, as specified in Annex D. These antennas define a minimum set of antennas based on the criteria provided in Annex D. Antennas specified here shall not be removed from the validation protocol, as this would compromise the ability of the *system validation* to test the accuracy of the vector measurement-based system. However, additional antennas may be added to the list as described in F.5.

The following are minimum requirements for any validation antenna for use in D.4.

- a) Justification shall be provided for the inclusion of the antenna and how its use strengthens the validation section.
- b) The test configurations (e.g. frequencies, locations on the phantom, distance, rotation angle) shall be provided.
- c) Detailed drawings, including all dimensions and tolerances, shall be provided. CAD files of the antennas shall be made available with sufficient detail of the construction and parameters so that the numerical targets can be independently verified.
- d) Target SAR values shall be provided from high-resolution numerical simulations of the CAD file of the antenna. The numerical method and simulation shall conform to the requirements of IEC/IEEE 62704-1. These shall be available for all specified test configurations on the phantoms.
- e) Physical antennas shall be measured using a SAR measurement system that has an accredited calibration to validate the numerical target values and generate a certificate of traceability, e.g. in accordance with ISO/IEC 17025.
- f) Reference antennas shall be calibrated as described in Annex G.
- g) Return loss requirements of the antenna shall be provided as given in F.2

F.2 Return loss requirements

For the antennas specified in Annex F, the minimum return loss is specified in Table F.1 when the antenna is placed on the flat phantom at the distance s as described in D.4.4.4.

Table F.1 – Return loss values for antennas specified in Annex F and flat phantom filled with tissue-equivalent medium

Antenna Annex F	f_1 [MHz]	s [mm]	Return loss [dB]
D750	750	15	> 20
D835	835	15	> 20
D900	900	15	> 20
D1450	1 450	10	> 20
D1750	1 750	10	> 20
D1950	1 950	10	> 20
D2300	2 300	10	> 20
D2450	2 450	10	> 20
D2600	2 600	10	> 20
D3700	3 700	10	> 20
D5000	5 200	10	> 20
D5000	5 500	10	> 20
D5000	5 600	10	> 20
D5800	5 800	10	> 17
VPIFA-750	750	2	> 20
VPIFA-835	835	2	> 20
VPIFA-1950	1 950	2	> 20
VPIFA-3700	3 700	2	> 20
2-PEAK CPIFA	2 450	7	> 10

F.3 Standard dipole antenna

As specified in Annex D, standard dipoles well represent one category of antennas that can be easily specified and calibrated for the required frequencies. The reference dipoles are specified for the specific dielectric properties and thickness of the phantom shell indicated in Table F.2. The reference dipole shall have a return loss better than –20 dB at the test frequency to reduce the uncertainty in the power measurement in the case of the flat phantom at a specified test distance. The return loss requirements can be reduced to better than –15 dB at the head phantom and/or at closer and larger distances to avoid the need to use different sets of dipoles.

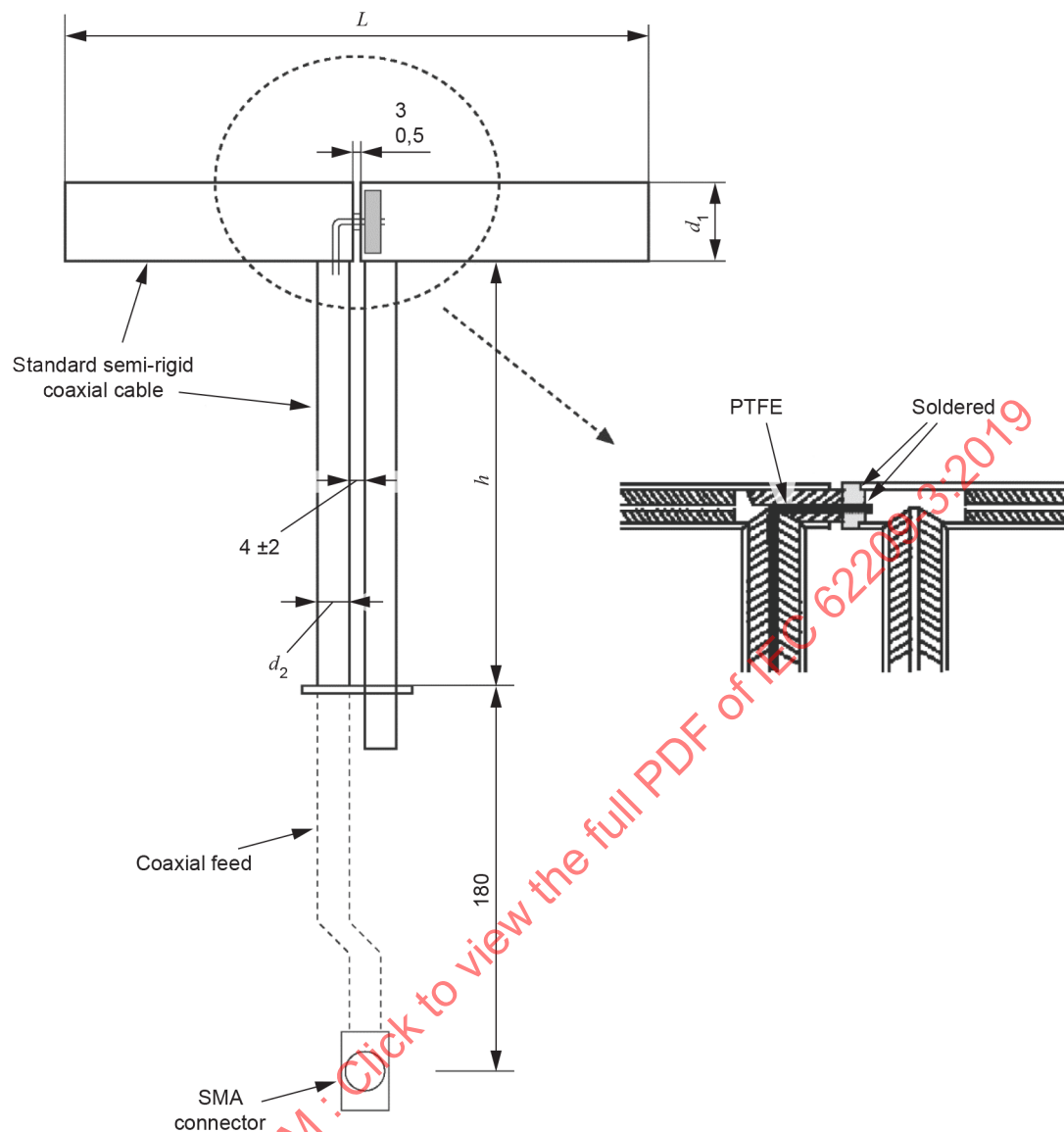
To meet this requirement, it is acceptable to fine-tune the reference dipoles by using low-loss dielectric or metal tuning elements at the ends of the dipole (Figure F.1). The standard dipole antennas of Figure F.1 with mechanical dimensions given in Table F.2 will produce the SAR values given in Table D.3 and Table D.5 when the *system validation* test of Annex D is followed. If additional dipole antennas are used that have different dimensions than those given in Table F.2, or if dipole antennas are used at frequencies other than those listed in Table F.2, the reference SAR values for those antennas shall be documented and independently verified using procedures that are consistent with the methodologies described in this document.

Table F.2 – Mechanical dimensions of the reference dipoles

Frequency (MHz)	Phantom shell thickness (mm)	L (mm)	h (mm)	d_1 (mm)
750	2,0	176,0	100,0	6,35
835	2,0	161,0	89,8	3,6
900	2,0	149,0	83,3	3,6
1 450	2,0	89,1	51,7	3,6
1 500	2,0	86,2	50,0	3,6
1 640	2,0	79,0	45,7	3,6
1 750	2,0	75,2	42,9	3,6
1 800	2,0	72,0	41,7	3,6
1 900	2,0	68,0	39,5	3,6
1 950	2,0	66,3	38,5	3,6
2 000	2,0	64,5	37,5	3,6
2 100	2,0	61,0	35,7	3,6
2 300	2,0	55,5	32,6	3,6
2 450	2,0	51,5	30,4	3,6
2 600	2,0	48,5	28,8	3,6
3 000	2,0	41,5	25,0	3,6
3 500	2,0	37,0	26,4	3,6
3 700	2,0	34,7	26,4	3,6
5 000 to 6 000	2,0	20,6 ^a	40,3 ^a	3,6
^a These dimensions are applicable for a coaxial diameter at the balun of $d_2 = 2,1$ mm (see Figure F.1). The L , h , and d_1 dimensions shall be within ± 2 % tolerance.				

The reference dipole arms shall be parallel to the flat surface of the phantom within a tolerance of $\pm 2^\circ$ or less (Figure F.1). This can be assured by carefully positioning the empty phantom and the reference dipole to horizontal level using a spirit level.

The numerical target values above 3 GHz cannot be universally given like for below 3 GHz due to the greater effect from the spacer, the phantom bottom and mechanical uncertainties. Thus, the numerical target values may be different from one dipole to another. It is important that for each dipole used for *system validation* a fully documented analysis is provided based on both numerical simulations and experimental validation.

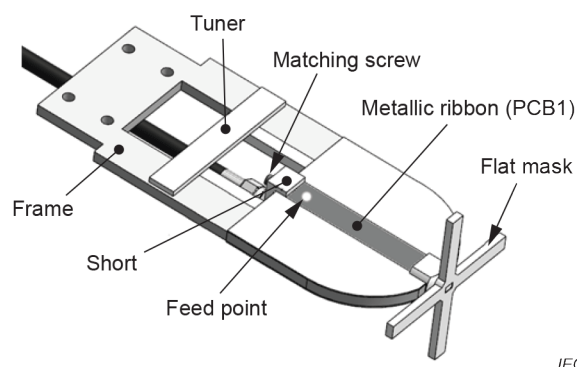
**Key**

- L Length of the dipole
- d_1 Diameter of the dipole
- d_2 Diameter of the coaxial cable at the balun
- h Length of the balun choke section
- PTFE polytetrafluoroethylene

Figure F.1 – Mechanical details of the standard dipole

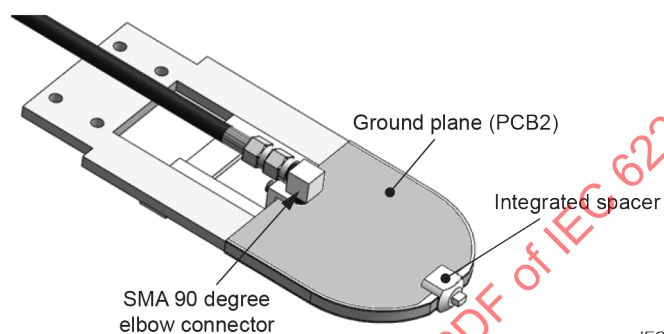
F.4 VPIFA

These single band antennas are designed to be placed at a wide range of locations on the curved surface of the SAM head or on a flat phantom. The design is chosen to provide a predominantly E-field coupling, as seen in a range of antenna structures where antenna metallization extends beyond the ground plane. The structure is that of a PIFA antenna. The main resonant metallic ribbon is orthogonal to the surface of the phantom. It is short-circuited on one side and open-ended on the side that is close to the phantom, where a capacitive coupling is generated. The distance between the conductor and the phantom and its position are fixed by using a plastic separator, which is part of the antenna. The device should be held orthogonal to the surface. The SAR pattern is localized with a dominant orthogonal component. Four frequency versions for VPIFA-750, VPIFA-835, VPIFA-1950, and VPIFA-3700 MHz are provided. At higher frequencies, the normal components dominate for $d \geq 2$ mm. Figure F.2(a) shows the basic structure of the antenna, seen from the PCB1 side. Figure F.2(b) shows the antenna as seen from the PCB2; here the flat mask has been removed to easily see the integrated spacer. The critical dimensions are shown in Figure F.2(c). Two PCB substrates are used for etching the metallic ribbon and the ground plane, respectively, and each one has a thickness of 0,508 mm. Both substrates are mechanically separated by an FR4 frame. One end of this frame is used to fix the antenna to a holder. The antenna is designed to be matched to a 50Ω coaxial connection. The dimensions for each frequency and the mechanical dimensions are provided in Table F.2 and Table F.3, respectively. In order to compensate for the manufacturing tolerances, the antenna includes a tuning structure and a matching screw. In the first case, a dielectric bar is adjusted to tune the resonant frequency, while in the second case a brass screw integrated in the short circuit can be adjusted to change the distance between the feed point and the short-circuit, and therefore improve the matching. The screw implementation requires a 0,3 mm prism with a hole in order to mechanically position and fix the screw. Additionally, a lock nut is used to secure the screw position. Once the antenna is fine-tuned, both elements should be fixed. The SMA connector requires a bending section to place the connection cable parallel to the antenna axis. To reduce the twisting force (torque), which can break the connector, it is recommended to first connect the bend to the cable and then connect the other side of the bend to the connector. The flat mask (cross shape with centre hole for placing the integrated spacer) can be removed to use the antenna in the SAM mask, see Figure D.6 and Figure D.7.



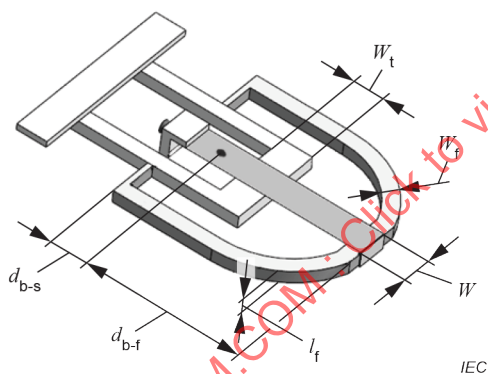
IEC

(a) General schematic of the antenna viewed from the metallic ribbon side



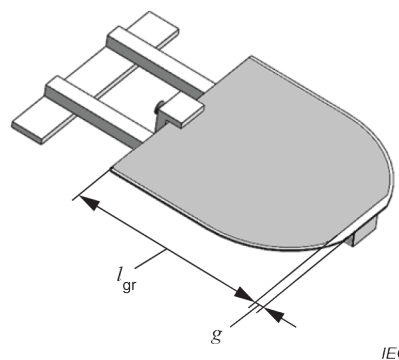
IEC

(b) General schematic of the antenna viewed from the ground plane side



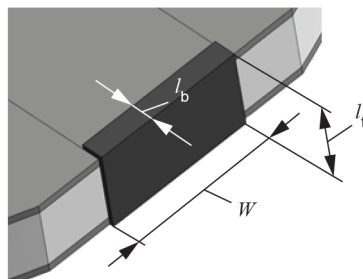
IEC

(c) Critical dimensions for the antenna from the front side



IEC

(d) Critical dimensions for the antenna from rear side



IEC

(e) Detailed view of the bent segment

Figure F.2 – VPIFA validation antenna

The positioning tolerance using these masks is dominated by the mask uncertainty and the corresponding SAR uncertainty is already considered in the uncertainty of the target values.

Table F.3 – Dimensions for VPIFA antennas at different frequencies

Freq. (MHz)	Ribbon & bent width, W (mm)	Length of bent width, l_b (mm)	Frame thickness, l_f / radiator thickness, l_t (mm)	Frame width, W_f (mm)	Matching screw diameter/ length (mm)	Tuner width W_t (mm)	d_{b-f} (mm)	d_{b-s} (mm)	l_{gr} (mm)	g (mm)
750	10,00 ± 0,05	1,50 ± 0,10	4,00 ± 0,05 /5,35 ± 0,05	5,00 ± 0,05	4,00 ± 0,05 / 12,00 ± 0,10	10,00 ± 0,10	58,00 ± 0,10	5,50 ± 0,10	59,90 ± 0,10	2,50 ± 0,05
835	10,00 ± 0,05	1,50 ± 0,10	4,00 ± 0,05 /5,35 ± 0,05	5,00 ± 0,05	4,00 ± 0,05 / 12,00 ± 0,10	3,50 ± 0,10	51,70 ± 0,10	5,55 ± 0,10	53,70 ± 0,10	2,50 ± 0,05
1 950	10,00 ± 0,05	1,50 ± 0,10	4,00 ± 0,05 /5,35 ± 0,05	5,00 ± 0,05	4,00 ± 0,05 / 12,00 ± 0,10	3,00 ± 0,10	77,70 ± 0,10	4,55 ± 0,10	78,45 ± 0,10	2,50 ± 0,05
3 700	3,00 ± 0,05	1,50 ± 0,10	4,00 ± 0,05 /5,35 ± 0,05	5,00 ± 0,05	4,00 ± 0,05 / 12,00 ± 0,10	2,00 ± 0,10	36,7 ± 0,10	5,77 ± 0,10	38,75 ± 0,10	2,50 ± 0,05

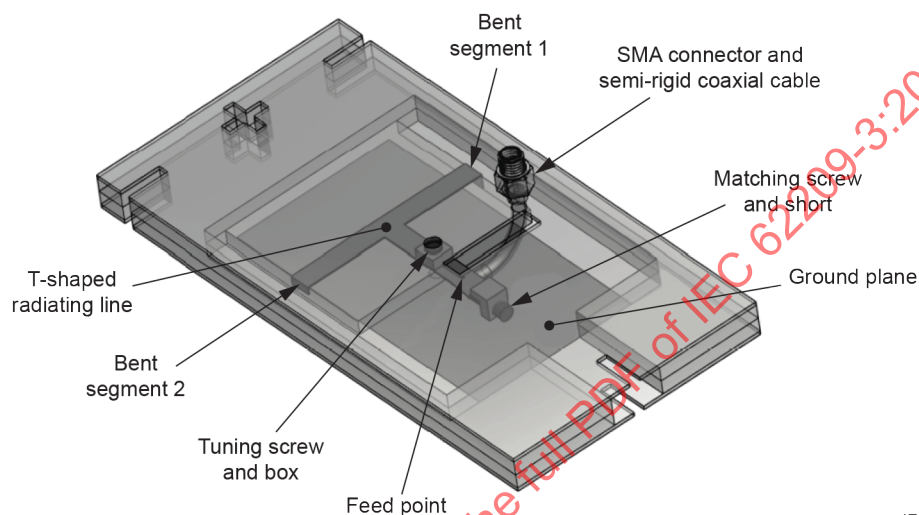
Table F.4 – Dielectric properties of the dielectric layers for VPIFA antennas

Layer	750 MHz		835 MHz		1 950 MHz		3 700 MHz	
	ϵ_r	σ [S/m]	ϵ_r	σ [S/m]	ϵ_r	σ [S/m]	ϵ_r	σ [S/m]
Frame (FR4)	4,38	3,49e-3	4,38	3,84e-3	4,37	8,45e-3	4,34	15,7e-3
Mask (3D print)	2,22	1,74e-3	2,22	1,83e-3	2,22	3,09e-3	2,22	5,06e-3
PCB_1 (RO4350B)	3,75	463e-6	3,75	517e-6	3,75	1,24e-3	3,74	2,46e-3
PCB_2 (RO4350B)	3,75	463e-6	3,75	517e-6	3,75	1,24e-3	3,74	2,46e-3
Spacer (PET)	2,97	7,52e-3	2,96	8,05e-3	2,90	14,5e-3	2,84	22,6e-3
Tuner (FR4)	4,38	3,49e-3	4,38	3,84e-3	4,37	8,45e-3	4,34	15,7e-3

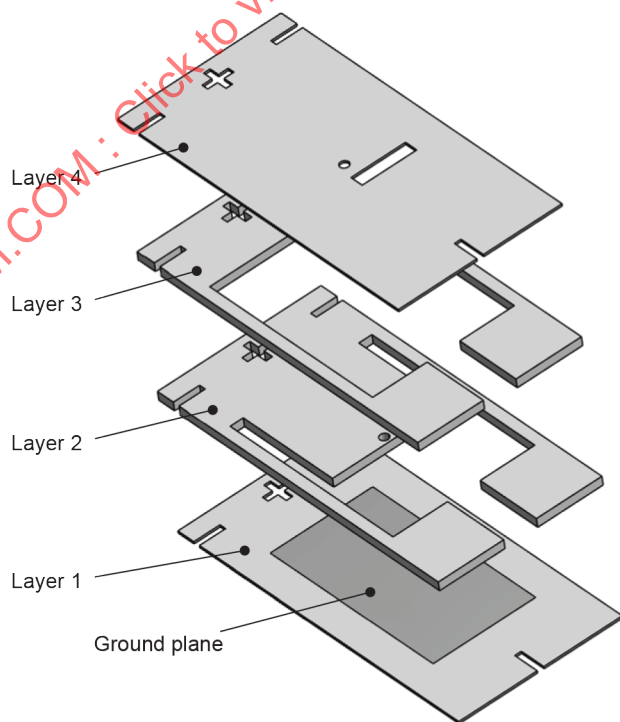
F.5 2-PEAK CPIFA

The 2-PEAK CPIFA antenna generates two field peaks at 2 450 MHz in order to test the reconstruction algorithm capable of distinguishing two peaks. This feature is not frequency dependent and does not require tests at different frequencies. Its geometry is similar to a large cellular phone (150 mm × 75 mm) with thickness 10 mm. The geometry and dimensions of the CPIFA are described in Figure F.5, Figure F.6, Table F.5, Table F.6 and Table F.7. The antenna is fed by means of a semi-rigid coaxial cable connected to the 50 Ω point of the main radiator (Figure F.3 (a)). The antenna has four dielectric layers, all of them made of FR4, with a ground plane between layer 1 and layer 2. The labels for each layer are shown in Figure F.3(b). The antenna has been designed to have similar amplitude of the reflection coefficient in both flat and head phantoms. For this reason, a foam spacer with thickness 5 mm shall be placed between the antenna and the flat phantom shell. The radiation mechanism is similar to that of a planar inverted-F antenna (PIFA), where a metallic conductor is open-ended in one end and short-circuited at the other extreme. The feed point is selected at the correct distance from the short. In the specific case of the 2-PEAK CPIFA, the metallic conductor or ribbon has a T-shape, with two branches open-ended and the third one short-ended. The open-ended branches are bent. With the aim of generating peaks with different amplitudes, one of the bent segments is slightly shorter than the other (2 mm shorter). Two screws with variable position have been included. One screw in the short-circuit section is used to improve the matching of the antenna. The second screw is inserted through the common part of the ribbon in the

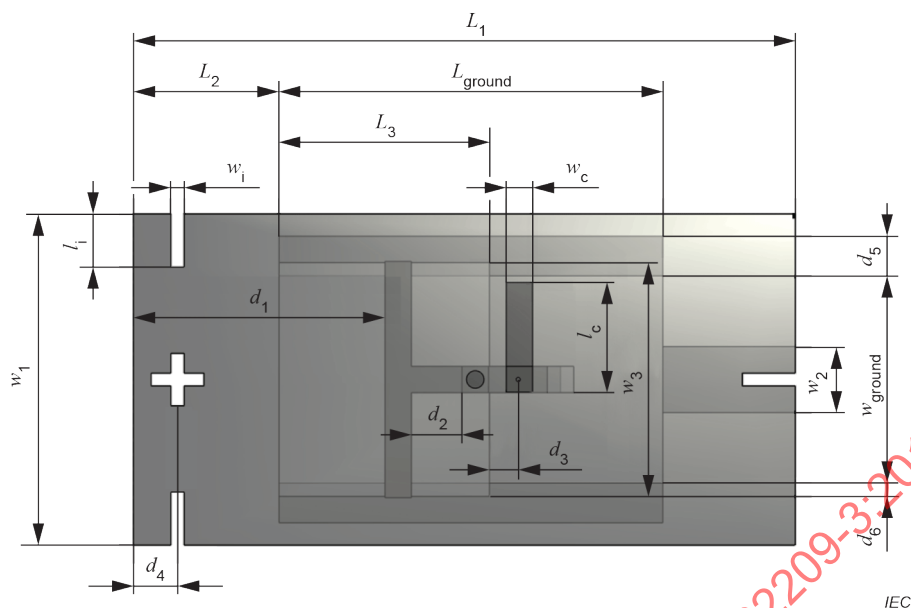
dielectric layer 2 with the aim of tuning the antenna and compensating for the manufacturing tolerances. The ribbon has a thickness of 300 μm that is considered, while the ground plane conductor has a thickness of only 34 μm . Three rectangular and one cross-shaped cavities have been included to serve as reference when positioning the antenna. The cross centre coincides with the ear reference point (ERP) of head phantoms. Those cavities cut across the four FR4 layers. Their dimensions are shown in Figure F.3(c), with $l_1 = 12 \text{ mm}$ and $w_1 = 3 \text{ mm}$. The cross is formed by two rectangular cavities. In the same drawing the slot made in the Layer 4 to allow inserting the semi-rigid coaxial cable is shown. Layer 1 and Layer 4 are identical, except that Layer 4 has the slot for the coaxial cable and the hole for the tuning screw. Layer 2 has the hole for the tuning screw. Tables F.4, F.5 and F.6 provide the antenna dimensions and parameters for the 2-PEAK-CPIFA.



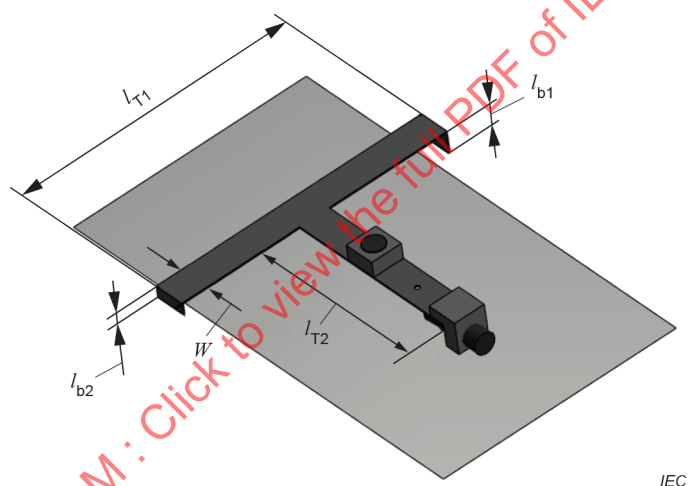
(a) Full model with connecting elements



(b) Expanded view of the substrates



(c) Upper view



(d) View of the radiating structure

Figure F.3 – 2-PEAK CPIFA at 2 450 MHz

The T-shaped split ribbon made of copper is shown in Figure F.3. Figure F.3 shows in detail the brass structure for inserting the matching screw, in the short. Its lower side is soldered to the ground plane. The ribbon shall be inserted just in the upper part of the screw and soldered to the structure in the upper side. As a reference, the figure of the matching structure shows a point named A_R to which the ribbon shall be attached. Figure F.4b) shows in detail the structure for introducing the tuning screw, which is also made of brass. This shall be soldered to the ribbon in the upper side. In both cases, the diameter of the screw is 4 mm, with maximum length of 12 mm for the matching screw and 5 mm for the tuning screw.

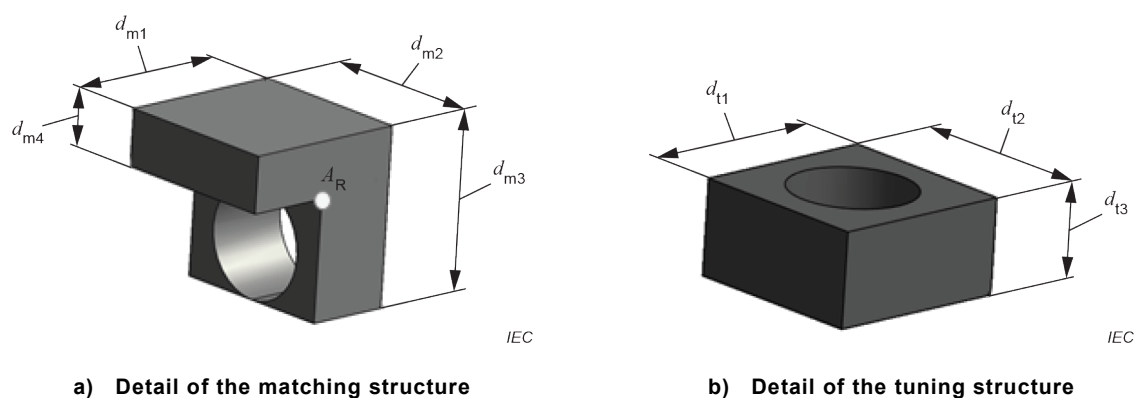


Figure F.4 – Detail of the tuning structure and matching structure

Table F.5 – Thickness of substrates and planar metallization

Dielectrics	Thickness (mm)	PEC	Thickness (mm)
Layer 1 = Layer 4 (FR4)	$1,00 \pm 0,10$	Ground plane	$0,035 \pm 0,003$ (negligible in simulation)
Layer 2 = Layer 3 (FR4)	$4,00 \pm 0,10$	T-shaped radiating line	$0,30 \pm 0,05$

Table F.6 – Dielectric properties of FR4

2450 MHz	
ϵ_r	σ [S/m]
4,36	0,010 5

Table F.7 – Values for the antenna dimensions in Figures F.4 and F.5

Parameter	length (mm)	Parameter	length (mm)
L_1	$150,00 \pm 0,10$	l_{T1}	$53,60 \pm 0,05$
w_1	$75,00 \pm 0,10$	l_{T2}	$33,80 \pm 0,05$
L_{ground}	$87,00 \pm 0,05$	w	$6,00 \pm 0,05$
w_{ground}	$47,00 \pm 0,05$	l_{b1}	$4,30 \pm 0,05$
L_2	$33,00 \pm 0,10$	l_{b2}	$2,30 \pm 0,05$
w_2	$15,00 \pm 0,10$	d_{m1}	$6,00 \pm 0,10$
d_1	$57,00 \pm 0,10$	d_{m2}	$6,00 \pm 0,10$
d_2	$11,50 \pm 0,10$	d_{m3}	$6,30 \pm 0,10$
d_3	$6,74 \pm 0,50$	d_{m4}	$2,00 \pm 0,10$
d_4	$10,00 \pm 0,10$	d_{t1}	$6,00 \pm 0,10$
d_5	$9,00 \pm 0,10$	d_{t2}	$6,00 \pm 0,10$
d_6	$3,00 \pm 0,10$	d_{t3}	$3,00 \pm 0,10$
l_i	$12,00 \pm 0,10$	foam spacer	$5,00 \pm 0,25$
w_i	$3,00 \pm 0,10$	matching screw diameter	$4,00 \pm 0,05$
L_3	$47,90 \pm 0,10$	matching screw length	$12,00 \pm 0,10$
w_3	$53,00 \pm 0,10$	tuning screw diameter	$4,00 \pm 0,05$
l_c	$25,00 \pm 0,10$	tuning screw length	$5,00 \pm 0,10$
w_c	$6,00 \pm 0,10$		

F.6 Additional antennas

The antennas specified in Clauses F.3 to F.5 shall be used for the *system validation*. They establish a minimum set of antennas to test the accuracy of the vector measurement-based system to evaluate if the system is acceptable for measurement of DUTs according to this document. Antennas shall not be removed from the *system validation*, as this would compromise the ability of the *system validation* to evaluate the accuracy and uncertainty of the system. However, other antennas can be added to the list.

Additional antennas may be added to Annex F (e.g. using an amended standard) if further analysis shows that this set of antennas is not comprehensive enough for validating vector measurement-based systems. Antennas may also be added if the requirements of F.1 are satisfied.

Annex G (normative)

SAR calibration of reference antennas

G.1 Purpose

The purpose of Annex G is to specify the SAR calibration procedure and calibration uncertainty of reference antennas that are used to validate the SAR measurement system. Validation of the measurement system is important for checking the measurement reliability of these systems. The use of well-characterized reference antennas which are described in Annex F is important, since the users of these systems are not able to examine the system-embedded parameters by themselves, e.g. evaluate the effect of sensor displacement within the array.

The absolute target SAR values of the reference antennas shall be determined or calibrated experimentally, and the uncertainty of the target values shall be low (typically below 0,3 dB for $k = 1$) to ensure reliability of the validation tests. A typical means of reducing the uncertainty is to use the same equipment (tissue-equivalent liquid, dielectric spacer, power sensors and couplers) as used for waveguide probe calibration (Figure G.1). For example, it results in low uncertainty for determining the input power to the reference antenna. In case the same equipment is not used for the calibration of the reference antenna, related uncertainty contributions should be considered. The uncertainty due to the axial isotropy of the probe can be reduced by averaging the SAR calibration results of the two measurements with a 90° probe rotation. These tests should be performed with phantom shell material that is well characterized by measurements and for which sensitivity on SAR is determined by simulations or mathematical analysis. In all cases, the forward power and reflected power during the tests and the tuned frequency should be recorded.

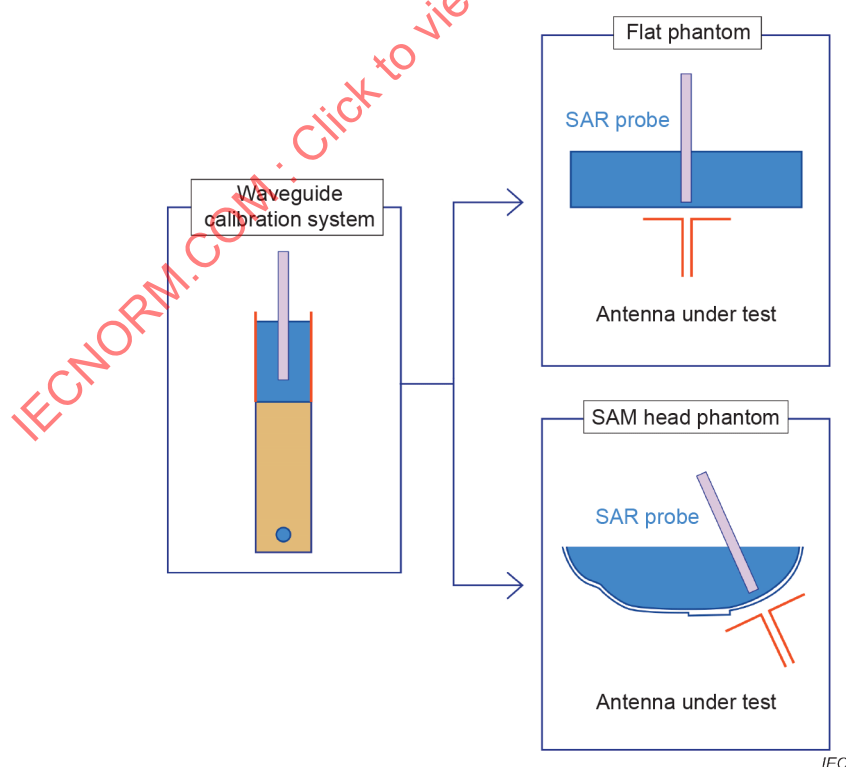


Figure G.1 – Measurement setup for waveguide calibration of dosimetric probe, and similar setup (same tissue-equivalent liquid, dielectric spacer, power sensors and coupler) for antenna calibration

G.2 Parameters or quantities and ranges to be determined by calibration method

The reference antenna is placed in the specified position D.4.4 for the flat or SAM-head phantom. Parameters to be determined include peak 1 g and 10 g averaged SAR values measured inside the medium when exposed with the reference antenna. This is performed at the central operating frequency of the reference antenna. These values can be considered as the “calibrated” or “target” quantities. Additionally, they should agree with the theoretical results, within a given uncertainty (typically within 0,3 dB). This agreement demonstrates the correct performance of the reference antenna.

Furthermore, transmission, electrical delay of the reference antenna, reference antenna impedance and return loss when positioned at the standardized calibration distances from the lossy medium shall be all evaluated.

G.3 Reference antenna calibration setup

The uncertainty of the power to the reference antenna shall be as low as possible. This requires the use of a test set-up with bidirectional coupler and calibrated power meters. The recommended set-up is shown in Figure G.2.

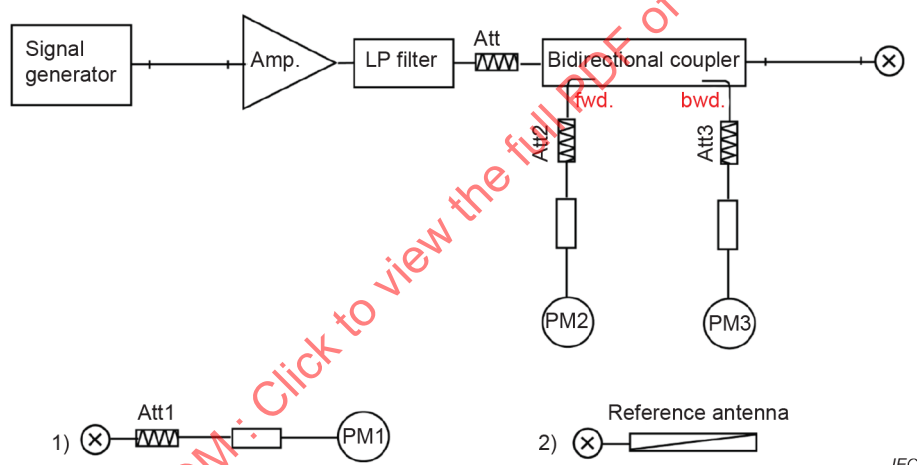


Figure G.2 – Setup for calibration of a reference antenna

The calibrated power meter PM1 (including calibrated attenuator Att1) is connected to the cable to measure the forward power at the location of the connector (X) to the *system check* antenna. Desired input power level to the reference antenna (P_{in}) is specified as a sum of a reference attenuator Att1 and power meter PM1 reading.

Power meter PM2 is used as a monitor of the input power. Power meter PM3 monitors the reflected power level. After manual check (setup 1 in Figure G.2) and verification of values, the cable is disconnected from the power meter PM1 and connected to the reference antenna (setup 2 in Figure G.2).

G.4 Reference antenna calibration procedure

G.4.1 Verification of return loss

The following electrical circuit parameters of the reference antenna are measured with a VNA (vector network analyser) in order to verify the functionality and the respective requirements: transmission loss and delay between connector and feed point (e.g. values determined from S_{11} with the feed point shorted or by other techniques) and return loss when positioned under the phantom.

G.4.2 Calibration of reference antennas: step-by-step procedure

SAR produced in a phantom (setup shown in right-side of Figure G.1) by the reference antenna shall be measured using the methods and requirements of IEC 62209-1. The reference antenna shall be placed according to D.4.4 for the flat phantom or SAM head phantom at the specified distance and position. The phantom shall be filled with tissue-equivalent medium with appropriate dielectric properties (Tissue-equivalent medium parameters shall be measured within 24 hours of the calibration.).

The following requirements of the phantom shall be observed in order to reduce the measurement uncertainty:

- a) The phantom shell thickness shall be $2,00 \text{ mm} \pm 0,05 \text{ mm}$ at the location of the antenna. Calibrated instrumentation suitable for measuring directly at the phantom having an accuracy of better than $0,05 \text{ mm}$ shall be used to determine the thickness.
- b) The dielectric properties of the shell material shall comply with the nominal target relative permittivity $3,0 \leq \epsilon_r \leq 3,5$.
- c) The dielectric properties of the liquid shall be measured with an uncertainty of less than 2 % and a deviation from the targets within $\pm 3 \%$.
- d) The liquid temperature during SAR measurements shall be within $\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ of the liquid temperature during dielectric properties measurements. Preferably the same liquid as for the probe calibration is used.

The measurement system selected shall be appropriate for the reference antenna under test; including choice of 1) dosimetric probe with valid calibration parameters for the calibration frequency, calibrated electronics, and medium parameters and 2) the power setup including calibrated power meters, couplers and attenuators. The same power antenna, coupler and power meter as during the calibration of the probe should be used.

The measurement protocol shall include the following procedures as described in IEC 62209-2:

- power reference;
- area scan with appropriate measurement grid settings;
- zoom scan with appropriate measurement grid settings;
- power drift.

Verify the measurement setup using the measurement software (e.g. verification of phantom location, alignment of the probe).

When the measurements are completed, prepare and issue the calibration document.

G.4.3 Uncertainty budget of reference antenna calibration

Example uncertainty budgets for reference antenna calibration in accordance with G.4.2 are provided in Tables G.1, G.2 and G.3. Table G.1 is an example uncertainty budget for dipole antennas calibrated for frequencies between 750 MHz and 3 GHz, Table G.2 is for VPIFAs at frequencies between 750 MHz and 3 GHz, and Table G.3 is for dipole antennas at frequencies between 3 GHz and 6 GHz. These are for information only.

Each component contributing to uncertainty that is frequency-dependent is evaluated in the frequency band where SAR assessment is performed. The following describes the main uncertainty contributions and reduced tolerances that can be practically achievable in order to obtain calibrated or target values with minimal uncertainties. The methods described in Annex G enable the determination of the 1 g and 10 g psSAR target values with measurement uncertainty of less than 10 %.

- The incident power measurement tolerance is derived from the calibration certificate of the power sensor, power meter and reference attenuator (Att1). This item includes: power sensor calibration uncertainty, calibration uncertainty of the reference attenuator (Att1), and mismatch uncertainties on the relevant junctions.
- The power uncertainty includes: mismatch between a reference attenuator and reference antenna, bidirectional coupler error (directivity error), error due to the mismatch of the reference antenna in the setup and the uncertainty of net power delivered to the reference antenna, arising from the uncertainty of the reference antenna reflection factor.
- The probe calibration uncertainty can be decreased if the same power measurement setup is used for reference antenna calibration as for probe calibration.
- The dielectric properties and the medium temperature shall be measured before the first measurement and last measurements. The deviation shall be as small as achievable; typically $< \pm 0,2$ °C in a controlled environment and not more than ± 3 % from the target value.
- The axial isotropy tolerance accounts for probe rotation around its axis. For the calibration of reference antennas, axial isotropy error of a dosimetric probe shall not exceed $\pm 0,1$ dB.
- The hemispherical isotropy uncertainty includes all probe orientations and field polarizations. For the calibration of reference antennas, hemispherical isotropy error of a dosimetric probe shall not exceed $\pm 0,3$ dB (preferably much smaller).
- Linearity uncertainty of the dosimetric probe is specified and determined in I.1.4 and J.1.6. For reference antenna calibration, the input power to the antenna shall be chosen to be well above the noise level of the probe (i.e. S/N ratio: > 20 dB) and for minimal linearity error (typically $< 0,05$ dB).
- Sufficient power shall be used to feed the reference antennas, typically 0,5 W to 1 W, such that the detection limit error becomes negligible.
- The probe boundary effect is an enhanced sensitivity in the immediate vicinity of medium boundaries, due to a capacitive coupling effect between the probe and the medium boundary at the medium and phantom shell surfaces. Because probe calibration procedure includes also boundary-effect compensation parameters, the remaining error is reduced to 1 %.
- Readout electronics uncertainty is as stated on the corresponding calibration certificate.
- Response time/integration time is set to 0 (CW signal used).
- Probe positioner uncertainty: The absolute accuracy for short distance movements depends on the positioning mechanism (robot) but can be considerably better than $\pm 0,1$ mm and can be approximated as normally distributed. A typical number of points in a zoom scan is 343 points for frequencies below 3 GHz and 448 points for frequencies above 3 GHz. Therefore, the randomness of the positioning error can be used to calculate the uncertainty.

- Probe positioning uncertainty: The surface detection shall have a precision of better than 0,2 mm. Because the surface is detected for each z-grid-line of the cube (typical number of grid lines is 49 for frequencies below 3 GHz and 64 for frequencies above 3 GHz), the uncertainty can be reduced because the distance is measured multiple times.
- Extrapolation/interpolation: the maximum evaluated tolerance for the variety of zoom scan shifts and probe types shall be determined for the specific antenna.
- The antenna to medium distance tolerance can be kept below 1 % because the reference antennas have well specified (low loss) spacers to establish correct distance between the top surface of the antenna and the bottom surface of the phantom.
- RF ambient can be nullified because calibration is done in well-controlled environment without external disturbance.
- Phantom uncertainty should be kept as low as possible.
- Medium conductivity/permittivity uncertainties are evaluated according to IEC 62209-1 and IEC 62209-2.

Table G.1 – Example uncertainty budget for reference dipole antenna calibration for 1 g and 10 g averaged SAR (750 MHz to 3 GHz)

Uncertainty description	Uncert. value ±%	Probab. distr.	div	c_i^a (1 g)	Std. unc. (1 g)	Std. unc. (1 g)	C_i^a (10 g)	Std. unc. (10 g)	v_i^b or v_{eff}
Incident power:						1,4		1,4	
Power reference	0,5	N	2	1	0,3				
Sensor calibration factor at 1 mW	0,7	N	2	1	0,4				
Sensor linearity	0,4	R	1,73	1	0,2				
Mismatch sensor and reference attenuator	0,3	U	1,41	1	0,2				
Mismatch reference attenuator and coupler	0,3	U	1,41	1	0,2				
S_{21} of reference attenuator	2,3	N	2	1	1,2				
Antenna power:						1,8		1,8	
Mismatch antenna and coupler	2,0	U	1,41	1	1,4				
Cable attenuation variation	1,2	R	1,73	1	0,7				
Coupler uncertainty (S_{11})	1,1	U	1,41	1	0,8				
Net power uncertainty	0,2	N	2	1	0,1				
Measurement system related:									
Probe calibration	3,4	N	1	1		3,4	1	3,4	
Axial isotropy	1,6	R	1,73	1		0,9	1	0,9	
Hemispherical isotropy	7,3	R	1,73	0		0,0	0	0,0	
Linearity	1,2	R	1,73	1		0,7	1	0,7	
Detection limit	0,0	R	1,73	1		0,0	1	0,0	
Boundary effect	1,0	R	1,73	1		0,6	1	0,6	
Readout electronics	0,3	N	1	1		0,3	1	0,3	
Response time (CW)	0,0	R	1,73	1		0,0	1	0,0	
Integration time (CW)	0,0	R	1,73	1		0,0	1	0,0	
Probe positioner	0,02	R	1,73	1		0,01	1	0,01	
Probe positioning	0,4	R	1,73	1		0,2	1	0,2	
Extrapolation/Interpolation	1,0	R	1,73	1		0,6	1	0,6	

Uncertainty description	Uncert. value ±%	Probab. distr.	div	c_i^a (1 g)	Std. unc. (1 g)	Std. unc. (1 g)	C_i^a (10 g)	Std. unc. (10 g)	ν_i^b or ν_{eff}
Antenna and phantom related:									
Distance antenna-medium	1,0	R	1,73	1		0,6	1	0,6	
RF ambient condition	3,0	R	1,73	1		0,0	1	0,0	
Phantom uncertainty	2,0	R	1,73	1		1,2	1	1,2	
Temp, uncertainty – Conductivity	1,7	R	1,73	0,78		0,8	0,71	0,7	
Medium conductivity (measured)	2,0	N	1,73	0,78		1,6	0,71	1,4	
Temperature uncertainty – Permittivity	0,2	R	1,73	0,23		0,0	0,26	0,0	
Medium permittivity (measured)	2,0	N	1,73	0,23		0,5	0,26	0,5	
Combined standard uncertainty						±4,9		±4,8	
Expanded standard uncertainty ($k = 2$)						±9,7		±9,6	
^a c_i is the sensitivity coefficient. ^b ν_i or ν_{eff} are the degrees of freedom in the standard uncertainty $u(x_i)$ for the input estimate (x_i); and the degree of effective freedom in combined uncertainty $u_c(x_i)$, used to obtain $t_{\text{tp}}(\nu_{\text{eff}})$, respectively.									

Table G.2 – Example uncertainty budget for reference antenna calibration (PIFA) for 1 g and 10 g averaged SAR (750 MHz to 3 GHz)

Uncertainty description	Uncert. value ±%	Probab. distr.	div	c_i^a (1 g)	Std. unc. (1 g)	Std. unc. (1 g)	C_i^a (10 g)	Std. unc. (10 g)	ν_i^b or ν_{eff}
Incident power:						1,4		1,4	
Power reference	0,5	N	2	1	0,3				
Sensor calibration factor at 1 mW	0,7	N	2	1	0,4				
Sensor linearity	0,4	R	1,73	1	0,2				
Mismatch sensor and reference attenuator	0,3	U	1,41	1	0,2				
Mismatch reference attenuator and coupler	0,3	U	1,41	1	0,2				
S_{21} of reference attenuator	2,3	N	2	1	1,2				
Antenna power:						1,8		1,8	
Mismatch antenna and coupler	2,0	U	1,41	1	1,4				
Cable attenuation variation	1,2	R	1,73	1	0,7				
Coupler uncertainty (S_{11})	1,1	U	1,41	1	0,8				
Net power uncertainty	0,2	N	2	1	0,1				
Measurement system related:									
Probe calibration	3,4	N	1	1		3,4	1	3,4	
Axial isotropy	1,6	R	1,73	0,7		0,6	0,7	0,6	
Hemispherical isotropy	7,3	R	1,73	0,7		2,9	0,7	2,9	
Linearity	1,2	R	1,73	1		0,7	1	0,7	
Detection limit	0,0	R	1,73	1		0,0	1	0,0	
Boundary effect	1,0	R	1,73	1		0,6	1	0,6	
Readout electronics	0,3	N	1	1		0,3	1	0,3	
Response time (CW)	0,0	R	1,73	1		0,0	1	0,0	
Integration time (CW)	0,0	R	1,73	1		0,0	1	0,0	

Uncertainty description	Uncert. value ±%	Probab. distr.	div	c_i^a (1 g)	Std. unc. (1 g)	Std. unc. (1 g)	c_i^a (10 g)	Std. unc. (10 g)	ν_i^b or ν_{eff}
Probe positioner	0,02	R	1,73	1		0,01	1	0,01	
Probe positioning	0,4	R	1,73	1		0,2	1	0,2	
Extrapolation/Interpolation	5,0	R	1,73	1		2,9	1	2,9	
Antenna and phantom related:									
Distance antenna-medium	1,0	R	1,73	1		0,6	1	0,6	
RF ambient condition	3,0	R	1,73	1		0,0	1	0,0	
Phantom uncertainty	2,0	R	1,73	1		1,2	1	1,2	
Temperature uncertainty – Conductivity	1,7	R	1,73	0,78		0,8	0,71	0,7	
Medium conductivity (measured)	2,0	N	1,73	0,78		1,6	0,71	1,4	
Temperature uncertainty – Permittivity	0,2	R	1,73	0,23		0,0	0,26	0,0	
Medium permittivity (measured)	2,0	N	1,73	0,23		0,5	0,26	0,5	
Combined standard uncertainty						±6,3		±6,3	
Expanded standard uncertainty ($k = 2$)						±12,7		±12,6	
^a c_i is the sensitivity coefficient. ^b ν_i or ν_{eff} are the degrees of freedom in the standard uncertainty $u(x_i)$ for the input estimate (x_i); and the degree of effective freedom in combined uncertainty $u_c(x_i)$, used to obtain $t_{\text{tp}}(\nu_{\text{eff}})$, respectively.									

Table G.3 – Example uncertainty budget for reference antenna (dipole) calibration for 1 g and 10 g averaged SAR (3 GHz to 6 GHz)

Uncertainty description	Uncert. value ± %	Probab. distr.	div	C_i^a (1 g)	Std. unc. (1 g)	Std. unc. (1 g)	C_i^a (10 g)	Std. unc. (10 g)	ν_i^b or ν_{eff}
Incident power:						1,5		1,5	
Power reference	0,5	N	2	1	0,3				
Sensor calibration factor at 1 mW	0,8	N	2	1	0,4				
Sensor linearity	1,1	R	1,73	1	0,6				
Mismatch sensor and reference attenuator	0,6	U	1,41	1	0,4				
Mismatch reference attenuator and coupler	0,6	U	1,41	1	0,4				
S_{21} of reference attenuator	2,3	N	2	1	1,2				
Antenna power						2,0		2,0	
Mismatch antenna and coupler	2,0	U	1,41	1	1,4				
Cable attenuation variation	2,0	R	1,73	1	1,2				
Coupler uncertainty (S_{11})	1,0	U	1,41	1	0,8				
Net power uncertainty	0,2	N	2	1	0,1				
Measurement system related:									
Probe calibration	4,6	N	1	1		4,6	1	4,6	
Axial isotropy	1,6	R	1,73	1		0,9	1	0,9	
Hemispherical isotropy	7,3	R	1,73	0		0,0	0	0,0	
Linearity	1,2	R	1,73	1		0,7	1	0,7	

Uncertainty description	Uncert. value ± %	Probab. distr.	div	C_i^a (1 g)	Std. unc. (1 g)	Std. unc. (10 g)	C_i^a (10 g)	Std. unc. (10 g)	ν_i^b or ν_{eff}
Detection limit	0,0	R	1,73	1		0,0	1	0,0	
Boundary effect	1,0	R	1,73	1		0,6	1	0,6	
Readout electronics	0,3	N	1	1		0,3	1	0,3	
Response time (CW)	0,0	R	1,73	1		0,0	1	0,0	
Integration time (CW)	0,0	R	1,73	1		0,0	1	0,0	
Probe positioner	0,04	R	1,73	1		0,02	1	0,02	
Probe positioning	0,8	R	1,73	1		0,5	1	0,5	
Extrapolation/Interpolation	2,0	R	1,73	1		1,2	1	1,2	
Antenna and phantom related:									
Distance antenna-medium	2,0	R	1,73	1		1,2	1	1,2	
RF ambient condition	3,0	R	1,73	1		0,0	1	0,0	
Phantom uncertainty	2,0	R	1,73	1		1,2	1	1,2	
Temperature uncertainty – Conductivity	1,7	R	1,73	0,78		0,8	0,71	0,7	
Medium conductivity (measured)	2,0	N	1,73	0,78		1,6	0,71	1,4	
Temperature uncertainty – Permittivity	0,2	R	1,73	0,23		0,0	0,26	0,0	
Medium permittivity (measured)	2,0	N	1,73	0,23		0,5	0,26	0,5	
Combined standard uncertainty						±6,1		±6,0	
Expanded standard uncertainty ($k = 2$)						±12,2		±12,1	
^a c_i is the sensitivity coefficient ^b ν_i or ν_{eff} are the degrees of freedom in the standard uncertainty $u(x_i)$ for the input estimate (x_i); and the degree of effective freedom in combined uncertainty $u_c(x_i)$, used to obtain $t_{\text{tp}}(\nu_{\text{eff}})$, respectively.									

G.5 Method and uncertainties for the transfer of calibration between two of more antennas of the same type using the array system

Clause G.5 describes the procedure and measurement uncertainties for the transfer calibration between two or more antennas of the same type and having the same dimensions and material as specified in this document in accordance with the requirements for the mechanical dimensions and the electrical properties at each specified frequency. See Annex F for categories of antennas.

With reference to Figure G.2, step 1 (primary calibration) involves calibrating one of the antennas using the methods described in Clauses G.3 and G.4 in order to establish the 1 g or 10 g averaged SAR per watt. This antenna is termed the reference antenna and its calibration factor is CAL_{ref} with unit of W/kg per watt.

In step 2 (transfer calibration, see Figure G.3), the array system is used to compare the SAR from the reference antenna with another antenna of the same type under the same conditions that the reference antenna was calibrated (i.e. head or body, separation distance, frequency, forward power, location, etc.) per Annex B. This is achieved by measuring the SAR from the reference antenna using the array system, then substituting it for the antenna to be calibrated (antenna 2).

The array system used for the transfer shall have a valid calibration that complies with this document.

The source and power measurement equipment will generally not be the ones that were used in step 1. This yields SAR values normalized to 1 W for the reference antenna, SAR_{ref} , and the second antenna, $SAR_{antenna2}$.

The calibration factor of the second antenna is given in Formula (G.1):

$$CAL_{antenna2} = CAL_{ref} \times \frac{SAR_{antenna2}}{SAR_{ref}} \quad (G.1)$$

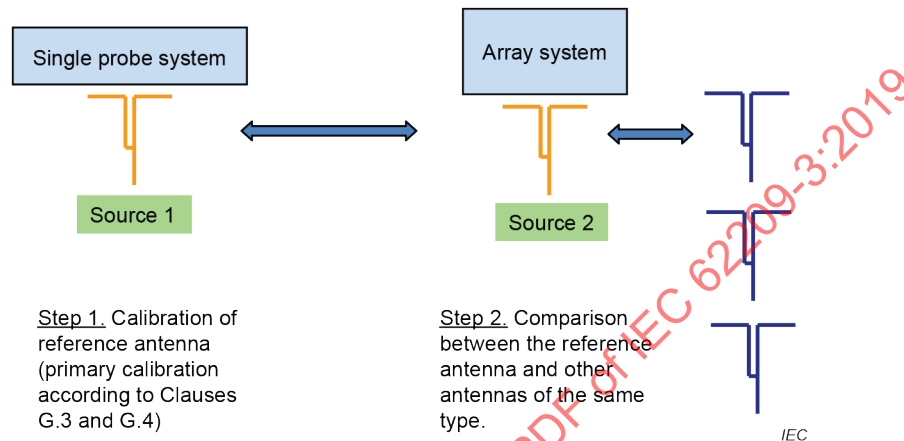


Figure G.3 – Method for the transfer of calibration between two antennas of the same type using the array system

The uncertainty model of the transfer calibration is given by Formula (G.2):

$$TCU = \sqrt{CAL^2 + POS^2 + DAS^2 + PL^2 + PD^2 + ACR^2} \quad (G.2)$$

Table G.4 shows an example uncertainty template.

Table G.4 – Example uncertainty budget for the calibration of an antenna using the transfer method, as percentages

Quantity x_i (source of uncertainty)	Symbol	Unc. ±%	Prob. distr.	Div	C_i^a (1 g)	Std. unc. (1 g)	C_i^a (10 g)	Std. unc. (10 g)	v_i^b or v_{eff}
Calibration uncertainty of the reference antenna ^c	<i>CAL</i>	12	N	2	1	6	1	6	∞
Antenna positional uncertainties	<i>POS</i>	2,6	N	1	1	2,6	1	2,6	∞
Drift of array system	<i>DAS</i>	1	N	1	1	1	1	1	∞
Power linearity	<i>PL</i>	0,5	R	1,73	1	0,29	1	0,29	∞
Power drift	<i>PD</i>	1	R	1,73	1	0,58	1	0,58	∞
Antenna connector repeatability	<i>ACR</i>	1	N	1	1	1	1	1	∞
Combined standard uncertainty						±6,72		±6,72	
Expanded standard uncertainty ($k = 2$)						$TCU = \pm 13,44$		$TCU = \pm 13,44$	

CAL: Calibration uncertainty is from the calibration certificate of the reference antenna.

POS: Antenna positional uncertainties is the error due to the positioning errors when substituting the reference antenna for antenna 2. This error can be reduced by repositioning the antenna and doing repeat measurement.

DAS: Drift of array system is the drift of the array system during the period of measurement of both the reference antenna and the second antenna (or number of subsequent antennas).

PL: Power linearity is the linearity in the power level during the measurement of the antennas on the array system (this can be monitored and corrected for).

PD: Power drift is the drift in the power level during the measurement of the antennas on the array system (this can be monitored and corrected for).

ACR: Antenna connector repeatability is the connector repeatability of the antenna connectors, based on a series of repeat connections.

^a c_i is the sensitivity coefficient.

^b v_i or v_{eff} are the degrees of freedom in the standard uncertainty $u(x_i)$ for the input estimate (x_i); and the degree of effective freedom in combined uncertainty $u_c(x_i)$, used to obtain $t_{\text{tp}}(v_{\text{eff}})$, respectively.

^c This uncertainty source is given by Table B.2.

Annex H (informative)

General considerations on uncertainty estimation

H.1 Concept of uncertainty estimation

The concepts of uncertainty estimation in the measurement of the SAR from wireless devices are based on the general rules provided by ISO/IEC Guide 98-3. Nevertheless, uncertainty estimation for complex measurements remains a difficult task and requires high-level and specialized engineering knowledge. In order to facilitate this task, guidelines and approximation formulas are provided in Annex H, enabling the estimation of each individual uncertainty component. The concept is designed to provide the system uncertainty for the entire frequency range of 600 MHz to 6 GHz and for any device under test within the scope of this document. Different uncertainty budgets for different frequency bands or other conditions may be assessed as long the user can easily comply with these conditions. As an example, if a system is made of several independent sections, e.g. hermetically sealed phantoms with embedded probe-arrays, an uncertainty budget may be specified for each individual phantom.

The uncertainty evaluation described in Annex H is designed to be broadly applicable for the results obtained from SAR measurement systems that conform with Clauses 6 to 9 of this document. However, results obtained from some measurement systems may require additional uncertainty analysis.

In addition to Table 2 and Table 3, detailed documentation shall be provided of the estimation of each influence quantity including methodology, assessment of data for each component, as well as how the uncertainty was derived from the data set.

SAR assessment systems utilizing vector probe or vector probe-array technologies falling in the scope of this document require additional considerations as compared to techniques covered by IEC 62209-1 and IEC 62209-2. To properly evaluate the uncertainty budget for such approaches, the following two main aspects shall be taken into account.

- 1) The tolerance on some of the components shall be assessed in amplitude and in phase, before being transferred into an uncertainty on peak spatial-average SAR (psSAR).
- 2) The sensitivity coefficients c_i of the uncertainty components shall be determined by sensitivity analysis for the tolerances.

Technological implementations of dosimetric assessment systems covered by this document as well as their calibration setups and procedures also differ from those of IEC 62209-1 and IEC 62209-2. As a result, the list of uncertainty components and the uncertainty evaluation methods had to be specifically revised. The list of uncertainty components is provided in Annex H, Annex I and Annex J.

The measurement uncertainty estimation shall be consistent with the validation results of Annex D, otherwise the stated uncertainty is not valid.

To define the procedures and requirements for Type A and Type B evaluations that are consistent with ISO/IEC Guide 98-3 can be complex. Nevertheless, there is a need for probe array vector measurement based systems, the performance of which shall be fully understood when used for demonstrating compliance with exposure limits. In order to achieve this goal, Annex H provides essential requirements and guidance for ensuring that the uncertainty evaluation is thorough and conservative. In addition, the approach proposed in Clause D.4 specifies a series of tests to evaluate the relevance and conservativeness of the reported uncertainty budget.

Guidance for assessing the uncertainty budget is provided in Clause 8. The procedure of validation is specified in Annex D using the antennas of Annex F.

H.2 Type A and Type B evaluations

Both Type A and Type B evaluations of the standard uncertainty shall be used. The evaluation of uncertainty by the statistical analysis of a series of observations is termed a Type A evaluation of uncertainty. The evaluation of uncertainty by means other than the statistical analysis of a series of observations is termed a Type B evaluation of uncertainty. Each component of uncertainty, however evaluated, is represented by an estimated standard deviation, termed the standard uncertainty, which is determined by the positive square root of the estimated variance.

When a Type A analysis is performed, the standard uncertainty u_i shall be derived using the estimated standard deviation from statistical observations. When a Type B analysis is performed, u_i comes from the upper a_+ and lower a_- limits of the quantity in question, depending on the probability distribution function defining $a = (a_+ - a_-)/2$, then:

- rectangular distribution: $u_i = a/\sqrt{3}$
- triangular distribution: $u_i = a/\sqrt{6}$
- normal distribution: $u_i = a/k$
- U-shaped (asymmetric) distribution: $u_i = a/\sqrt{2}$

where

a is the half-length of the interval set by limits of the influence quantity;

k is the coverage factor;

u_i is the standard uncertainty.

Predetermined standard deviations based on a larger number of repeat tests can be used to estimate uncertainty components in cases where the system, method, configuration and conditions, etc., are representative of the specific DUT.

H.3 Degrees of freedom and coverage factor

When the degrees of freedom are less than 30, a coverage factor of two is not the appropriate multiplier to achieve a 95 % confidence level. A simple but only approximately correct method is to use t in place of the coverage factor k , where t is the Student's- t factor. Standard deviations of t -distributions are narrower than normal (Gaussian) distributions, but the curves approach the Gaussian shape for large numbers of degrees of freedom. The degrees of freedom for most standard uncertainties based on Type B evaluations can be assumed to be infinite. Then the effective degrees of freedom of the combined standard uncertainty, u_c , will most strongly depend on the degrees of freedom of the Type A contributions and their amplitude relative to the Type B contributions. The coverage factor (k_p) for small sample populations shall be determined by Formula (H.1):

$$k_p = t_p(\nu_{\text{eff}}) \quad (\text{H.1})$$

where

k_p is the coverage factor for a given probability p ;

$t_p(\nu_{\text{eff}})$ is the t -distribution;

ν_{eff} is the effective degrees of freedom estimated using the Welch-Satterthwaite formula (Formula (H.2)):

$$\nu_{\text{eff}} = \frac{u_c^4}{\sum_{i=1}^m \frac{c_i^4 u_i^4}{\nu_i}} \quad (\text{H.2})$$

c_i is the sensitivity coefficient of each uncertainty component u_i ;

ν_i is the number of degrees of freedom for each uncertainty component u_i .

The subscript p refers to the approximate confidence level, e.g. 95 %. Tabulated values of $t_p(\nu_{\text{eff}})$ are available, for example in [27].

NOTE As an example, assume that the combined standard uncertainty calculated from all the quantities for the 1 g SAR in Table H.1 with an assumed positioning uncertainty of 7 % is $u_c = 14,2$ %. Assume also that the number of samples or tests is equal to 5, so $\nu_i = 4$ and the degrees of freedom for all of the other components are $\nu_i = \infty$. From Formula (H.2), the effective degrees of freedom for the combined standard uncertainty is $\nu_{\text{eff}} = 68$, so $k = 2$ does apply in this case, and the expanded uncertainty is $U = 29$ %. If the standard uncertainty for positioning variations goes to 9 % and the number of tests is reduced to 4 ($\nu_i = 3$), then $\nu_c = 15,3$ %, $\nu_{\text{eff}} = 25$, $k = k_p = k_{95} = t = t_{95} = 2,06$, and the expanded uncertainty becomes $U = 2,06 \times 15,6 \% = 31,4$ %.

H.4 Combined and expanded uncertainties

The contributions of each component of uncertainty shall be recorded with description, probability distribution, sensitivity coefficient, c_i , and uncertainty value, $u(x_i)$ of the uncertainty component, x_i . A recommended tabular form is shown in Table H.1.

If all uncertainty components, x_i , are statistically independent, the combined standard uncertainty $u_c(y)$ for SAR measurement (y) shall be estimated according to Formula (H.3):

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^m c_i^2 \cdot u^2(x_i)} \quad (\text{H.3})$$

The variable y is either the 1 g or 10 g psSAR. Therefore, Formula (H.3) can be written specifically for the estimation of the combined standard uncertainty for the 1 g and 10 g psSAR, $u_{c,1g}$ (Formula (H.4)) and $u_{c,10g}$ (Formula (H.5)) respectively:

$$u_{c,1g} = \sqrt{\sum_{i=1}^m c_{i,1g}^2 \cdot u^2(x_i)} \quad (\text{H.4})$$

$$u_{c,10g} = \sqrt{\sum_{i=1}^m c_{i,10g}^2 \cdot u^2(x_i)} \quad (\text{H.5})$$

If there is some significant non-linearity then higher-order terms, C_{ij} , in the Taylor series expansion used to derived the formula shall be used to calculate the combined standard uncertainty. Further description is provided in ISO/IEC Guide 98-3. The sensitivity coefficients $c_{i,1g}$ and $c_{i,10g}$ describe how the combined uncertainty for the 1 g and 10 g psSAR vary with changes in the values of the uncertainty component x_i .

If some uncertainty components are statistically dependent on others, the following general formula shall be applied to calculate the combined standard uncertainty:

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^m c_i^2 u^2(x_i) + 2 \sum_{i=1}^{m-1} \sum_{j=i+1}^m c_i c_j u(x_i) u(x_j) r(x_i, x_j)} \quad (\text{H.6})$$

In Formula (H.6), $r(x_i, x_j)$ is the correlation coefficient that is calculated with Formula (H.7) from the estimated covariance $u(x_i, x_j)$ associated with the two components x_i and x_j .

$$r(x_i, x_j) = \frac{u(x_i, x_j)}{u(x_i)u(x_j)} \quad (\text{H.7})$$

In the special case where all uncertainty terms are completely correlated (i.e. $r(x_i, x_j) = 1$), the uncertainty is a linear sum of the individual components as given in Formula (H.8):

$$u_c(y) = \sum_{i=1}^m c_i u(x_i) \quad (\text{H.8})$$

Further description and examples of evaluating uncertainty are provided in ISO/IEC Guide 98-1 and ISO/IEC Guide 98-3.

The expanded uncertainty U shall be estimated by multiplying the standard uncertainty by a coverage factor of $k = 2$ representing a confidence interval of 95 %.

The evaluation of several uncertainty components can be combined and assessed by Monte-Carlo method or more advanced methods. In such a case, the calculation of the correlation coefficient may not be needed.

H.5 Analytical reference functions

IEC 62209-1 and IEC 62209-2 describe three reference evaluation functions used to create artificial SAR data for testing the accuracy of post-processing algorithms. These functions are specified analytically and allow an accurate psSAR calculation. These mathematical objects are however made of real values taken by the function at the different locations in space. This is hence not enough to support the evaluation of uncertainty contributions involving near-field reconstruction techniques. Indeed, such approaches require field distribution inputs that satisfy Maxwell equations and verify laws of electromagnetic field propagation within the tissue-equivalent medium contained in the phantom.

In this document, a new form of analytical reference functions is introduced that have the required parameters. The general analytical formula for the reference complex vector electric field distributions is specified in Formula (H.9) as a sum of electric dipole moments:

$$E(\mathbf{x}) = \mathbb{G}(\mathbf{p})(\mathbf{x}) := \sum_{i=1}^{80} \sum_{j=1}^{80} (\nabla^2 G_k(\mathbf{x} - \mathbf{y}_{ij}) \mathbf{p} + k^2 G_k(\mathbf{x} - \mathbf{y}_{ij}) \mathbf{p}_{ij}) \quad (\text{H.9})$$

where

$\mathbf{x}$ is an $\mathbb{R}^3$ vector made of spatial coordinates at which the field is observed;

$$G_k(\mathbf{x}) = \frac{e^{ik|\mathbf{x}|}}{4\pi|\mathbf{x}|};$$

k is the unique solution of $k = \omega\mu_0(\omega\epsilon_0\epsilon_r - i\sigma)$;

$\text{Im}(k) > 0$ and $\nabla^2 G_k(\mathbf{x}) = \partial G_k(\mathbf{x}) / \partial x_i \partial x_j$ is the Hessian matrix of $G_k(\mathbf{x})$;

y_{ij} is a $\mathbb{R}^3$ vector containing x, y and z spatial coordinates indicating the location of the dipole.

p_{ij} is the dipole moment belonging to $\mathbb{C}^3$ space with coordinates, p_x , p_y and p_z .

Files containing tables of y_{ij} and p_{ij} are available on

https://www.iec.ch/dyn/www/f?p=103:227:10259584494877:::FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID:1303,25.

Each provided set defines a particular solution. The provided reference functions have been determined so that the analytical complex electric field distribution is at a minimum distance (in the sense of the L^2 norm) from numerical results obtained in FDTD-computed realistic exposure conditions with flat phantoms and head phantoms meeting the requirements of this document.

The reference functions are used in Annex I and Annex J to evaluate several uncertainty contributions that involve propagations of the errors through the reconstruction algorithms.

Table H.1 shows the list of available reference functions provided with this document. All the functions are normalized so that the reference 10 g psSAR equals 1 W/kg.

Table H.1 – Parameters of analytical reference functions and associated reference peak 10 g SAR value

Function ID	Frequency (MHz)	Antenna description	Phantom and test position	Medium relative permittivity	Medium conductivity (S.m ⁻¹)	Reference peak 10 g SAR (W/kg)
001	850	Ultra wide-band (UWB) coplanar strip-fed monopole fitting handset-like casing of 11,5 cm x 74 cm (called UWBA hereafter) at 0 mm from flat phantom	Flat phantom – UWBA casing in contact	42,234	0,892	0,570
002	1 800	Ultra wide-band antenna (UWBA)	Flat phantom – UWBA casing in contact	40,451	1,391	0,472
003	1 900	UWBA	Flat phantom – UWBA casing in contact	40,287	1,458	0,464
004	2 450	UWBA	Flat phantom – UWBA housing in contact	39,376	1,873	0,415
005	5 500	UWBA	Flat phantom – UWBA housing in contact	33,304	5,185	0,269
006	5 800	UWBA	Flat phantom – UWBA housing in contact	32,648	5,555	0,263
007	750	VPIFA-750	Flat phantom – VPIFA-750 flat mask in contact	42,477	0,855	0,262
008	1 950	VPIFA-1950	Flat phantom – VPIFA-1950 flat mask in contact	40,205	1,492	0,392
009	750	Validation dipole	Flat phantom – system validation position	42,477	0,855	0,638

Function ID	Frequency (MHz)	Antenna description	Phantom and test position	Medium relative permittivity	Medium conductivity (S.m ⁻¹)	Reference peak 10 g SAR (W/kg)
010	835	Validation dipole	Flat phantom – <i>system validation</i> position	42,269	0,887	0,633
011	1 750	Validation dipole	Flat phantom – <i>system validation</i> position	40,534	1,358	0,507
The reference peak 1 g SAR value is 1 W/kg for every function.						

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62209-3:2019

Annex I (normative)

Evaluation of measurement uncertainty of SAR results from scanning vector measurement-based systems with single probes

I.1 Measurement uncertainties to be evaluated by the system manufacturer *MM*

I.1.1 General

Clause I.1 describes uncertainty components that are specific to the measurement system, and therefore are typically evaluated by the system manufacturer, who has specific knowledge of the measurement system components, algorithms and subsystems. Some of the components can only be determined by the manufacturer, for example reconstruction.

I.1.2 Calibration *CF*

The standard uncertainty *CF* for calibration of the scanning system is determined by the system calibration laboratory or manufacturer.

Example protocols for calibration of vector measurement-based systems are given in Annex B. The protocols depend on each technological implementation and hardware. Calibration measurement uncertainty shall be assessed and documented by the system manufacturer. The radiating antenna used for calibration of a vector measurement-based system should be traceable according to national standards. The system calibration uncertainty should be documented and appropriate to the calibration method applied. The uncertainty includes the antenna uncertainty.

The probe calibration drift over time is an estimate for the change in calibration values of the system over the calibration interval within a specific calibration laboratory, and is based on the calibration history of the system. It is determined by Type A evaluation. For example, the calibration laboratory may have a specific system that it uses for regular re-calibration. In this case, the calibration drift should be specified as the standard deviation of the re-calibrations, relative to the mean value. It is recommended that the system calibration measurements that are used to determine this uncertainty are made over a period that is longer than the calibration period of the other equipment (e.g. power meters) used during calibration. This ensures that the calibration drift uncertainty includes variations due to the re-calibration of this equipment. Where a calibration history is not available, the manufacturer's estimate for the stability of the system over the calibration interval should be used. If the calibration drift uncertainty is not available, the full calibration uncertainty should be used instead.

Depending on the system implementation, a scanning single probe may be directly calibrated together with its readout electronics or the readout electronics may be calibrated separately. In the latter case, additional uncertainties resulting from the connection of the two blocks after calibration shall be taken into account, e.g. mismatch uncertainty for a RF probe and RF readout electronics having different impedances. The assessed tolerance valid at the sensor location shall be translated to the uncertainty for the psSAR and listed in Table 2. The translation is a function of the actual implemented 3D reconstruction and can only be performed by the manufacturer. All steps shall be documented.

I.1.3 Isotropy *ISO*

Isotropy is the change in sensitivity of the SAR probe due its rotation and inclination relative to the field vector being measured. It is usually given in the calibration certificate, or from manufacturer's specifications. The most common way to assess the deviation from isotropy (*ISO*) of the probe is by hemispherically rotating the sensors in a linear polarized field of

known amplitude and phase or vice-versa. Other methods may also be applicable if demonstrated to be equivalent.

The assessed tolerance, i.e. the deviation from the mean, shall be translated to the uncertainty for the psSAR and listed in Table 2. The translation is a function of the actual implemented 3D reconstruction and can only be performed by the manufacturer. All steps shall be documented.

I.1.4 System linearity *LIN*

The evaluation of system linearity shall be performed such that all components of the system introducing potential non-linearities are assessed. For instance, if a probe does not contain non-linear elements but its readout electronics does, then the tests to evaluate this uncertainty contribution shall include the readout electronics.

This evaluation may be done either in free space or in the tissue-equivalent medium. This is performed by a power sweep covering a local SAR in the range of 0,12 W/kg to 100 W/kg (RMS for CW signals) in steps of 3 dB or less. The linearity uncertainty is specified as the maximum deviation in the SAR versus power characteristic from the best-fit straight reference line going through zero ($SAR = a \times P$, where a is the best-fit slope of the line, using the method of least-squares) specified over the interval 0,12 W/kg to 100 W/kg. The relative phase linearity is determined by a phase sweep at 0,12 W/kg to 100 W/kg.

The assessed tolerance valid at the sensor location shall be translated to the uncertainty for the psSAR and listed in Table 2. The translation is a function of the actual implemented 3D reconstruction and can only be performed by the manufacturer. All steps shall be documented.

I.1.5 Sensitivity limit *SL*

System sensitivity limit is evaluated according to relevant clauses of IEC 62209-1 in such a way that the signal to noise ratio (determined at the measurement time) is at the lower bound of the system dynamic range as specified by the manufacturer. The sensitivity limit uncertainty is specified as the difference between the measured SAR and the SAR versus power characteristic from the best-fit straight reference line going through zero ($SAR = a \times P$, as described in I.1.4).

The assessed tolerance valid at the sensor location shall be translated to the uncertainty for the psSAR and listed in Table 2. The translation is a function of the actual implemented 3D reconstruction and can only be performed by the manufacturer. All steps shall be documented.

I.1.6 Boundary effect *BE*

The probe boundary effect introduces measurement uncertainty that is often partially compensated as function of the probe orientation with respect to shell. For the purposes of this document, this uncertainty is negligible if the closest distance between the probe tip and the phantom inner surface is always larger than the probe-tip diameter. If the probe is closer, the uncertainty for the measurement closest to the shell shall be determined. For example, this can be done in a waveguide (IEC 62209-1). Other methods are also applicable if the field distribution close to the surface is known with precision much higher than the expected tolerance for the boundary effect.

The assessed tolerance for the boundary effect shall be translated to the uncertainty for the psSAR and listed in Table 2.

I.1.7 Readout electronics *RE*

The readout electronics are used to process the signals read by the sensors. The readout electronics may have non-linear components (e.g. amplifiers) that will translate in uncertainty for the measure quantities. One method to determine these uncertainty components is by replacing the probe with an equivalent antenna having the same antenna impedance as the probe under consideration according to the manufacturer's specifications for the probe. This is generally performed by the system manufacturer. Each uncertainty shall be converted to a standard uncertainty using normal probability distribution. The RSS value of these uncertainties shall then be used to determine the overall readout electronics uncertainty.

The assessed tolerance valid at the sensor location shall be translated to the uncertainty for the psSAR and listed in Table 2. The translation is a function of the actual implemented 3D reconstruction and can only be performed by the manufacturer. All steps shall be documented.

I.1.8 Response time *RT*

The response time uncertainty is the measurement error caused by movement of the probe during measurement. For systems having fixed probes, this uncertainty is zero.

For scanning systems, response time uncertainty is evaluated by exposing the probe to SAR step response producing at least 100 W/kg near the phantom surface.

The assessed tolerance valid at the sensor location shall be translated to the uncertainty for the psSAR and listed in Table 2. The translation is a function of the actual implemented 3D reconstruction and can only be performed by the manufacturer. All steps shall be documented.

I.1.9 Probe positioning *PP*

I.1.9.1 Probe positioning parallel to the phantom surface

The mechanical tolerances of the field probe positioner can introduce deviations in the accuracy and repeatability of probe positioning that add to the uncertainty of the measured SAR. The uncertainty may be estimated with respect to the specifications of the probe positioner relative to the position required by the actual measurement location specified by the geometrical centre of the field probe sensors.

If the manufacturer of the positioner does not specify the mechanical tolerances of the probe positioner, this shall be evaluated experimentally.

The assessed tolerance valid at the sensor location shall be translated to the uncertainty for the psSAR and listed in Table 2. The translation is a function of the actual implemented 3D reconstruction and can only be performed by the manufacturer. All steps shall be documented.

I.1.9.2 Probe positioning normal to the phantom surface

The uncertainty of the probe positioner with respect to the phantom shell shall be determined experimentally.

The assessed tolerance valid at the sensor location shall be translated to the uncertainty for the psSAR and listed in Table 2. The translation is a function of the actual implemented 3D reconstruction and can only be performed by the manufacturer. All steps shall be documented.

I.1.10 Sampling error *SE*

The SAR distribution is estimated with the field reconstruction from the direct sampling of the field at a set of discrete points. If the sampling resolution is coarse compared to the gradients of the induced SAR distribution, the peak spatial-average may be inaccurate.

The evaluation of this uncertainty may be combined with the evaluation of the uncertainty of reconstruction algorithms.

For each reference source specified in Annex F, the following measurements shall be performed in a flat phantom:

- a) Measure the SAR in a volume of 22 mm × 22 mm × 22 mm with a 1 mm measurement resolution in each direction. Calculate the psSAR for 1 g and 10 g mass.
- b) Measure the SAR using the measurement resolution and protocol used by the scanning system. Calculate the psSAR for 1 g and 10 g mass.
- c) Calculate the difference in SAR determined in steps a) and b).

Record the maximum deviation of the SAR value from the target. A rectangular probability distribution is assumed.

I.1.11 Phantom shell *PS*

The evaluation of this uncertainty contribution shall be made on each phantom. This uncertainty contribution can be evaluated with a Type A approach, using numerical reference field distributions, as follows:

- a) For each numerical field distribution, the psSAR is computed with the phantom shell having a target thickness as specified in this document, and a target permittivity and conductivity as evaluated by the system manufacturer, complying with the requirements of this document. For each simulation i , the peak-spatial $SAR_{ref,i}$ is then obtained.
- b) The known tolerances on thickness, permittivity and conductivity are used to generate J simulation models ($j = 1$ to J) with modified phantoms.
- c) For each reference exposure condition i and modified phantom model j , the field distribution is computed using IEC/IEEE 62704-1 compliant software. From the obtained results, the field is sampled at the measurement system locations and polarizations, prior to applying reconstruction algorithms. SAR averaging is applied on the reconstructed fields to calculate the psSAR, $SAR_{i,j}$, for each (i, j) couple.
- d) For each reference exposure condition i , the relative deviation is then calculated as $(SAR_{i,j} - SAR_{ref,i})/SAR_{ref,i}$.
- e) The uncertainty is estimated as the RMS value on the $I \times J$ cases, with a $(I \times 3) - 1$ degree of freedom. Normal distribution is assumed.

The assessed tolerance valid at the sensor location shall be translated to the uncertainty for the psSAR and listed in Table 2. The translation is a function of the actual implemented 3D reconstruction and can only be performed by the manufacturer. All steps shall be documented.

I.1.12 Tissue-equivalent medium parameters *MAT*

I.1.12.1 General

Details of dielectric properties test methods are given in Annex J of IEC 62209-1:2016, and uncertainty estimation methods are given in ISO/IEC Guide 98-1. In this document, the same procedures and concepts as specified in IEC 62209-1 and IEC 62209-2 apply. However, the tissue-equivalent medium permittivity and conductivity may be parameters of the processing algorithms and therefore influence the calculations in a way that is specific to each processing approach. As a consequence, the system manufacturer shall demonstrate a proper evaluation of sensitivity coefficients relating to tolerances on tissue-equivalent medium parameters.

I.1.12.2 Medium volume density

IEC 62209-1 and IEC 62209-2 apply.

The assessed tolerance valid at the sensor location shall be translated to the uncertainty for the psSAR and listed in Table 2. The translation is a function of the actual implemented 3D reconstruction and can only be performed by the manufacturer. All steps shall be documented.

I.1.12.3 Medium conductivity

The uncertainty due to the medium conductivity arises from two different sources. The first source of uncertainty is the allowable tolerance specified in 7.1.2 from the target values in Table A.1 target value and the second source antenna of uncertainty arises from the measurement procedures used to assess conductivity. The uncertainty shall be estimated using a normal probability. Tissue-equivalent media shall yield conductivity values within $\pm 10\%$ of the target values at the frequencies at which the SAR is measured. The method of I.2.6 shall be used to correct the measured SAR for the deviations in conductivity.

The assessed tolerance valid at the sensor location shall be translated to the uncertainty for the psSAR and listed in Table 2. The translation is a function of the actual implemented 3D reconstruction and can only be performed by the manufacturer. All steps shall be documented.

I.1.12.4 Medium relative permittivity

The uncertainty due to the medium relative permittivity arises from two different sources. The first source of uncertainty is the allowable tolerance from the Table A.1 target value and the second source antenna of uncertainty arises from the measurement procedures used to assess relative permittivity. The uncertainty shall be estimated using a normal probability (I.2.6). Tissue-equivalent media shall yield relative permittivity values within $\pm 10\%$ of the target values at the frequencies at which the SAR is measured. The method of I.2.6 shall be used to correct the measured SAR for the deviations in permittivity.

The assessed tolerance valid at the sensor location shall be translated to the uncertainty for the psSAR and listed in Table 2. The translation is a function of the actual implemented 3D reconstruction and can only be performed by the manufacturer. All steps shall be documented.

I.1.12.5 Medium temperature

The measurements of both SAR and medium dielectric properties shall be carried out at an ambient temperature between $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ inclusively. These two measured temperatures shall not differ by more than $2\text{ }^{\circ}\text{C}$. The following evaluation shall be performed for each recipe to determine the uncertainty caused by the temperature uncertainty. This evaluation is typically done only once per recipe at the frequencies of interest. This evaluation shall be performed for every new recipe and for modifications to a recipe.

Measurement uncertainties of the dielectric properties at medium temperatures of $T_{\text{low}} = 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $T_{\text{high}} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ shall be computed according to Formula (I.1) and Formula (I.2):

$$u_{\epsilon_{\text{temp}}} [\%] = 100 \times \left| \frac{2 \times [\epsilon_r(T_{\text{high}}) - \epsilon_r(T_{\text{low}})]}{[\epsilon_r(T_{\text{high}}) + \epsilon_r(T_{\text{low}})]} \times \frac{2\text{ }^{\circ}\text{C}}{T_{\text{high}} - T_{\text{low}}} \right| \quad (\text{I.1})$$

$$u_{\sigma_{\text{temp}}} [\%] = 100 \times \left| \frac{2 \times [\sigma(T_{\text{high}}) - \sigma(T_{\text{low}})]}{[\sigma(T_{\text{high}}) + \sigma(T_{\text{low}})]} \times \frac{2\text{ }^{\circ}\text{C}}{T_{\text{high}} - T_{\text{low}}} \right| \quad (\text{I.2})$$

where

$u_{\epsilon_{\text{temp}}}$ is the temperature uncertainty for the medium relative permittivity [%];

$u_{\sigma_{\text{temp}}}$ is the temperature uncertainty for the medium conductivity [%];

$\epsilon_r(T_{\text{high}})$ is the relative permittivity at temperature T_{high} ;

$\varepsilon_r(T_{\text{low}})$	is the relative permittivity at temperature T_{low} ;
$\sigma(T_{\text{high}})$	is the conductivity at temperature T_{high} ;
$\sigma(T_{\text{low}})$	is the conductivity at temperature T_{low} ;
T_{high}	is the highest temperature at which the dielectric properties were measured [°C];
T_{low}	is the lowest temperature at which the dielectric properties were measured [°C].

These formulas can be used to derive the temperature uncertainty for the particular material. The uncertainty of the measurements of T_{low} and T_{high} shall be less than 0,1 °C. Note that ± 1 °C tolerance is applicable only for this uncertainty evaluation. They do not affect the temperature requirements during testing.

The values of $u_{\varepsilon_{\text{temp}}}$ and $u_{\sigma_{\text{temp}}}$ are listed in the appropriate rows in Table 2. A rectangular probability distribution has been assumed for the material temperature uncertainty in Table 2. The sensitivity coefficients for the material temperature uncertainty are c_{σ} for conductivity and c_{ε} for permittivity. They are calculated using the procedure described in I.2.6.2.

The assessed tolerance valid at the sensor location shall be translated to the uncertainty for the psSAR and listed in Table 2. The translation is a function of the actual implemented 3D reconstruction and can only be performed by the manufacturer. All steps shall be documented.

I.1.12.6 Spatial variation in tissue-equivalent medium parameters

Scanning systems use homogenous liquids, which shall be stirred regularly to prevent inhomogeneities in the dielectric properties. Therefore, this uncertainty can be neglected.

I.1.13 Measurement system immunity/secondary reception *MSI*

During measurement, the field radiated by the DUT may be picked up by parts of the measurement system other than the field sensors. Secondary reception of signals by the array system that are not measured by the field sensors (e.g. that are picked up by data acquisition electronics) may result in undesirable effects susceptible to increase the measurement uncertainty. The assessment of this contribution is system specific and shall be documented by the manufacturer. It can be for example carried out by using the validation antennas in specified test positions and blocking the direct field reception from the probe or probe-array that is assumed to perform the measurement. SAR measurements shall be performed in these conditions at frequencies specified for the validation and for each phantom in case each phantom contains a dedicated probe or probe-array. The uncertainty shall be estimated assuming a rectangular probability distribution.

I.2 Uncertainty of reconstruction corrections and post-processing to be specified by the manufacturer *MN*

I.2.1 General

Clause I.2 describes the estimation of the uncertainty resulting from the post-processing of the discrete measured data to determine the 1 g and 10 g psSAR. This includes the uncertainty of field reconstruction, SAR averaging, the influence of noise and the effects of scaling and corrections. The uncertainty evaluation assumes that there are no errors in the location of the grid points, given that these uncertainty terms are covered in Clause I.1. Where appropriate, the analytical reference functions in Annex H are applied.

I.2.2 Evaluation of uncertainty due to reconstruction *REC*

The uncertainty contribution due to reconstruction algorithms shall be applied as follows using each of the N reference field distributions (see Clause H.5) in the flat and head phantom:

- 1) Sample the reference field distribution corresponding to the measurement scan performed by the scanning system.

- 2) Process the sampled data by utilizing system reconstruction and peak spatial-averaging algorithms.
- 3) For each distribution, compute the relative difference between the psSAR obtained in step 2) and the reference SAR targets for the provided reference functions.

The uncertainty is obtained as the RMS of the values obtained in step 3) for all the appropriate reference distributions. Normal distribution and a degree of freedom of $N - 1$ are assumed.

This approach naturally takes into account the actual sampling and truncation of the fields resulting from measurement system implementation. If sampling and array boundary uncertainties are evaluated together, the set of reference vector field distributions at a flat phantom shall include:

- a) reference vector field distributions translated by half of the scan grid resolution (half of probe-to-probe distance in the case of an array) at least along two axes in both positive and negative directions (four translations per field distribution);
- b) reference vector field distributions translated so that the expected psSAR is located at all relevant edges of the measurement area as recommended by the manufacturer (at least four translations if the measurement area is rectangular).

If such an approach is taken to include sampling and truncation effects, uncertainty contributions for sampling, array boundaries, reconstruction algorithms are evaluated in a combined fashion so that only one combined uncertainty value shall be reported in Table 2 with rectangular distribution.

I.2.3 Impact of noise on reconstruction *POL*

This is the influence of signal noise on the accuracy of the measurement. The impact of measurement noise being fed into processing algorithms can be estimated by the following procedure:

- a) Add white Gaussian noise to reference 3D vector field distributions and create X noisy sets for each initial condition. The standard deviation of the noise on the amplitude and phase data shall be aligned with the actual system measurement noise.
- b) Sample noisy field distributions of the set at grid points and using polarizations corresponding to the measurement scan performed by the actual system.
- c) Process the sampled data by utilizing system reconstruction algorithms as if they were actually measured.
- d) For each distribution affected with noise, calculate the relative standard deviation of the psSAR.

For each phantom and frequency, the uncertainty is estimated as the RMS of the values obtained in step d) for all the appropriate distributions affected by noise. Normal distribution is assumed. A degree of freedom of $N - 1$ is assumed, supposing N initial noiseless distributions are involved at a given frequency. The maximum uncertainty across the applicable frequency range and used phantoms shall be reported.

I.2.4 SAR averaging *SAV*

Subclause 7.2.10.2 of IEC 62209-1:2016 applies.

I.2.5 SAR scaling *SARS*

Subclause 7.2.11 of IEC 62209-1:2016 applies.

I.2.6 SAR correction for deviations in permittivity and conductivity SC

I.2.6.1 Assessment of tissue-equivalent medium dielectric properties measurement uncertainties

The measurement procedures described in Annex J of IEC 62209-1:2016 use vector network analysers for dielectric property measurements. Network analysers require calibration in order to account for and remove inherent losses and reflections. The uncertainty budget for dielectric measurement derives from inaccuracies in the calibration data, analyser drift, and random errors. Other sources of errors are the uncertainties of the sample holder hardware, and deviations from the optimal dimensions for the specified frequencies, and sample properties. This applies regardless of the type of sample holder and the nature of the scattering parameters being measured. Uncertainties due to the straight-line fit in the slotted-line method can be evaluated using a least-squares analysis.

In Table 2 to Table 5, the sensitivity coefficients c_i for the measurement uncertainties of the conductivity and permittivity of tissue-equivalent media are needed. These sensitivity coefficients shall be determined for each specific processing technique used by the system. In setting up the parameters of the algorithms, target values shall be assumed for the dielectric properties. The sensitivity coefficients are then obtained numerically using the following procedure:

- Calculate the psSAR using reference numerical vector field distributions representing various exposure conditions and obtained with tissue-equivalent medium parameters set as target values. The same sampling grid and processing algorithms shall be used as in the actual system.
- Calculate the psSAR on a modified set of reference distributions based on the same conditions as in step a) but with dielectric properties varied to mesh the space of tolerances on permittivity and conductivity, e.g. all the couples composed of target permittivity and conductivity $\pm 2\%$. In this step, the reference field distributions are actually modified due to deviations of permittivity and conductivity values from targets. However, the processing algorithms are supposed to not have the information on this deviation and hence are configured to operate with dielectric properties set as targets.
- Calculate the relative differences ΔSAR in psSAR values determined in step b) with respect to psSAR determined in step a) for each condition.
- For each frequency, calculate the slopes of best-fit linear regressions relating ΔSAR expressed as a percentage to $\Delta \epsilon_r$ and $\Delta \sigma$ expressed as a percentage. These slopes are respectively the sensitivity coefficients on permittivity and conductivity measurement tolerances.

The largest sensitivity coefficients over the considered frequency range shall be entered into Table 2 to Table 5.

I.2.6.2 SAR correction formula for deviation from dielectric properties target values

The determination of SAR correction for the deviation of dielectric properties from target values shall be determined for each specific processing technique used by the system. In setting up the parameters of the algorithms, dielectric properties actually measured for the tissue-equivalent medium used in the system shall be assumed. The corrections and their uncertainty are obtained numerically using the following procedure:

- Calculate the psSAR on the reference numerical vector field distributions representing various exposure conditions and obtained with tissue-equivalent medium parameters set as target values. The same sampling grid and processing algorithms as in the actual system shall be used.
- Calculate the psSAR on a modified set of reference distributions based on the same conditions as in step a) but with dielectric properties set as target dielectric properties $\pm 10\%$. In this step, the reference field distributions are actually modified due to deviations of permittivity and conductivity values from targets. The processing algorithms are

supposed to be fed with the information on this deviation and hence are set to operate with dielectric properties corresponding to the measured values.

- c) Calculate the relative differences ΔSAR in psSAR values determined in step b) with respect to psSAR determined in step a) for each condition.
- d) For each frequency f , calculate the slopes of best-fit linear regressions relating ΔSAR expressed as a percentage to $\Delta \varepsilon_r$ and $\Delta \sigma$ expressed as a percentage. These slopes are respectively the sensitivity coefficients c_ε and c_σ on known deviations from permittivity and conductivity targets.
- e) For each frequency f , the correction coefficient is obtained as $-c_\varepsilon \times \Delta \varepsilon_r - c_\sigma \times \Delta \sigma$. The correction uncertainty is obtained as the RMS value of relative residuals (relative differences between the SAR calculated at step b) with applied correction for each relevant condition with respect to the SAR calculated at step a)).

The largest uncertainty value over the considered frequency range shall be listed in Tables 2 to 5, with a normal probability distribution assumed. A degree of freedom of $N - 1$ is assumed, supposing N distributions are involved at a given frequency.

I.3 Uncertainties that are dependent on the DUT *MD*

I.3.1 General

Clause I.3 deals with uncertainty terms that are dependent on the characteristics of the DUT.

I.3.2 Probe coupling with the DUT *PC*

The probe of the scanning system scatters the power deposited into the phantom from the DUT. The scattered field may modify the loading of the DUT compared to a phantom without the probe present. This is a particular problem if the construction of the probe or the transmission line includes a significant amount of conductive medium.

For a scanning system, the following procedure shall be applied in the flat phantom. This procedure shall be followed for each of the validation antennas described in Annex F:

- a) Perform a single-port open-short-load calibration of a vector network analyser that is valid over the frequency range of the validation antenna.
- b) Connect the i -th validation antenna described in Annex F to the calibrated port of the vector network analyser.
- c) Position the antenna at the centre of the flat phantom. Move the probe(s) of the scanning system out of the phantom.
- d) Measure the antenna return loss, designated as $|S_{11_without_probe,i}|$.
- e) Move the probe(s) of the scanning system into the phantom. At each point $p_j = (x_j, y_j, z_j)$ of the probe(s) in the phantom, measure the antenna return loss, designated as $|S_{11_with_probe,i,j}|$.
- f) Find the largest power mismatch among all points p_j per Formula (I.3)

$$\Delta P_i = \max(|1 - [1 - |S_{11_with_probe,i}|^2]/[1 - |S_{11_without_probe,i}|^2]|) \quad (I.3)$$

Calculate the standard deviation of the values ΔP_i over all validation antennas. Report this value as the SAR measurement uncertainty contribution with assumed normal distribution.

I.3.3 Modulation Response *MOD*

The following uncertainty can be determined by using any antenna (e.g. dipole) or open-ended waveguide as a source with a setup equal or equivalent to a setup used for system verification. The signal generation setup shall simulate the modulation for which the uncertainty is determined according to the specification of the communication system

standard. For a system with one or several probes, the power shall be increased such that a range of 0,1 W/kg local SAR or less to 10 W/kg or more is assessed by steps of 5 dB. At each power level, the SAR shall be measured with the modulated signal and with CW at the same RMS power (verification that the power meter is a true RMS detector and that the amplifier is sufficiently linear for the entire dynamic of the signal is required).

Formula (I.4) can be used to derive the modulation uncertainty for the particular modulation X .

$$u_{\text{mod}_X} [\%] = \text{MAX}_{i=\{x,y,z\}} \left(\text{MAX}_{\substack{P_0+20\text{dB} \\ P_i=P_0}} \left(100 \times \left| \frac{\text{SAR}(P_i)_{\text{mod}_X}}{\text{SAR}(P_i)_{\text{CW}_i}} - 1 \right| \right) \right) \quad (\text{I.4})$$

where

u_{mod_X} is the uncertainty for the particular modulation X in percent;
 $\text{SAR}(P_i)_{\text{mod}_X}$ is the SAR measured with the modulated signal at a mean power;
 $\text{SAR}(P_i)_{\text{CW}_i}$ is the SAR measured with CW at the same mean power.

The SAR uncertainty is determined as the maximum of all u_{mod_X} at each step. A rectangular probability distribution is assumed for probe modulation response uncertainty.

I.3.4 Integration time IT

Probe integration-time uncertainties may arise when test devices do not emit a continuous signal. When the integration time and discrete sampling intervals used in the probe electronics are not synchronized with the pulsed characteristics of the measured signal, the RF energy at each measurement location may not be fully or correctly captured. This uncertainty shall be evaluated according to the signal characteristics of the test device prior to the SAR measurement.

The probe integration time shall be determined from SAR measurements using a stable antenna with the same signal characteristics and the same probe type that is used for DUT measurements. Measurements at a single point (where the SAR is at least 1 W/kg) shall be made consecutively using the chosen integration time and progressively larger integration times. Double the integration time for each consecutive measurement until the last and next to last measurements are within 0,1 dB of each other. Each measurement at a given integration time shall be repeated several times to verify that the measurement result is stable, and the average psSAR of the repeat measurements shall be used for that integration time. The probe integration time uncertainty is the percentage difference between the average psSAR at the chosen integration time and the RMS value at the last measurement step when increasing the integration time. A rectangular probability is assumed.

I.3.5 Measured SAR drift SD

Subclause 7.2.8 of IEC 62209-1:2016 applies.

I.4 Uncertainties related to the measurement environment ME

I.4.1 General

Clause I.4 deals with uncertainty terms that are related to the measurement setup, environmental conditions, and reference antenna characteristics.

I.4.2 Device holder DH

Subclause 7.2.5.2 of IEC 62209-1:2016 applies.

I.4.3 Device positioning *DP*

Subclause 7.2.5.3 of IEC 62209-1:2016 applies.

I.4.4 RF ambient conditions *AC*

Subclause 7.2.9 of IEC 62209-1:2016 applies.

I.4.5 Measurement system drift and noise *DN*

Subclause I.4.5 describes three uncertainty terms:

- Noise in the SAR measurement system. This is typically due to component noise.
- Short-term drifts (e.g. over a period of minutes or hours). This is due to equipment heating, electromagnetic interference or changes in ambient conditions.
- Long-term drifts (over the calibration period). This may be caused by amplifier stability, changes in the dielectric properties of the medium and component drift.

Uncertainty due to drift and noise is evaluated from trend analysis of the SAR measurement taken at several times on a measurement system as shown in Figure I.1. They are evaluated separately and combined as the root-sum-squared of the uncertainties assuming that they are statistically independent. A dipole antenna is used as the antenna, fed with a CW signal (to avoid modulation uncertainty) having an input power corresponding to a 1 g psSAR level of 1 W/kg. For the short-term drift, record the 1 g and 10 g psSAR at different times from initial power up of the SAR measurement system (after manufacturer-recommended warm-up time) and continuing as often as possible (determined by the measurement speed) for a period of 8 h. The fastest stable scan rate of the system shall be used for these measurements. A sufficiently long integration time shall be used such that the integration time uncertainty is negligible for these tests.

The moving average M_{noise} from the individual psSAR measurements M_i shall be computed. The averaging window size shall be chosen such that the component noise is averaged out but not the influence of the change of ambient conditions (e.g. 5 s). Record the maximum deviation between the resulting points.

The measurement system drift and noise uncertainty is calculated as given in Formula (I.5)

$$u^2_{(\text{drift} + \text{noise})} = u^2_{(\text{drift})} + u^2_{(\text{noise})} \quad (\text{I.5})$$

$$u_{\text{SAR}} [\%] = 100 \times \left[\frac{\max(M_i) - \min(M_i)}{\max(M_i) + \min(M_i)} + \frac{2 \times M_{\text{noise}}}{\max(M_i) + \min(M_i)} \right] = 100 \times \left[\frac{2 \times M_{\text{noise}} + \max(M_i) - \min(M_i)}{\max(M_i) + \min(M_i)} \right] \quad (\text{I.6})$$

where

M_i is the SAR measured continuously;

M_{noise} is the SAR averaged over the chosen averaging window.

The long-term drift uncertainty is evaluated in the same way, except that measurements are performed over the calibration period (e.g. 1 year).

The uncertainty is assumed to have a rectangular distribution.

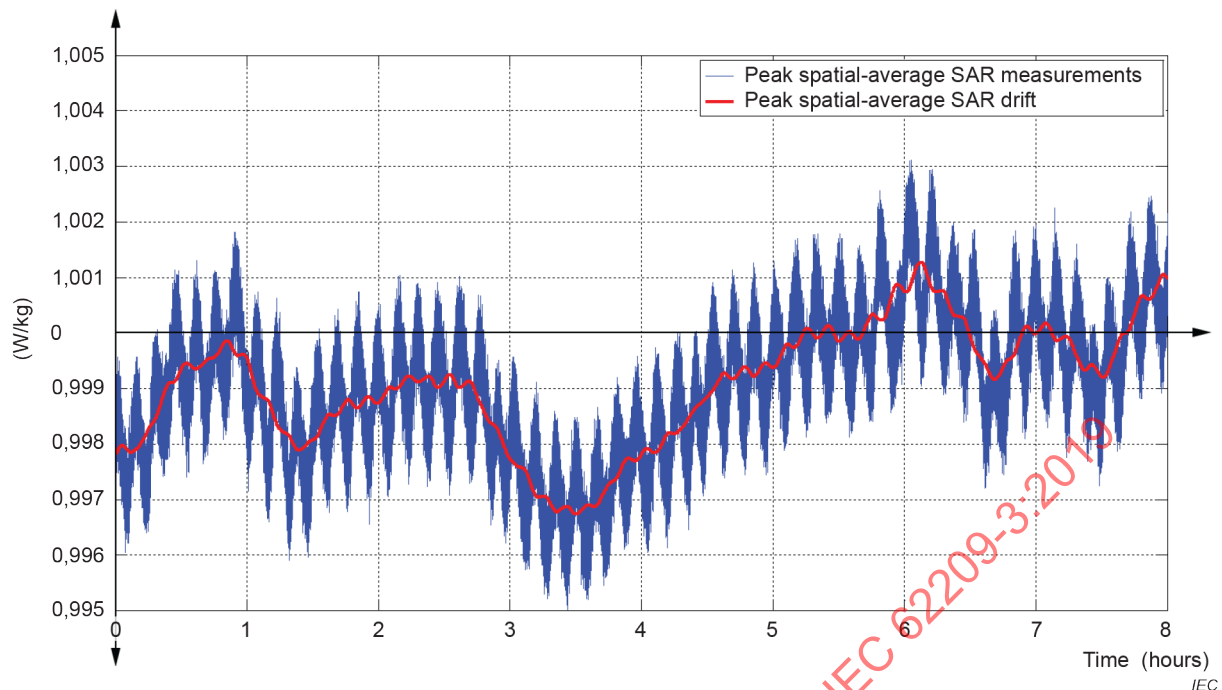


Figure I.1 – Illustration of SAR measurement results during 8 h and the centred moving average

I.5 Uncertainties of validation antennas *MI*

I.5.1 General

Clause I.5 describes the measurement uncertainties during *system check* or *system validation* that are caused by tolerances in the antennas.

I.5.2 Deviation of experimental antennas *DEX*

Subclause 7.2.12 of IEC 62209-1:2016 applies.

I.5.3 Power measurement uncertainty *PMU*

Refer to D.2.4.

I.5.4 Other uncertainty contributions when using validation antennas *OVS*

Subclause 7.2.13 of IEC 62209-1:2016 applies.

Annex J (normative)

Evaluation of the measurement system uncertainty of fixed array or scanning array vector measurement-based systems

J.1 Measuring system uncertainties to be evaluated by the manufacturer *MM*

J.1.1 General

Clause J.1 describes uncertainty components that are specific to the measurement system, and therefore are typically evaluated by the system manufacturer, who has specific knowledge of the measurement system components, algorithms and subsystems. Some of the components can only be determined by the system manufacturer, for example reconstruction.

J.1.2 Calibration *CF*

The standard uncertainty *CF* for calibration of the vector system is determined by the system calibration laboratory or system manufacturer.

Example protocols for calibration of vector measurement-based systems are given in Annex B. The protocols depend on each technological implementation and hardware. Calibration uncertainty shall be assessed and documented by the system manufacturer. The radiating antenna used for calibration of the vector measurement-based system should be traceable according to national standards. The system calibration uncertainty should be documented and appropriate to the calibration method applied. The uncertainty includes the antenna uncertainty.

Depending on the system implementation, the probe-array may be directly calibrated together with its readout electronics or the readout electronics may be calibrated separately. In the latter case, additional uncertainties resulting from the connection of the two blocks after calibration shall be taken into account, e.g. mismatch uncertainty for a RF probe and RF readout having different impedances. The probe calibration drift over time is an estimate for the change in calibration values of the system over the calibration interval within a specific calibration laboratory, and is based on the calibration history of the system. It is determined by Type A evaluation. For example, the calibration laboratory may have a specific system that it uses for regular re-calibration. In this case, the calibration drift should be specified as the standard deviation of the re-calibrations, relative to the mean value. It is recommended that the system calibration measurements that are used to determine this uncertainty are made over a period that is longer than the calibration period of the other equipment (e.g. power meters) used during calibration. This ensures that the calibration drift uncertainty includes variations due to the re-calibration of this equipment. Where a calibration history is not available, the manufacturer's estimate for the stability of the system over the calibration interval should be used. If the calibration drift uncertainty is not available, the full calibration uncertainty should be used instead.

The assessed tolerance valid at the sensor location shall be translated to the uncertainty for the psSAR and listed in Table 2. The translation is a function of the actual implemented 3D reconstruction and can only be performed by the manufacturer. All steps shall be documented.

J.1.3 Isotropy *ISO*

Probe or probe-array isotropy is a measure of the deviation in probe response to arbitrary field polarization and incidence. In general, fields emitted by a handset are of arbitrary polarization and incidence. For single probe systems, this uncertainty component can be evaluated following IEC 62209-1 and IEC 62209-2 appropriate procedures. For array systems, technology-specific considerations have to be taken into account. The manufacturer shall evaluate this contribution during the calibration. If algorithms are applied to compensate for

the deviation from isotropic response, then the SAR uncertainty shall be determined with the same evaluation hardware and software as is used for performing the SAR measurements. To evaluate the isotropy, the SAR measurement system shall be exposed to reference fields containing waves with varying angles of incidence with respect to the line normal to the phantom surface. The SAR gradients in the direction normal to the phantom shell shall be low enough that probe positioning tolerance does not significantly influence the isotropy assessment. The isotropy shall be characterized for at least one frequency in each frequency band of interest.

The assessed tolerance valid at the sensor location shall be translated to the uncertainty for the psSAR and listed in Table 2. The translation is a function of the actual implemented 3D reconstruction and can only be performed by the manufacturer. All steps shall be documented.

J.1.4 Mutual sensor coupling *MSC*

J.1.4.1 General

For systems using probe-arrays, coupling between the probe sensors may exist, due to imperfect isolation of the sensors. This uncertainty term is caused by port-to-port coupling where the readout at a given sensor port is influenced by the voltage and/or current at another sensor port. Mutual sensor coupling may be evaluated and compensated during calibration. However, this coupling is in principle dependent on the polarization, distribution and angle of incidence of the impinging field and is therefore difficult to remove completely during calibration.

The assessed tolerance valid at the sensor location shall be translated to the uncertainty for the psSAR and listed in Table 2. The translation is a function of the actual implemented 3D reconstruction and can only be performed by the manufacturer. All steps shall be documented.

Two methods are described in the following J.1.4.2 and J.1.4.3.

In order to isolate this uncertainty contribution from other components, the following requirements apply.

- The probe or probe-array shall be immersed in tissue-equivalent medium complying with the requirements of this document.
- The reference antennas used shall have a polarization purity of more than 10 dB.
- The reference antennas shall be far enough from the phantom so that the interaction with the probe or probe-array can be neglected.
- The fields shall be sufficiently above the noise floor.

J.1.4.2 Evaluation of mutual sensor coupling for independently-calibrated probes

In the case of probe arrays with probes that are calibrated independently prior to assembly or in the case of probe arrays that are calibrated together in their final operating condition without compensation for mutual coupling, the mutual sensor coupling uncertainty shall be evaluated by computing the difference between the single point SAR measured using one probe in isolation and the SAR measured by the same probe surrounded by the other probes. Several antennas with different polarizations and angles of incidence are required. The antennas are moved to the required positions so that each sensor is actually exposed to a field strength compatible with the dynamic range of the measurement system. For each test condition, the calibration coefficients and post-processing are applied on the measured data to evaluate the vector field over the measurement surface. It shall be documented how the error propagates and how the uncertainty is coupled to other uncertainty terms.

J.1.4.3 Evaluation of mutual sensor coupling for probe arrays using compensation

For probe-arrays where the probes are calibrated together in their final operating condition and the mutual coupling between the sensors is characterized as a scattering matrix and compensated (e.g. during the probe-array calibration), mutual coupling will be reduced. However, the remaining mutual sensor coupling error shall be assessed. Also, the uncertainty on the compensation is taken into account as an additional contribution to the measurement system calibration uncertainty. It shall be documented how the error propagates and how the uncertainty is coupled to other uncertainty terms.

J.1.5 Scattering due to the presence of the array AS

J.1.5.1 General

Scattering of the electromagnetic fields in the phantom due to the presence of the array cause distortion of the impinging field distribution captured by the sensors. These reflections are strongly dependent on the distribution, polarization and angle of incidence of the incident fields. Therefore, they cannot be fully calibrated out. This uncertainty term is correlated with the uncertainty due to mutual coupling between the sensors.

In order to characterize this uncertainty component and minimize the influence from other components, the following requirements apply.

- The probe or probe-array shall be immersed in tissue-equivalent medium conforming with the requirements of this document.
- The reference antennas used shall have a polarization purity of more than 10 dB.
- The reference antennas shall be far enough from the phantom so that the interaction with the probe or probe-array can be neglected.
- The probe or probe-array shall be far enough from the phantom shell so that the boundary effect can be neglected.
- The fields shall be sufficiently above the noise floor.
- The incident angles of the propagating field with respect to the orientation of the array shall cover 0° to 45°.
- The polarizations of the propagating field shall include parallel and normal polarization with respect to the array.

Reference antennas with different polarizations and angles of incidence are required. The antennas are moved at as many needed positions so that each sensor is exposed to a field intensity compatible with the dynamic range of the measurement system. For each test condition, the calibration coefficients and post-processing are applied on the measured data to evaluate the vector field over the measurement surface. This can also be evaluated by computational analysis that is validated experimentally.

The assessed tolerance valid at the sensor location shall be translated to the uncertainty for the psSAR and listed in Table 2. The translation is a function of the actual implemented 3D reconstruction and can only be performed by the manufacturer. All steps shall be documented.

J.1.5.2 Evaluation of array scattering for independently-calibrated probes

In the case of probe-arrays that are calibrated independently prior to assembly or in the case of probe arrays that are calibrated together in their final operating condition without compensation for scattering, the uncertainty due to scattering within the array shall be evaluated by computing the difference between the single point SAR measured using one probe in isolation and the SAR measured by the same probe surrounded by the other probes but without the sensing element connected. This minimizes the influence of port-to-port mutual coupling.

J.1.5.3 Evaluation of array scattering for systems using compensation

For probe-arrays where the probes are calibrated together in their final operating condition and the mutual coupling between the sensors is characterized as a scattering matrix and compensated (e.g. during the probe-array calibration), the effect of the scattered field on the received signal by each sensor may be evaluated from a time-domain analysis of the probe-array response. The contribution from the scattered field shall be isolated using a time-gating approach. The uncertainty shall then be evaluated as the maximum relative difference between the SAR obtained using the original signals and the one obtained with time-gated signals. If a time-filtering compensation is applied during measurements, this compensation shall be included for the uncertainty evaluation and its uncertainty contribution characterized.

It is also possible to assess altogether the uncertainty components for isotropy (J.1.3), mutual sensor coupling (J.1.4) and scattering within the array (J.1.5). This can be done with a setup complying with the requirements of J.1.5. In this case, the obtained vector field for each measurement in conditions of the specified set is projected on the reference vector field for the corresponding antenna and test condition. Ideally this projection shall equal the squared norm of the reference vector field at every point. In practice however, this projection deviates from the squared norm by a relative residual error. The maximum relative residual error obtained for all test conditions within a space region compatible with system dynamic range is reported as the uncertainty for this component with a rectangular distribution.

J.1.6 System linearity *LIN*

The evaluation of system linearity shall be performed such that all components of the system introducing potential non-linearities are assessed. For instance, if a probe does not contain any non-linear elements but its associated readout electronics does, then the tests to evaluate this uncertainty contribution shall include the readout electronics. The uncertainty term is evaluated as described in IEC 62209-1.

This evaluation may be done either in free space or in the tissue-equivalent medium. This is performed by a power sweep covering a local SAR in the range of 0,12 W/kg to 100 W/kg (RMS for CW signals) in steps of 3 dB or less. The linearity uncertainty is specified as the maximum deviation in the SAR versus power characteristic from the best-fit straight reference line going through zero ($SAR = a \times P$, where a is the best-fit slope of the line, using the method of least-squares) specified over the interval 0,12 W/kg to 100 W/kg.

The assessed tolerance valid at the sensor location shall be translated to the uncertainty for the psSAR and listed in Table 2. The translation is a function of the actual implemented 3D reconstruction and can only be performed by the manufacturer. All steps shall be documented.

J.1.7 Sensitivity limit *SL*

System sensitivity limit is evaluated according to relevant clauses of IEC 62209-1 in such a way that the signal to noise ratio (determined at the measurement time) is at the lower bound of the system dynamic range as specified by the manufacturer. The sensitivity limit uncertainty is specified as the difference between the measured SAR and the SAR versus power characteristic from the best-fit straight reference line going through zero ($SAR = a \times P$, as described in J.1.6).

The assessed tolerance valid at the sensor location shall be translated to the uncertainty for the psSAR and listed in Table 2. The translation is a function of the actual implemented 3D reconstruction and can only be performed by the manufacturer. All steps shall be documented.

J.1.8 Boundary effect *BE*

For fixed array systems, this error is typically negligible. If not, the same methodology as in J.1.6 applies.

J.1.9 Readout electronics *RE*

The readout electronics are used to process the signals read by the sensors. The readout electronics may have non-linear components (e.g. amplifiers) and may load the sensors causing distortion. One method to determine these uncertainty components is by replacing the probe with an equivalent antenna having the same antenna impedance as the probe under consideration according to the manufacturer's specifications for the probe. This is generally performed by the system manufacturer. Each uncertainty shall be converted to a standard uncertainty using normal probability distribution. The RSS value of these uncertainties shall then be used to determine the overall readout electronics uncertainty.

The assessed tolerance valid at the sensor location shall be translated to the uncertainty for the psSAR and listed in Table 2. The translation is a function of the actual implemented 3D reconstruction and can only be performed by the manufacturer. All steps shall be documented.

J.1.10 Response time *RT*

The response time uncertainty is the measurement error caused by movement of the array during measurement. For systems having fixed probes, this uncertainty is zero.

For systems having moveable arrays, response time uncertainty is evaluated by exposing the probe to an E-field step response producing at least 100 W/kg near the phantom surface. The signal response time is evaluated as the time required by the probe and its readout electronics to reach 90 % of the expected final value produced by the step response by switching the RF power on and off. During the SAR measurement, the probe shall remain stationary at each measurement location for at least twice the assessed response time so that the probe signal response time uncertainty is negligible. Under these measurement conditions, a tolerance value of zero may be entered in the appropriate uncertainty table. Otherwise, the SAR uncertainty due to signal response-time uncertainty shall be assessed, using the signal characteristics of the test device. In this case, the signal step-response time uncertainty is equal to the percentage difference between the SAR measured at the chosen measurement time and the SAR measured at twice the chosen measurement time. A rectangular probability distribution shall be assumed.

The assessed tolerance valid at the sensor location shall be translated to the uncertainty for the psSAR and listed in Table 2. The translation is a function of the actual implemented 3D reconstruction and can only be performed by the manufacturer. All steps shall be documented.

J.1.11 Probe position *PP*

The mechanical restrictions of the field probe or probe-array positioner can introduce deviations in the accuracy of the probe position that add to the uncertainty of the measured SAR. The uncertainty is due to mechanical tolerance in the sensor location during manufacturing. The actual distance of the sensor from the phantom surface is different from the assumed (nominal) distance, and each sensor location varies in a specific tolerance range. The impact of these deviations cannot be assessed in the same way as for systems covered by IEC 62209-1 and IEC 62209-2, because of the existence of multiple probes and the potential use of phase information and field reconstruction algorithms. The uncertainty is evaluated using a set of numerically generated vector field reference distributions covering the performance requirements of Annex D (e.g. generated using the formulation in Clause H.5). The procedure is as follows.

- a) For each numerical distribution, the field is sampled at points and in polarizations that correspond to the measurement grid applied by the physical system.
- b) From these original sampled data, the peak spatial-average SAR (psSAR) is computed using the same processing as used for measurements with this particular system. In this process, step a) gives the reference SAR, $SAR_{ref,i}$, for each field distribution case i (a number of i distributions is supposed per frequency).

- c) The known tolerance on probe or probe-array positioning is used to generate measurement scan grids G_j ($j = 1$ to J) affected by mechanical errors. The manufacturer shall make a model to represent such mechanical errors. For example, each tolerance may have a rectangular or triangular distribution if the manufacturer specifies maximum acceptable deviations from nominal locations. In the case of moving probes, the repeatability uncertainty of the probes positioning shall be included in the mechanical error. J sampled distributions of each reference vector field are then created by using the G_j sampling grids.
- d) For each reference field i and each grid j , the reconstruction algorithms of the measurement system are applied to compute the psSAR, $SAR_{i,j}$. The software shall assume ideal positions of the points in the grid. As a consequence, the algorithms are used as if sampled field values were obtained from a probe or probe-array with perfectly known position, whereas the probe or probe-array is actually sampling the field on a grid that deviates from the targeted locations.
- e) For each (i, j) pair, the relative difference $\%SAR_{i,j} = (SAR_{i,j} - SAR_{ref,i})/SAR_{ref,i}$ is computed.

U_i is then calculated for each reference field configuration i as the 95th percentile of the absolute value of $\%SAR_{i,j}$ for all J probe or probe-array grid locations. The uncertainty is then estimated as the RMS value of U_i across the applicable frequency range for all I exposure conditions. This value is calculated on $I \times J$ cases with $I \times J - 1$ degrees of freedom. A normal distribution ($k = 2$) is assumed.

The assessed tolerance valid at the sensor location shall be translated to the uncertainty for the psSAR and listed in Table 2. The translation is a function of the actual implemented 3D reconstruction and can only be performed by the manufacturer. All steps shall be documented.

J.1.12 Sampling error SE

The SAR distribution is estimated with the field reconstruction from the direct sampling of the field at a set of discrete points. If the sampling resolution is coarse compared to the gradients of the induced SAR distribution, the peak spatial-average result may be inaccurate.

The evaluation of this uncertainty may be combined with the evaluation of the uncertainty of reconstruction algorithms.

The uncertainty is evaluated using a set of numerically generated vector field reference distributions covering the performance requirements of Annex D (e.g. generated using the formulation in Clause H.5).

Move each reference function over several points in X and Y directions surrounding the reference location. The points are specified for a 1 mm resolution with respect to the centre point (A0 for flat phantoms, E for head phantoms), extending half of the sensor resolution in both directions. The values are evaluated at the sampling resolution of the SAR measurement equipment. The values are input to the SAR system software that computes the peak-spatial average SAR using the reconstruction algorithms as if they were actually measured. The resulting 1 g and 10 g SAR values are compared with reference SAR values. Record the maximum deviation of the SAR value from the target. A rectangular probability distribution is assumed.

The assessed tolerance valid at the sensor location shall be translated to the uncertainty for the psSAR and listed in Table 2. The translation is a function of the actual implemented 3D reconstruction and can only be performed by the manufacturer. All steps shall be documented.

J.1.13 Array boundaries AB

In addition to SAR uncertainties due to the spatial resolution and the locations of the sensors, there are uncertainties at the boundary of the measurement area due to truncation of the field and extrapolation of the field distribution beyond the measurement area.

The evaluation of this uncertainty can be combined with the evaluation of the uncertainty of reconstruction algorithms.

The uncertainty is evaluated using a set of numerically generated vector field reference distributions covering the performance requirements of Annex D (e.g. generated using the formulation in Clause H.5). The reference distributions are applied close to the boundary of the measurement area. If the measurement system provides warnings or error messages to the user about the measurement uncertainty at locations near the boundary, the evaluation shall be performed inside of these locations. Compare the resulting 1 g SAR and 10 g average SAR with the target values. The reference distributions shall be applied at the boundaries of the applicable measurement region specified by the manufacturer are tested. The software shall clearly specify the measurement region such that measurements outside this region provide warnings to the user. For each edge and each corner of the measurement region, the reference function shall be applied for the given point and other points toward the centre of the measurement region, in steps according to the sensor resolution. The maximum deviation for all cases shall be recorded. A rectangular probability distribution is assumed.

The assessed tolerance valid at the sensor location shall be translated to the uncertainty for the psSAR and listed in Table 2. The translation is a function of the actual implemented 3D reconstruction and can only be performed by the manufacturer. All steps shall be documented.

J.1.14 Phantom shell *PS*

The evaluation of this uncertainty contribution shall be made on the flat phantom. This uncertainty contribution can be evaluated with a Type A approach, using numerical reference field distributions, as follows.

- a) For each numerical field distribution, the psSAR is computed with the phantom shell having a target thickness as specified by the standard, and a target permittivity and conductivity as evaluated by the system manufacturer, complying with the requirements of this document. For each simulation i , the psSAR, $SAR_{ref,i}$, is then obtained.
- b) The known tolerances on thickness, permittivity and conductivity are used to generate J simulation models ($j = 1$ to J) with modified phantoms.
- c) For each reference exposure condition i and modified phantom model j , the field distribution is computed using IEC/IEEE 62704-1 compliant software. From the obtained results, the field is sampled at the system probe or probe-array locations and along the appropriate polarizations, prior to applying reconstruction algorithms. SAR averaging is applied on the reconstructed fields to calculate the psSAR, $SAR_{i,j}$, for each (i, j) couple.
- d) For each reference exposure condition i , the relative deviation is then calculated as $(SAR_{i,j} - SAR_{ref,i})/SAR_{ref,i}$.
- e) The uncertainty is estimated as the RMS value on the $I \times J$ cases, with a $(I \times 3) - 1$ degree of freedom. Normal distribution is assumed.

The assessed tolerance valid at the sensor location shall be translated to the uncertainty for the psSAR and filled into Table 2. The translation is a function of the actual implemented 3D reconstruction and can only be performed by the manufacturer. All steps shall be documented.

J.1.15 Tissue-equivalent medium parameters *MAT*

J.1.15.1 General

Details of dielectric properties test methods are given in Annex J of IEC 62209-1:2016, and uncertainty estimation methods are given in ISO/IEC Guide 98-1. In this document, the same procedures and concepts as specified by IEC 62209-1 and IEC 62209-2 apply. However, the tissue-equivalent medium permittivity and conductivity may be parameters of the processing algorithms and therefore influence the calculations in a way that is specific to each processing approach. As a consequence, the system manufacturer shall demonstrate a proper evaluation of sensitivity coefficients relating to tolerances on the tissue-equivalent medium parameters.

J.1.15.2 Medium density

IEC 62209-1 and IEC 62209-2 apply.

The assessed tolerance valid at the sensor location shall be translated to the uncertainty for the psSAR and listed in Table 2. The translation is a function of the actual implemented 3D reconstruction and can only be performed by the manufacturer. All steps shall be documented.

J.1.15.3 Medium conductivity

The uncertainty due to the medium conductivity arises from two different sources. The first source of uncertainty is the allowable tolerance from the Table A.1 target value and the second source antenna of uncertainty arises from the measurement procedures used to assess conductivity. The uncertainty shall be estimated using a normal probability. Tissue-equivalent media shall yield conductivity values within $\pm 10\%$ of the target values at the frequencies at which the SAR is measured. The method of I.2.6 shall be used to correct the measured SAR for the deviations in conductivity.

The assessed tolerance valid at the sensor location shall be translated to the uncertainty for the psSAR and listed in Table 2. The translation is a function of the actual implemented 3D reconstruction and can only be performed by the manufacturer. All steps shall be documented.

J.1.15.4 Medium permittivity

The uncertainty due to the medium relative permittivity arises from two different sources. The first source of uncertainty is the allowable tolerance from the Table A.3 target value and the second source antenna of uncertainty arises from the measurement procedures used to assess relative permittivity. The uncertainty shall be estimated using a normal probability (I.2.6). Tissue-equivalent media shall yield relative permittivity values within $\pm 10\%$ of the target values at the frequencies at which the SAR is measured. The method of I.2.6 shall be used to correct the measured SAR for the deviations in permittivity.

The assessed tolerance valid at the sensor location shall be translated to the uncertainty for the psSAR and listed in Table 2. The translation is a function of the actual implemented 3D reconstruction and can only be performed by the manufacturer. All steps shall be documented.

J.1.15.5 Medium temperature

The measurements of both SAR and medium dielectric properties shall be carried out at an ambient temperature between $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ inclusively. These two measured temperatures shall not differ by more than $2\text{ }^{\circ}\text{C}$. The following evaluation shall be performed for each recipe to determine the uncertainty caused by the temperature uncertainty. This evaluation is typically done only once per recipe at the frequencies of interest. This evaluation shall be performed for every new recipe or for modifications to a recipe.

Measurement uncertainties of the dielectric properties at medium temperatures of $T_{\text{low}} = 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $T_{\text{high}} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ shall be computed according to Formula (J.1) and Formula (J.2):

$$u_{\varepsilon_{\text{temp}}} [\%] = 100 \times \left| \frac{2 \times [\varepsilon_r(T_{\text{high}}) - \varepsilon_r(T_{\text{low}})]}{[\varepsilon_r(T_{\text{high}}) + \varepsilon_r(T_{\text{low}})]} \times \frac{2\text{ }^{\circ}\text{C}}{T_{\text{high}} - T_{\text{low}}} \right| \quad (\text{J.1})$$

$$u_{\sigma_{\text{temp}}} [\%] = 100 \times \left| \frac{2 \times [\sigma(T_{\text{high}}) - \sigma(T_{\text{low}})]}{\sigma(T_{\text{high}}) + \sigma(T_{\text{low}})} \times \frac{2\text{ }^{\circ}\text{C}}{T_{\text{high}} - T_{\text{low}}} \right| \quad (\text{J.2})$$

where

u_{ϵ_temp}	is the temperature uncertainty for the medium permittivity [%];
u_{σ_temp}	is the temperature uncertainty for the medium conductivity [%];
$\epsilon_r(T_{high})$	is the relative permittivity at temperature T_{high} ;
$\epsilon_r(T_{low})$	is the relative permittivity at temperature T_{low} ;
$\sigma(T_{high})$	is the conductivity at temperature T_{high} ;
$\sigma(T_{low})$	is the conductivity at temperature T_{low} ;
T_{high}	is the highest temperature at which the dielectric properties were measured [°C];
T_{low}	is the lowest temperature at which the dielectric properties were measured [°C].

These formulas can be used to derive the temperature uncertainty for the particular medium. The uncertainty of the measurements of T_{low} and T_{high} shall be less than 0,1 °C. Note that ± 1 °C tolerance is applicable only for this uncertainty evaluation. They do not affect the temperature requirements during testing.

The values of u_{ϵ_temp} and u_{σ_temp} are listed in the appropriate rows in Table 2. A rectangular probability distribution has been assumed for the medium temperature uncertainty in Table 2. The sensitivity coefficients for the medium temperature uncertainty are c_{σ} for conductivity and c_{ϵ} for permittivity. They are calculated using the procedure described in J.2.6.

The assessed tolerance valid at the sensor location shall be translated to the uncertainty for the psSAR and listed in Table 2. The translation is a function of the actual implemented 3D reconstruction and can only be performed by the manufacturer. All steps shall be documented.

J.1.15.6 Spatial variation in tissue equivalent medium parameters

The dielectric properties of the tissue-equivalent medium can vary spatially. The spatial variation in the dielectric properties can be assessed on a production sample of the medium by making dielectric properties measurements at multiple regions (at least 10) in a dielectric sample across the frequency range of interest. This evaluation shall be performed after a period corresponding to the minimum maintenance period recommended by the manufacturer. The methods of Annex J in IEC 62209-1:2016 can be used to measure the dielectric properties, if appropriate. The dielectric measurement methods shall be appropriate to the medium being tested. The uncertainty term is calculated from the highest percentage difference in each of the permittivity and conductivity from the average value, and a rectangular distribution is assumed. This uncertainty term is only taken into account in the uncertainty budget if larger than the respective permittivity and conductivity measurement uncertainties.

The assessed tolerance valid at the sensor location shall be translated to the uncertainty for the psSAR and listed in Table 2. The translation is a function of the actual implemented 3D reconstruction and can only be performed by the manufacturer. All steps shall be documented.

J.1.16 Phantom homogeneity HOM

A conservative exposure assessment had been determined and validated for the specified phantom shell homogeneously filled with the specified tissue-equivalent medium to a depth of 150 mm. In case of scanning system, the effect of back scattering due to the presence of the probe or probe array shall be determined numerically or experimentally.

The uncertainty of the effect of thermal gradients within the phantom shall be determined, e.g. by simulation of the worst case gradient.

The assessed tolerance valid at the sensor location shall be translated to the uncertainty for the psSAR and listed in Table 2. The translation is a function of the actual implemented 3D reconstruction and can only be performed by the manufacturer. All steps shall be documented.

J.1.17 Measurement system immunity/secondary reception *MSI*

Subclause I.1.13 applies.

J.2 Uncertainty of reconstruction, corrections, and post-processing to be specified by the manufacturer *MN*

J.2.1 General

Clause J.2 describes the estimation of the uncertainty resulting from the post-processing of the discrete measured data to determine the 1 g and 10 g psSAR. This includes the uncertainty of field reconstruction, SAR averaging, the influence of noise and the effects of scaling and corrections. The uncertainty evaluation assumes that there are no errors in the location of the grid points, given that these uncertainty terms are covered in J.1. Where appropriate, the analytical reference functions in Annex H are applied.

J.2.2 Evaluation of uncertainty due to reconstruction *REC*

I.2.2 applies.

J.2.3 Impact of noise on reconstruction *POL*

I.2.3 applies.

J.2.4 SAR averaging *SAV*

I.2.4 applies.

J.2.5 SAR scaling *SARS*

I.2.5 applies.

J.2.6 SAR correction for deviations in permittivity and conductivity *SC*

I.2.6 applies.

J.3 Measurement system uncertainties that are dependent on the DUT *MD*

J.3.1 General

These uncertainties include those relating to device position, separation distance to phantom, frequency, signal modulation, form factor, number and type of the antenna(s) and backscatter/mutual coupling between the antenna and the sensor array. The corresponding standard may include a Type A uncertainty analysis based on measurements of a set of antennas whose relevance is clearly demonstrated. To limit the influence of systematic errors on the uncertainty, the uncertainty of the forward power shall be no larger than 10 % of the total uncertainty of the target value of the antenna.

Clause J.3 deals with uncertainty terms that are dependent on the characteristics of the DUT.

J.3.2 Probe or probe-array coupling with the DUT *PC*

The probe or probe-array partly scatters the impinging power radiated by the DUT and transmitted into the phantom. This scattering phenomenon results in two different types of measurement uncertainty components:

- 1) the boundary effect, that relates to the part of the power which is back-scattered by the probe or probe-array to the interface, then back-scattered again at the impedance transition between tissue-to-medium interface and shell-to-air interface;
- 2) the modification of the DUT loading that causes a reaction of the power amplifier that may adjust its output power.

The boundary effect is addressed in J.1.8. J.3.2 applies to the second type of impact relating to a modification of the DUT behaviour. The following procedure shall be applied:

- a) Connect validation antenna or a set of reference antennas to port 1 of a VNA using RF coaxial cable.
- b) Measure the amplitude of S_{11} of the antennas at the applicable phantoms in the applicable frequency range. In this step, the phantoms contain no probe or probe-array. The antennas are positioned at each phantom in agreement with positions specified for the validation or at a relevant set of test positions.
- c) Measure the amplitude of S_{11} of the antennas in the same conditions with the phantoms containing the probe or probe-array.
- d) For each antenna and test position, compute the power mismatch, ΔP_i , as follows:

$$\Delta P_i = |1 - [1 - |S_{11_with_probe}|^2] / [1 - |S_{11_without_probe}|^2]| \quad (J.3)$$

- e) For each phantom, compute the relative standard deviation of the power mismatch across applicable test conditions.
- f) Report the maximum between standard deviations calculated in e) as the SAR measurement uncertainty contribution with assumed normal distribution.

The reported uncertainty following this approach will overestimate the actual uncertainty. Indeed, power amplifiers of modern DUTs are usually designed to compensate for different loadings such that the PA will usually apply more power when its output impedance gets away from the optimal load-pull zone and less power when the matching is better. This is all the more true if the DUT uses dynamic antenna tuning.

J.3.3 Modulation response *MOD*

I.3.3 applies.

J.3.4 Integration time *IT*

I.3.4 applies.

J.3.5 Measurement system drift and noise *DN*

I.3.5 applies.

J.4 Uncertainties related to the source or noise *ME*

J.4.1 General

Clause J.4 deals with uncertainty terms that are related to the measurement setup, environmental conditions, and reference antenna characteristics.

J.4.2 Device holder *DH*

Subclause 7.2.5.2 of IEC 62209-1:2016 applies.

J.4.3 Device positioning *DP*

Subclause 7.2.5.3 of IEC 62209-1:2016 applies.

J.4.4 RF ambient conditions *AC*

Subclause 7.2.9 of IEC 62209-1:2016 applies.

J.4.5 Measurement system drift and noise *DN*

Subclause I.4.5 applies.

J.5 Uncertainties of validation antennas *MV*

J.5.1 General

Clause J.5 describes the measurement uncertainties during *system check* or *system validation* that are caused by tolerances in the antennas.

J.5.2 Deviation of experimental antennas *DEX*

Subclause 7.2.12 of IEC 62209-1:2016 applies

J.5.3 Power measurement uncertainty *PMU*

Refer to D.2.4.

J.5.4 Other uncertainty contributions when using validation antennas *OVS*

Subclause 7.2.13 of IEC 62209-1:2016 applies. This uncertainty term includes the uncertainty in the distance of the source to the phantom.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62209-3:2019

Bibliography

- [1] Onishi, T. and Uebayashi S., "Influence of phantom shell on SAR measurement in 3-6 GHz frequency range," *IEICE Trans. Commun.*, vol., E88-B, no. 8, pp. 3257 – 3262, 2005
- [2] Drossos, A., Santomaa, V. and Kuster, N. The dependence of electromagnetic energy absorption upon human head tissue composition in the frequency range of 300-3000 MHz. *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Nov. 2000, vol. 48, no. 11, pp. 1988-1995
- [3] Gimm Y-M., "Development of Fast Speed SAR Measurement System Which Can Be Installed on the Assembly Line of Mobile Devices," Technical Report to Institute for Information Technology Advancement(IITA) of South Korean Government 2003
- [4] Gimm Y-M., Ju Y-J., Kahng S-T., Lee Y-R., and Lee S-B., "Quick SAR measurement system by 2D array E-field sensors," *Proc. of 2013 APMC*, Seoul, Korea, Nov. 5 – 8, 2013
- [5] Gimm Y-M., Kwon D-H., "Fast SAR measurement system structure using E-field sensors array," *Proc. of Asia-Pacific Radio Science Conference*, Toyama, Japan, Sep. 25, 2010
- [6] Gimm Y-M., Lee Y-R., Song Y-J., Kwon D-H., Park S-H., "Rapid SAR measurement by arraying E-field sensors in the phantom," *Proc. of Korea-Japan EMT/EMC/BE Joint Conference*, Seoul, Korea, May 18, 2012
- [7] Jackson, John D. (1998). *Classical Electrodynamics* (3rd ed.). Wiley. ISBN 0-471-30932-X
- [8] A. Fresnel, *Ann Chim et Phys*, (2), 1 (1816), *Oeuvres*, Vol. 1, 89, 129
- [9] Álvarez, Yuri, Fernando Las-Heras, and Marcos Rodríguez Pino. "Reconstruction of equivalent currents distribution over arbitrary three-dimensional surfaces based on integral equation algorithms." *IEEE Transactions on Antennas and Propagation* 55.12 (2007): 3460-3468
- [10] Balanis, Constantine A. *Advanced engineering electromagnetics*. John Wiley & Sons, 2012
- [11] Schelkunoff, S. A. (1936), *Some Equivalence Theorems of Electromagnetics and Their Application to Radiation Problems*. *Bell System Technical Journal*, 15: 92–112. doi:10.1002/j.1538-7305.1936.tb00720
- [12] Álvarez, Yuri, Fernando Las-Heras, and Marcos R. Pino. "The sources reconstruction method for amplitude-only field measurements." *IEEE transactions on Antennas and Propagation* 58.8 (2010): 2776-2781
- [13] R. W. Gerchberg and W. O. Saxton, "A practical algorithm for the determination of the phase from image and diffraction plane pictures," *Optik* 35, 237 (1972)
- [14] J. R. Fienup; Phase retrieval algorithms: a comparison; *Applied Optics* 21(15): 2758-2769, 1982
- [15] Paris, D. T. and Hurd F.K., *Basic Electromagnetic Theory*, McGraw-Hill 1969, pg. 383–385

- [16] Álvarez, Yuri, Fernando Las-Heras, and Marcos Rodríguez Pino. "Reconstruction of equivalent currents distribution over arbitrary three-dimensional surfaces based on integral equation algorithms." *IEEE Transactions on Antennas and Propagation* 55.12 (2007): 3460-3468
- [17] J. L. A. Quijano and G. Vecchi, "Improved-accuracy source reconstruction on arbitrary 3-D surfaces," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, Vol. 8, 1046-1049, 2009
- [18] J. L. A. Quijano and G. Vecchi, "Field and source equivalence in source reconstruction on 3D surfaces," *Progress In Electromagnetics Research*, Vol. 103, 67-100, 2010
- [19] IEEE 1720-2012, *IEEE Recommended Practice for Near-Field Antenna Measurements*
- [20] R. Mitharwal and F. P. Andriulli A Regularized Boundary Element Formulation for Contactless SAR Evaluations within Homogeneous and Inhomogeneous Head Phantoms , (invited), *Comptes Rendus Physique* , Vol. 16, n.9, 2015, pp. 776-788
- [21] O. Bottauscio, M. Chiampi, L. Zilberti, A boundary element approach to relate surface fields with the specific absorption rate (SAR) induced in 3-D human phantoms, *Eng. Anal. Bound. Elem.* 35(4) (2011) 657–666
- [22] Bucci, O. M., Gennarelli, C., and Savarese, C., "Representation of electromagnetic fields over arbitrary surfaces by a finite and nonredundant number of samples," *IEEE Trans. Antennas Propag.* , Vol. 46, No. 3, 351–359, 1998
- [23] Alvarez, Y., F. Las-Heras, and M. R. Pino, "Reconstruction of equivalent currents distribution over arbitrary three-dimensional surfaces based on integral equation algorithms," *IEEE Trans. On Antennas and Propag.* , Vol. 55, No. 12, 3460–3468, 2007
- [24] Araque Quijano, J. L. and G. Vecchi, "Field and source equivalence in source reconstruction on 3D surfaces," *Progress In Electromagnetics Research*, Vol. 103, 67–100, 2010
- [25] Thomas F. Eibert, Emre Kilic, Carlos Lopez, Raimund A. M. Mauermayer, Ole Neitz, and Georg Schnattinger, *Electromagnetic Field Transformations for Measurements, and Simulations*, *Progress In Electromagnetics Research*, Vol. 151, 127–150, 2015
- [26] Ferrara, F., Gennarelli, C., Guerriero, R., Riccio, G., and Savarese, C., "An efficient near-field to far-field transformation using the planar widemesh scanning," *Journal of Electromagnetic Waves and applications*, Vol. 21, No. 3, 341–357, 2007
- [27] NIST TN1297, *Guidelines for Evaluating and Expressing the Uncertainty of NIST Measurement Results*. Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology, 1994
- [28] ISO/IEC 17025, *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*
- [29] LEE, A.K., CHOI, H.D., LEE, H.S., and PACK, J.K. Human head size and SAR characteristics for handset exposure. *ETRI J.*, Apr. 2002, vol. 24, no. 2, pp. 176-179
- [30] GABRIEL, S., LAU, R.W. and GABRIEL, C. The dielectric properties of biological tissues: 3. Parametric models for the dielectric spectrum of tissues. *Phys. Med. Bio.*, 1996, vol. 41, no. 11, pp. 2271-2293

- [31] YEE, Kane. Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media. IEEE Transactions on antennas and propagation, 1966, 14. Jg., Nr. 3, S. 302-307
 - [32] MONK, Peter; SÜLI, Endre. A convergence analysis of Yee's scheme on nonuniform grids. SIAM Journal on Numerical Analysis, 1994, 31. Jg., Nr. 2, S. 393-412
 - [33] ISO 3611:2010, *Geometrical product specifications (GPS) – Dimensional measuring equipment: Micrometers for external measurements – Design and metrological characteristics*
 - [34] ISO/IEC 17043, *Conformity assessment – General requirements for proficiency testing*
-

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62209-3:2019

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	146
INTRODUCTION.....	148
1 Domaine d'application	149
2 Références normatives	149
3 Termes et définitions	150
4 Symboles et abréviations.....	151
5 Présentation de la procédure de mesure.....	151
6 Spécifications du système de mesure	154
6.1 Exigences générales.....	154
6.2 Spécifications du fantôme	156
6.2.1 Spécifications du fantôme de tête – enveloppe	156
6.2.2 Spécifications du fantôme de corps – enveloppe	156
6.2.3 Propriétés du milieu équivalent aux tissus	156
6.3 Exigences relatives au système de mesure	156
6.3.1 Généralités	156
6.3.2 Spécifications du système de mesure par balayage	156
6.3.3 Spécifications du système de mesure matriciel	157
6.4 Spécification du support de dispositif	158
6.5 Spécifications de l'algorithme de reconstruction et de l'intégration spatiale maximale	159
7 Protocole pour les évaluations du DAS	160
7.1 Préparation de mesure.....	160
7.1.1 Généralités	160
7.1.2 Préparation du milieu équivalent aux tissus	160
7.1.3 Contrôle du système	160
7.1.4 Préparation du dispositif à l'essai (DAE)	161
7.1.5 Modes de fonctionnement.....	161
7.1.6 Position du DAE par rapport au fantôme	161
7.1.7 Positions du DAE par rapport au fantôme plan pour les DAE volumineux.....	161
7.1.8 Fréquences d'essai pour le DAE	162
7.2 Essais à réaliser	162
7.3 Procédure de mesure générale	163
7.3.1 Généralités	163
7.3.2 Procédure de mesure pour les systèmes de balayage	163
7.3.3 Procédure de mesure pour les systèmes matriciels	163
7.4 Mesurages du DAS pour une émission simultanée	164
7.4.1 Généralités	164
7.4.2 Mesurages du DAS pour les signaux non corrélés	165
7.4.3 Mesurages du DAS pour les signaux corrélés	169
8 Estimation de l'incertitude de mesure	170
8.1 Généralités	170
8.2 Exigences relatives à l'évaluation de l'incertitude de mesure	171
8.3 Description des modèles d'incertitude de mesure.....	171
8.3.1 Généralités	171
8.3.2 Modèles d'incertitude pour un système de mesure matriciel et des systèmes de mesure par balayage.....	172

8.3.3	Exemple de modèles de bilans d'incertitudes	173
9	Rapport de mesure	178
Annexe A (normative)	Spécifications du fantôme	179
A.1	Spécifications du fantôme SAM.....	179
A.1.1	Justification	179
A.1.2	Géométrie du fantôme SAM.....	179
A.1.3	Milieu équivalent aux tissus	179
A.2	Spécifications du fantôme plan	180
A.3	Fantômes spécifiques	181
A.4	Milieu équivalent aux tissus	182
Annexe B (normative)	Étalonnage et caractérisation des sondes dosimétriques.....	183
B.1	Généralités	183
B.2	Types d'étalonnage.....	183
B.2.1	Étalonnage d'amplitude avec champs analytiques	183
B.2.2	Étalonnage d'amplitude et de phase par étalonnage par transfert.....	184
B.2.3	Étalonnage d'amplitude et de phase à l'aide d'une référence numérique.....	186
Annexe C (informative)	Techniques de reconstruction de champ.....	188
C.1	Généralités	188
C.2	Objectif des techniques de reconstruction de champ.....	188
C.3	Contexte	189
C.4	Techniques de reconstruction	190
C.4.1	Techniques de décomposition.....	190
C.4.2	Techniques de reconstruction de la source	192
C.4.3	Décomposition en fonctions de base sources	192
C.4.4	Reconstruction de phase	192
C.5	Reconstruction de source et estimation du DAS à partir des champs mesurés à l'extérieur du fantôme	192
C.6	Considérations supplémentaires relatives à la reconstruction du champ dans les systèmes de balayage	193
Annexe D (normative)	Vérification et validation du système de mesure du DAS	194
D.1	Objectifs et objet.....	194
D.1.1	Généralités.....	194
D.1.2	Objectifs et objet du <i>contrôle du système</i>	194
D.1.3	Objectifs de la <i>validation du système</i>	195
D.2	Montage et procédure de mesure du DAS pour le <i>contrôle du système</i> et la <i>validation du système</i>	195
D.2.1	Généralités.....	195
D.2.2	Montages de mesure de puissance.....	196
D.2.3	Procédure de mesure et de normalisation du DAS	197
D.2.4	Incertaince de mesure de puissance	199
D.3	<i>Contrôle du système</i>	201
D.3.1	Antennes de <i>contrôle du système</i> et conditions d'essai	201
D.3.2	Antennes de <i>contrôle du système</i> et conditions d'essai pour les systèmes de balayage	202
D.3.3	Antennes de <i>contrôle du système</i> et conditions d'essai pour les systèmes matriciels	202
D.3.4	Critères d'acceptation du <i>contrôle du système</i>	202
D.4	<i>Validation du système</i>	203
D.4.1	Validation des systèmes matriciels et des systèmes de balayage	203

D.4.2	Exigences pour les antennes de <i>validation du système</i> et conditions d'essai	203
D.4.3	Exigences relatives aux systèmes matriciels et aux systèmes de balayage.....	203
D.4.4	Positions d'essai pour la <i>validation du système</i>	206
D.4.5	Procédure de <i>validation du système</i> en fonction du DAS maximal moyenné dans l'espace	214
D.4.6	<i>Validation du système</i> sur site après installation	222
D.4.7	Critères d'acceptation de la <i>validation du système</i>	223
Annexe E (informative) Comparaisons interlaboratoires		225
E.1	Objet.....	225
E.2	Laboratoire de contrôle	225
E.3	Montage du fantôme	225
E.4	Dispositifs de référence	225
E.5	Réglage de la puissance	226
E.6	Comparaison interlaboratoires – Procédure	226
Annexe F (normative) Antennes de validation du système		227
F.1	Exigences générales.....	227
F.2	Exigences relatives au facteur d'adaptation	227
F.3	Antenne dipôle normalisée.....	228
F.4	VPIFA.....	231
F.5	2-PEAK CPIFA.....	233
F.6	Antennes supplémentaires.....	237
Annexe G (normative) Étalonnage DAS des antennes de référence		238
G.1	Objet.....	238
G.2	Paramètres ou grandeurs et plages à déterminer par la méthode d'étalonnage	239
G.3	Montage d'étalonnage de l'antenne de référence	239
G.4	Procédure d'étalonnage de l'antenne de référence.....	240
G.4.1	Vérification du facteur d'adaptation.....	240
G.4.2	Étalonnage des antennes de référence: procédure pas-à-pas.....	240
G.4.3	Bilan d'incertitudes de l'étalonnage de l'antenne de référence	241
G.5	Méthode et incertitudes pour le transfert de l'étalonnage entre deux antennes ou plus de même type utilisant le système matriciel.....	246
Annexe H (informative) Considérations générales relatives à l'estimation de l'incertitude		248
H.1	Concept d'estimation de l'incertitude	248
H.2	Évaluations de Type A et de Type B	249
H.3	Degrés de liberté et facteur d'élargissement	249
H.4	Incertitude composée et incertitude élargie	250
H.5	Fonctions de référence analytiques.....	251
Annexe I (normative) Évaluation de l'incertitude de mesure des résultats de DAS obtenus à partir de systèmes basés sur la mesure vectorielle par balayage avec des sondes simples		254
I.1	Incertitudes de mesure à évaluer par le fabricant des systèmes <i>MM</i>	254
I.1.1	Généralités	254
I.1.2	Étalonnage <i>CF</i>	254
I.1.3	Isotropie <i>ISO</i>	255
I.1.4	Linéarité du système <i>LIN</i>	255
I.1.5	Limite de sensibilité <i>SL</i>	255

1.1.6	Effet de bord <i>BE</i>	255
1.1.7	Lectures électroniques <i>RE</i>	256
1.1.8	Temps de réponse <i>RT</i>	256
1.1.9	Positionnement de la sonde <i>PP</i>	256
1.1.10	Erreur d'échantillonnage <i>SE</i>	257
1.1.11	Enveloppe du fantôme <i>PS</i>	257
1.1.12	Paramètres du milieu équivalent aux tissus <i>MAT</i>	258
1.1.13	Immunité/réception secondaire du système de mesure <i>MSI</i>	259
1.2	Incertitude des corrections de reconstruction et du traitement ultérieur à spécifier par le fabricant <i>MN</i>	260
1.2.1	Généralités	260
1.2.2	Évaluation de l'incertitude due à la reconstruction <i>REC</i>	260
1.2.3	Impact du bruit sur la reconstruction <i>POL</i>	261
1.2.4	Moyennage du DAS <i>SAV</i>	261
1.2.5	Mise à l'échelle du DAS <i>SARS</i>	261
1.2.6	Correction du DAS pour les écarts de permittivité et de conductivité <i>SC</i>	261
1.3	Incertitudes qui dépendent du DAE <i>MD</i>	263
1.3.1	Généralités	263
1.3.2	Couplage de sonde avec le DAE <i>PC</i>	263
1.3.3	Réponse en modulation <i>MOD</i>	263
1.3.4	Temps d'intégration <i>IT</i>	264
1.3.5	Dérive de DAS mesuré <i>SD</i>	264
1.4	Incertitudes liées à l'environnement de mesure <i>ME</i>	264
1.4.1	Généralités	264
1.4.2	Support de dispositif <i>DH</i>	264
1.4.3	Positionnement de dispositif <i>DP</i>	264
1.4.4	Conditions ambiantes <i>RE AC</i>	264
1.4.5	Dérive et bruit du système de mesure <i>DN</i>	264
1.5	Incertitudes des antennes de validation, <i>MV</i>	266
1.5.1	Généralités	266
1.5.2	Écart des antennes expérimentales <i>DEX</i>	266
1.5.3	Incertitude de mesure de puissance <i>PMU</i>	266
1.5.4	Autres contributions à l'incertitude lors de l'utilisation d'antennes de validation <i>OVS</i>	266
Annexe J (normative) Évaluation de l'incertitude des systèmes basés sur la mesure vectorielle matriciels ou à balayage		267
J.1	Incertitudes du système de mesure à évaluer par le fabricant <i>MM</i>	267
J.1.1	Généralités	267
J.1.2	Étalonnage <i>CF</i>	267
J.1.3	Isotropie <i>ISO</i>	268
J.1.4	Couplage mutuel de capteur <i>MSC</i>	268
J.1.5	Diffraction en raison de la présence de la matrice <i>AS</i>	269
J.1.6	Linéarité du système <i>LIN</i>	270
J.1.7	Limite de sensibilité <i>SL</i>	271
J.1.8	Effet de bord <i>BE</i>	271
J.1.9	Lectures électroniques <i>RE</i>	271
J.1.10	Temps de réponse <i>RT</i>	271
J.1.11	Position de la sonde <i>PP</i>	272
J.1.12	Erreur d'échantillonnage <i>SE</i>	273

J.1.13	Limites de la matrice AB	273
J.1.14	Enveloppe du fantôme PS	274
J.1.15	Paramètres du milieu équivalent aux tissus MAT	274
J.1.16	Homogénéité du fantôme HOM	276
J.1.17	Immunité/réception secondaire du système de mesure MSI	277
J.2	Incertitude de reconstruction, des corrections et du traitement ultérieur à spécifier par le fabricant MN	277
J.2.1	Généralités	277
J.2.2	Évaluation de l'incertitude due à la reconstruction REC	277
J.2.3	Impact du bruit sur la reconstruction POL	277
J.2.4	Moyennage du DAS SAV	277
J.2.5	Mise à l'échelle du DAS $SARS$	277
J.2.6	Correction du DAS pour les écarts de permittivité et de conductivité SC	277
J.3	Incertitudes du système de mesure qui dépendent du DAE MD	277
J.3.1	Généralités	277
J.3.2	Couplage de la sonde ou du réseau de sondes avec le DAE PC	278
J.3.3	Réponse en modulation MOD	278
J.3.4	Temps d'intégration IT	278
J.3.5	Dérive et bruit du système de mesure DN	278
J.4	Incertitudes liées à la source ou au bruit, ME	279
J.4.1	Généralités	279
J.4.2	Support de dispositif DH	279
J.4.3	Positionnement de dispositif DP	279
J.4.4	Conditions ambiantes RF AC	279
J.4.5	Dérive et bruit du système de mesure DN	279
J.5	Incertitudes des antennes de validation, MV	279
J.5.1	Généralités	279
J.5.2	Écart des antennes expérimentales DEX	279
J.5.3	Incertitude de mesure de puissance PMU	279
J.5.4	Autres contributions à l'incertitude lors de l'utilisation d'antennes de validation OTS	279
	Bibliographie	280
	Figure 1 – Liste de contrôle du plan d'évaluation	152
	Figure 2 – Représentation de la forme et de l'orientation par rapport à une surface de fantôme courbe du volume cubique déformé pour le calcul du psSAR	160
	Figure 3 – Mesurages réalisés en déplaçant un dispositif volumineux sur la zone de mesure efficace du système incluant les zones de chevauchement – dans ce cas: six essais réalisés	162
	Figure 4 – Diagramme des mesurages du DAS des signaux non corrélés à différentes fréquences à l'aide d'un système de mesure capable de faire la distinction entre différentes composantes de fréquence (Méthode 2)	165
	Figure 5 – Représentation du spectre d'amplitude en fonction de la fréquence pour les signaux émis simultanément de plusieurs bandes de fréquences émises par un DAE	166
	Figure 6 – Représentation d'une largeur de bande de signal B_s totalement couverte par la largeur de bande d'analyse B_a du système de mesure en mode d'émission simple	167
	Figure 7 – Représentation d'une largeur de bande de signal B_{Si} (pour $i = 2$ à N) totalement couverte par la largeur de bande d'analyse B_a du système de mesure pour un mode d'émission simultanée à plusieurs fréquences	167

Figure 8 – Représentation de la non-couverture des largeurs de bande de signal B_{Si} (pour $i=2$ à N) par la largeur de bande d'analyse B_a du système de mesure pour un mode d'émission simultanée à plusieurs fréquences	167
Figure 9 – Représentation d'une couverture partielle des largeurs de bande de signal B_{Si} (pour $i = 2$ à N) par la largeur de bande d'analyse B_a du système de mesure pour un mode d'émission simultanée à plusieurs fréquences	168
Figure 10 – Représentation de la réduction de la largeur de bande d'analyse B_a du système de mesure pour couvrir uniquement une largeur de bande de signal B_{Si} (pour $i = 1$ à N) pour un mode d'émission simultanée à plusieurs fréquences	168
Figure 11 – Représentation de l'augmentation ou du déplacement de la largeur de bande d'analyse B_a du système de mesure pour couvrir une ou plusieurs largeurs de bande de signal B_{Si} (pour $i = 1$ à N) pour un mode d'émission simultanée à plusieurs fréquences	168
Figure A.1 – Fantôme à bisection sagittale avec périmètre élargi, utilisé pour les systèmes de mesure par balayage	180
Figure A.2 – Dimensions du fantôme elliptique	181
Figure C.1 – Système de coordonnées du système de mesure planaire 2D	189
Figure C.2 – Configuration générique du système de mesure du DAS	190
Figure C.3 – Représentation schématique du système DAS de mesure planaire 2D et de son système de coordonnées	191
Figure C.4 – Reconstruction de source à partir des champs à l'extérieur d'un fantôme	193
Figure D.1 – Montage de mesure de puissance recommandé pour le <i>contrôle du système</i> et la <i>validation du système</i>	196
Figure D.2 – Montage de l'équipement de mesure de la puissance directe P_f et de la puissance couplée directe P_{fc}	197
Figure D.3 – Montage de l'équipement de mesure de la puissance couplée inverse court-circuitée P_{rcs}	198
Figure D.4 – Montage de l'équipement de mesure de la puissance avec l'antenne de référence connectée	198
Figure D.5 – Numérotation d'accès pour les mesurages de paramètres S du coupleur directionnel	200
Figure D.6 – Masques SAM pour le positionnement des antennes dipôles et des VPIFA sur les fantômes de tête, comprenant les orifices dans lesquels sont insérés l'écarteur d'antenne	208
Figure D.7 – Masques plans pour le positionnement des VPIFA sur les fantômes plans, comprenant un orifice au centre dans lequel est inséré l'écarteur VPIFA	208
Figure D.8 – Dipôle présentant une distance $s = 15$ mm	210
Figure D.9 – 2-PEAK CPIFA présentant la distance fixe $s = 7$ mm	210
Figure D.10 – VPIFA placée avec la distance fixe $s = 2$ mm	211
Figure D.11 – <i>Contrôle du système</i> et emplacements de validation pour le fantôme plan 212	
Figure D.12 – <i>Contrôle du système</i> et emplacements de validation pour le fantôme de tête 213	
Figure D.13 – Définition des angles de rotation pour les dipôles	214
Figure F.1 – Caractéristiques mécaniques du dipôle normalisé	230
Figure F.2 – Antenne de validation VPIFA	232
Figure F.3 – 2-PEAK CPIFA à 2 450 MHz	236
Figure F.4 – Présentation détaillée de la structure de syntonisation et de la structure d'adaptation	236

Figure G.1 – Montage de mesure pour l'étalonnage de guide d'ondes de la sonde dosimétrique et montage similaire (mêmes liquide équivalent aux tissus, écarteur diélectrique, capteurs de puissance et coupleur) pour l'étalonnage de l'antenne	239
Figure G.2 – Montage pour l'étalonnage d'une antenne de référence	240
Figure G.3 – Méthode de transfert de l'étalonnage entre deux antennes de même type utilisant le système matriciel	246
Figure I.1 – Représentation des résultats de mesure de DAS pendant 8 h et moyenne mobile centrée	266
Tableau 1 – Liste de contrôle du plan d'évaluation	153
Tableau 2 – Modèle de bilan d'incertitudes pour l'évaluation de l'incertitude du système de mesure du psSAR de 1 g ou de 10 g à effectuer par le fabricant du système	173
Tableau 3 – Modèle de bilan d'incertitudes pour l'évaluation de l'incertitude de la valeur mesurée du DAS de 1 g ou de 10 g d'un DAE	175
Tableau 4 – Modèle de bilan d'incertitudes pour l'évaluation de l'incertitude de la valeur mesurée du DAS de 1 g ou de 10 g d'une antenne de validation	176
Tableau 5 – Modèle de bilan d'incertitudes pour l'évaluation de l'incertitude de la valeur mesurée du DAS de 1 g ou de 10 g dans le cadre du <i>contrôle du système</i>	177
Tableau A.1 – Propriétés diélectriques du milieu équivalent aux tissus	182
Tableau B.1 – Analyse d'incertitude pour l'étalonnage d'une sonde unique dans un guide d'ondes	184
Tableau B.2 – Analyse d'incertitude pour l'étalonnage par transfert de systèmes matriciels	185
Tableau B.3 – Analyse d'incertitude de l'étalonnage par transfert de systèmes matriciels	187
Tableau D.1 – Exemple d'incertitude de mesure de puissance en %	201
Tableau D.2 – Modulations et modes de multiplexage utilisés par les systèmes radioélectriques	205
Tableau D.3 – DAS maximal moyenné dans l'espace (psSAR) sur des valeurs de 1 g et 10 g pour le fantôme plan rempli d'un milieu équivalent aux tissus pour les antennes spécifiées à l'Annexe F	215
Tableau D.4 – DAS maximal moyenné dans l'espace (psSAR) sur des valeurs de 1 g et 10 g pour une antenne générant deux crêtes sur le fantôme plan rempli d'un milieu équivalent aux tissus pour les antennes spécifiées à l'Annexe F	216
Tableau D.5 – DAS maximal moyenné dans l'espace (psSAR) sur des valeurs de 1 g et 10 g sur le fantôme de tête gauche et de tête droite pour les antennes spécifiées à l'Annexe F	217
Tableau D.6 – DAS maximal moyenné dans l'espace (psSAR) sur des valeurs de 1 g et 10 g pour une antenne générant deux crêtes sur le fantôme de tête gauche et de tête droite pour les antennes spécifiées à l'Annexe F. Les modulations sont telles que spécifiées dans le Tableau D.2	222
Tableau D.7 – Ensemble d'essais aléatoires pour la validation du système sur site à l'aide d'un fantôme plan psSAR de 1 g et 10 g, normalisé par rapport à une puissance directe de 1 W, à l'aide des antennes spécifiées à l'Annexe F	222
Tableau D.8 – Ensemble d'essais pour la <i>validation du système</i> sur site à l'aide des fantômes de tête gauche et droite pour un psSAR de 1 g et 10 g pour les antennes spécifiées à l'Annexe F	223
Tableau F.1 – Valeurs du facteur d'adaptation pour les antennes spécifiées à l'Annexe F et le fantôme plan rempli d'un milieu équivalent aux tissus	228
Tableau F.2 – Dimensions mécaniques des dipôles de référence	229
Tableau F.3 – Dimensions des antennes VPIFA à différentes fréquences	233

Tableau F.4 – Propriétés diélectriques des couches diélectriques des antennes VPIFA	233
Tableau F.5 – Épaisseur des substrats et métallisation planaire	236
Tableau F.6 – Propriétés diélectriques de FR4.....	237
Tableau F.7 – Valeurs pour les dimensions d'antennes aux Figures F.4 et F.5	237
Tableau G.1 – Exemple de bilan d'incertitudes pour l'étalonnage de l'antenne dipôle de référence pour un DAS moyenné de 1 g et de 10 g (750 MHz à 3 GHz)	243
Tableau G.2 – Exemple de bilan d'incertitudes pour l'étalonnage de l'antenne de référence (PIFA) pour un DAS moyenné de 1 g et de 10 g (750 MHz à 3 GHz)	244
Tableau G.3 – Exemple de bilan d'incertitudes pour l'étalonnage de l'antenne (dipôle) de référence pour un DAS moyenné de 1g et de 10g (3 GHz à 6 GHz)	245
Tableau G.4 – Exemple de bilan d'incertitudes pour l'étalonnage d'une antenne à l'aide de la méthode de transfert, en pourcentage	247
Tableau H.1 – Paramètres des fonctions de référence analytiques et valeur de DAS maximal de 10 g de référence associée	253

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62209-3:2019

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

PROCÉDURE DE MESURE POUR L'ÉVALUATION DU DÉBIT D'ABSORPTION SPÉCIFIQUE DE L'EXPOSITION HUMAINE AUX CHAMPS RADIOFRÉQUENCE PRODUITS PAR LES DISPOSITIFS DE COMMUNICATIONS SANS FIL TENUS À LA MAIN OU PORTES PRÈS DU CORPS –

Partie 3: Systèmes basés sur la mesure vectorielle (plage de fréquences comprise entre 600 MHz et 6 GHz)

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Électrotechnique 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. À 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.

L'IEC 62209-3 a été établie par le comité d'études 106 de l'IEC: Méthodes d'évaluation des champs électriques, magnétiques et électromagnétiques en relation avec l'exposition humaine.

Le texte de cette Norme internationale est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
106/494/FDIS	106/497/RVD

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette Norme internationale.

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

Dans cette norme, les caractères d'imprimerie suivants sont utilisés:

- protocoles d'essai spécifiques: *caractères italiques*.

La présente norme contient des fichiers joints transmis sous la forme de quatre fichiers *.IGS correspondant aux surfaces intérieures et extérieures des moitiés gauche et droite extraites du modèle CAO du fantôme du mannequin anthropomorphe spécifique (SAM) (voir A.1.2). Ces fichiers sont disponibles dans le dossier de documents de support à l'adresse www.iec.ch/tc106/supportingdocuments.

La présente norme contient des fichiers joints correspondant à la fonction analytique qui doivent être utilisés pour l'évaluation de l'incertitude de l'algorithme de reconstruction dans le Tableau H.1. Ces fichiers sont disponibles dans le dossier de documents de support à l'adresse www.iec.ch/tc106/supportingdocuments.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication 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.

INTRODUCTION

Le présent document spécifie les exigences relatives aux systèmes basés sur la mesure vectorielle permettant de mesurer le débit d'absorption spécifique (DAS) des dispositifs utilisés à proximité du corps humain ou de la tête.

Compte tenu de l'utilisation des systèmes de mesure du DAS afin de démontrer la conformité aux limites d'exposition nationales et internationales, les procédures d'essai doivent être normalisées. Cette normalisation vise à obtenir des résultats comparables pour le processus d'approbation des équipements.

Les systèmes basés sur la mesure vectorielle et les protocoles associés peuvent être différents des systèmes de mesure et protocoles DAS traditionnels. Ces systèmes utilisent des méthodes de reconstruction plus avancées, permettant d'appliquer des approches de mesure indirectes dans lesquelles le DAS est évalué en trois dimensions à partir d'un nombre limité de points de mesure qui peuvent se situer dans une petite partie du volume à l'étude, voire à l'extérieur de ce volume. Ces nouvelles approches en matière d'évaluation du DAS réduisent considérablement les temps de mesure du DAS.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62209-3:2019

PROCÉDURE DE MESURE POUR L'ÉVALUATION DU DÉBIT D'ABSORPTION SPÉCIFIQUE DE L'EXPOSITION HUMAINE AUX CHAMPS RADIOFRÉQUENCE PRODUITS PAR LES DISPOSITIFS DE COMMUNICATIONS SANS FIL TENUS À LA MAIN OU PORTÉS PRÈS DU CORPS –

Partie 3: Systèmes basés sur la mesure vectorielle (plage de fréquences comprise entre 600 MHz et 6 GHz)

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 62209 spécifie les protocoles et procédures d'essai pour le mesurage reproductible du DAS maximal moyenné dans l'espace (psSAR – *peak spatial-average specific absorption rate*) induit à l'intérieur d'un modèle simplifié de tête ou de corps humain par des dispositifs d'émission de radiofréquence (RF), avec une incertitude de mesure spécifiée. Des exigences sont fournies concernant l'évaluation du psSAR utilisant des systèmes basés sur la mesure vectorielle. Ces systèmes déterminent le psSAR par reconstruction de champ tridimensionnel (3D) à l'intérieur du volume à l'étude conformément aux exigences du présent document relatives au système de mesure, à l'étalonnage, à l'évaluation de l'incertitude et aux méthodes de validation. Les protocoles et procédures s'appliquent pour les évaluations du psSAR couvrant une grande majorité de personnes, y compris les enfants, lors de l'utilisation de dispositifs de communications à proximité de la tête ou du corps.

Le présent document s'applique aux dispositifs de communications sans fil destinés à être utilisés proches de la tête ou du corps humain, à des distances allant jusqu'à 200 mm inclus. Le présent document peut être utilisé pour évaluer la conformité du DAS de différents types de dispositifs de communications sans fil utilisés proches de l'oreille, devant le visage, sur le corps, en combinaison avec d'autres dispositifs ou accessoires de transmission RF ou pas (une attache de ceinture, par exemple) ou intégrés aux vêtements. La plage de fréquences globale applicable est comprise entre 600 MHz et 6 GHz.

Les procédures de *validation du système* indiquées dans le présent document couvrent les fréquences comprises entre 600 MHz et 6 GHz.

Avec un système basé sur la mesure vectorielle, le présent document peut être utilisé pour évaluer la conformité du DAS de différents types de dispositifs de communications sans fil.

Les catégories de dispositifs de communications sans fil incluent, entre autres, les téléphones mobiles, les micros sans fil, les dispositifs de diffusion auxiliaires et les émetteurs radio dans les ordinateurs personnels, les ordinateurs de bureau et les ordinateurs portables, ainsi que les dispositifs à plusieurs bandes, à plusieurs antennes et à boutons-poussoirs.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils 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).

IEC 62209-1:2016, *Procédure de mesure pour l'évaluation du débit d'absorption spécifique de l'exposition humaine aux champs radiofréquences produits par les dispositifs de communications sans fil tenus à la main ou portés près du corps – Partie 1: Dispositifs utilisés à proximité de l'oreille (Plage de fréquences de 300 MHz à 6 GHz)*

IEC 62209-2:2010, *Exposition humaine aux champs radiofréquence produits par les dispositifs de communications sans fils tenus à la main ou portés près du corps – Modèles de corps humain, instrumentation et procédures – Partie 2: Procédure pour la détermination du débit d'absorption spécifique produit par les appareils de communications sans fil utilisés très près du corps humain (gamme de fréquences de 30 MHz à 6 GHz)*

IEC 62479:2010, *Evaluation de la conformité des appareils électriques et électroniques de faible puissance aux restrictions de base concernant l'exposition des personnes aux champs électromagnétiques (10 MHz à 300 GHz)*

IEC TR 62630:2010, *Guidance for evaluating exposure from multiple electromagnetic sources* (disponible en anglais seulement)

ISO/IEC Guide 98-1:2009, *Uncertainty of measurement – Part 1: Introduction to the expression of uncertainty in measurement* (disponible en anglais seulement)

ISO/IEC Guide 98-3, *Incertitude de mesure – Partie 3: Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure (GUM:1995)*

IEC/IEEE 62704-1, *Determining the peak spatial-average specific absorption rate (SAR) in the human body from wireless communications devices, 30 MHz to 6 GHz – Part 1: General requirements for using the finite difference time-domain (FDTD) method for SAR calculations* (disponible en anglais seulement)

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et les définitions de l'IEC 62209-1, de l'IEC 62209-2 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

sonde vectorielle

sonde qui mesure à la fois l'amplitude et la phase d'un champ électrique ou d'un champ magnétique

3.2

sonde scalaire

sonde qui mesure uniquement l'amplitude d'un champ électrique ou d'un champ magnétique

3.3

système basé sur la mesure vectorielle

système composé de plusieurs capteurs qui donnent ensemble des informations relatives à la distribution d'amplitude ou à la distribution d'amplitude et de phase d'un champ électrique ou d'un champ magnétique afin de reconstruire le DAS sur un volume spécifié

Note 1 à l'article: Dans l'ensemble du présent document, le terme «système de mesure» fait généralement référence au système basé sur la mesure vectorielle.

3.4

largeur de bande d'analyse

<d'un analyseur de signal> intervalle maximal de fréquences d'observation d'un système en mesure de procéder à une analyse spectrale

Note 1 à l'article: En règle générale, la largeur de bande d'analyse se caractérise par une planéité (+/- une tolérance) spécifique des réponses du système dans la plage de fréquences spécifiée.

3.5

système matriciel

système de mesure matriciel

système basé sur la mesure vectorielle composé de plusieurs éléments de sondes vectorielles ou de sondes scalaires, placés à des endroits fixes d'une grille régulière ou irrégulière à deux dimensions ou à trois dimensions, afin d'obtenir les données de mesure nécessaires à la reconstruction du champ à l'intérieur et à l'extérieur de la zone balayée et dans la région à l'étude

3.6

système de balayage

système de mesure par balayage

système basé sur la mesure vectorielle composé d'un ou de plusieurs éléments de sondes vectorielles ou de sondes scalaires balayés physiquement sur une grille régulière ou irrégulière à deux dimensions ou à trois dimensions, afin d'obtenir les données de mesure nécessaires à la reconstruction du champ à l'intérieur et à l'extérieur de la zone balayée et dans la région à l'étude, avec un système de positionnement automatique capable de placer la sonde de mesure aux positions indiquées

3.7

volume à l'étude

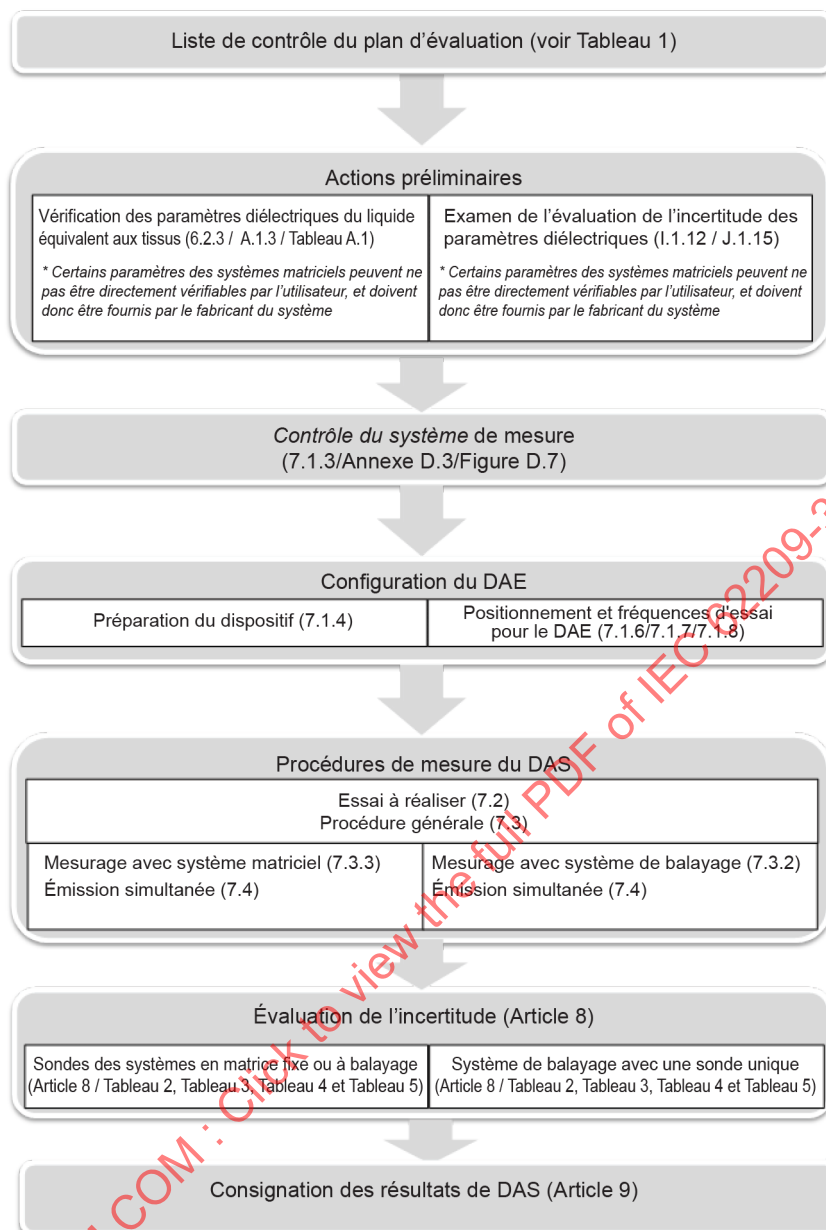
volume décrit par la zone de mesure spécifiée sur la surface du fantôme dont les parois latérales sont perpendiculaires à la surface du fantôme sur une hauteur d'au moins 22 mm, et dont le côté arrière est parallèle à cette même surface

4 Symboles et abréviations

Pour les besoins du présent document, les symboles et abréviations de l'IEC 62209-1 et de l'IEC 62209-2 s'appliquent.

5 Présentation de la procédure de mesure

L'Article 5 a pour objet de donner à l'utilisateur du présent document un rapide aperçu des procédures d'essai définies. L'utilisateur du présent document doit se référer aux articles correspondants pour de plus amples informations lors de l'utilisation de l'organigramme présenté à la Figure 1, et de la liste de contrôle du plan d'évaluation pour le dispositif à l'essai (DAE) dans le Tableau 1.



IEC

Figure 1 – Liste de contrôle du plan d'évaluation

Tableau 1 – Liste de contrôle du plan d'évaluation

Stade	Étapes de l'évaluation	Action
- Liste de contrôle du plan d'évaluation - Planification des configurations de mesure	- Quel type de dispositif est en cours d'évaluation? - Examen de l'antenne ou des antennes contenues et des technologies sans fil prises en charge, individuellement ou en combinaison. - Quelles sont les positions d'essai applicables? - Travail dans les conditions de laboratoire et respect des bonnes pratiques de laboratoire et de la documentation, préparer la méthode d'évaluation nécessaire. - Il convient de vérifier que le système de mesure satisfait aux exigences, y compris la validation, le compte-rendu de l'algorithme de reconstruction et le compte-rendu de l'incertitude de mesure.	Renseigner la liste de contrôle en fonction du plan d'évaluation (Tableau 1, Figure 1).
Actions préliminaires et contrôle du système de mesure	- Un mesurage des propriétés diélectriques du milieu équivalent aux tissus doit être réalisé pour les systèmes à fantômes ouverts, et le résultat doit être enregistré. - Suivre le protocole du système individuel et les exigences relatives aux fantômes étanches. - Un contrôle du système doit être effectué pour vérifier le bon fonctionnement des composants du système (Article D.3).	Effectuer les mesurages diélectriques du milieu équivalent aux tissus, ainsi qu'un contrôle du système avant le début d'un projet, et répéter selon 7.1.3.
- Configuration du DAE - Préparation du DAE	- Le protocole d'évaluation du DAS spécifie toutes les configurations des conditions opérationnelles qu'il convient de soumettre à l'essai. Les principales étapes sont les suivantes: - Préparation du DAE en établissant une connexion à un simulateur de réseau. - Configuration du DAE pour qu'il fonctionne dans les fréquences d'essai appropriées. - Positionnement du DAE par rapport au fantôme.	Vérifier que le DAE est configuré de façon correcte et qu'il rayonne de manière appropriée lorsqu'il est positionné par rapport au fantôme.
- Procédures de mesure du DAS - Procédure DAS générale	- Ce stade est la véritable procédure de mesure du DAS. - La procédure est séquentielle afin d'être sûr de capturer la valeur la plus élevée du DAS maximal moyenné dans l'espace (psSAR) d'un DAE. - Pour ce faire, un processus systématique consulte en conséquence toutes les positions d'essai, toutes les configurations et tous les modes de fonctionnement du dispositif dans toutes les bandes de fréquence (7.2). - Des systèmes de balayage (7.3.2) ou des systèmes matriciels (7.3.3) sont utilisés. Des systèmes ou des techniques de mise en œuvre spécifiques sont souvent utilisés pour réduire ou accélérer le processus de mesure.	Déterminer le DAS le plus élevé et vérifier que les éléments qui justifient la réduction de l'essai sont enregistrés et consignés lorsqu'ils sont utilisés.
Évaluation de l'incertitude de mesure	- Des lignes directrices et des formules d'approximation sont fournies (Article 8), ce qui permet d'estimer chaque composante d'incertitude individuelle. - Le bilan d'incertitudes doit couvrir la plage de fréquences appropriée en fonction du matériel utilisé dans le système DAS. - Pour les systèmes matriciels, voir du Tableau 2 au Tableau 5 (8.3.3).	Évaluer les contributions à l'incertitude et terminer l'analyse d'incertitude.
Consigner les résultats DAS	- Le rapport final décrit les résultats des évaluations, fournit suffisamment d'informations détaillées techniques pour assurer la répétabilité des évaluations réalisées et consigne les résultats en comparaison avec la limite pertinente (Article 9). - Les résultats du rapport d'essai peuvent démontrer la conformité au présent document.	Préparer le rapport final et prendre en considération les exigences de l'Article 9.

6 Spécifications du système de mesure

6.1 Exigences générales

Un système basé sur la mesure vectorielle est composé du fantôme (un fantôme SAM représentant la tête humaine et/ou un fantôme plan représentant le corps humain) contenant le milieu équivalent aux tissus, les instruments de mesure électroniques, une ou plusieurs sondes vectorielles et/ou sondes scalaires, un algorithme de reconstruction du champ (Annexe C) et un support de DAE. Le système basé sur la mesure vectorielle peut être un système de balayage ou un système matriciel, et doit satisfaire aux exigences suivantes:

- a) Les fantômes sont remplis du milieu équivalent aux tissus homogène exigé (6.2.3 et Annexe A, ainsi que IEC 62209-1 et IEC 62209-2). Lorsque des sondes à balayage sont utilisées, le milieu équivalent aux tissus doit être un fluide de faible viscosité pour assurer la liberté de mouvement des sondes dans le fantôme. Pour les systèmes utilisant un réseau de sondes fixe, des considérations spécifiques visant à assurer la stabilité à long terme du milieu équivalent aux tissus s'appliquent (7.1.2).
- b) Le psSAR doit être évalué à partir de la distribution du DAS induite dans le volume à l'étude issu des champs électromagnétiques produits par le DAE.
- c) Le système basé sur la mesure vectorielle doit reconstruire le DAS dans le volume à l'étude à partir des composantes de champ électrique (champ E) ou de champ magnétique (champ H) (amplitude et/ou phase) qui peuvent être obtenues à partir de leur mesurage direct, par des procédures d'extraction de phase ou par d'autres techniques.
- d) Les informations obtenues des champs mesurés doivent servir à reconstruire la distribution du DAS et à déterminer le psSAR avec une incertitude satisfaisant aux exigences du présent document.
- e) Le fabricant du système de mesure doit valider et documenter les algorithmes de reconstruction du champ.
- f) L'étalonnage du système de mesure doit être traçable par rapport à des étalons nationaux et comporter des incertitudes de mesure quantifiées et documentées. De plus, les systèmes doivent satisfaire aux exigences de validation spécifiées à l'Annexe D.

Les essais doivent être réalisés dans un laboratoire conforme aux conditions d'environnement suivantes:

- a) La température ambiante doit être comprise entre 18 °C et 25 °C.
- b) Dans les systèmes de fantôme ouvert dans lesquels le milieu équivalent aux tissus est en contact direct avec l'air, les propriétés diélectriques du milieu équivalent aux tissus doivent être vérifiées régulièrement en suivant les procédures décrites dans l'IEC 62209-1 et l'IEC 62209-2.
- c) Dans des systèmes hermétiquement étanches, le fabricant du système de mesure doit fournir
 - 1) une procédure de mesure exacte des propriétés diélectriques, ou
 - 2) une documentation des propriétés diélectriques, de la température correspondante du milieu et de la température ambiante mesurées pour le fantôme spécifique lorsqu'il a été fabriqué ou pendant le réétalonnage du système.
- d) Dans les systèmes hermétiquement étanches, le fabricant du système de mesure doit documenter et diffuser les informations sur la stabilité des propriétés diélectriques du milieu équivalent aux tissus pendant une durée supérieure ou égale à l'intervalle d'étalonnage du système de mesure du DAS.
- e) Avant de mesurer les propriétés diélectriques du milieu équivalent aux tissus et le DAS, la température du DAE, du matériel d'essai, du milieu équivalent aux tissus et du fantôme doit s'être stabilisée en laboratoire (c'est-à-dire qu'ils ne doivent pas avoir été récemment déplacés d'une autre zone dont la température ambiante est différente, comme un réfrigérateur ou un dépôt).

- f) La température du milieu équivalent aux tissus au moment du mesurage des paramètres diélectriques et lors du mesurage du DAS ne doit pas varier de plus de 2 °C ou de plus de 5 % par rapport à la permittivité relative ϵ_r et à la conductivité σ selon le mesurage de la sensibilité thermique du milieu équivalent aux tissus, selon la plage de températures la plus étroite (la permittivité relative ϵ_r et la conductivité σ doivent rester dans les limites de tolérance des cibles), sauf si la compensation de température active est utilisée par le système de mesure du DAS. Si la compensation de température active est utilisée, le fabricant du système de mesure doit documenter les algorithmes de mesure et de compensation de la température, ainsi que l'incertitude de la compensation de température. Voir I.1.12.5 et J.1.15.5 pour déterminer les contributions à l'incertitude de sensibilité thermique du milieu équivalent aux tissus.
- g) L'effet des réflexions provenant des câbles, du matériel d'essai ou d'autres réflecteurs doit être déterminé dans le cadre d'une procédure de *contrôle du système* DAS en présence et en l'absence de réflecteurs ou, le cas échéant, en disposant judicieusement des matériaux absorbants et/ou en utilisant des perles de ferrite sur les câbles.
- h) Les mesurages de DAS du DAE doivent être réalisés uniquement lorsque les effets des réflexions, des émetteurs RF secondaires, etc., donnent un psSAR (pour une masse de 1 g ou 10 g, selon celle qui est applicable à l'essai) inférieur à 0,012 W/kg en mesurant le psSAR à (environ) 0,4 W/kg (utilisé pour établir la limite de 3 % ci-dessus) à l'aide de la procédure de contrôle du système DAS. Lorsque l'effet des câbles et des réflecteurs est supérieur à 0,012 W/kg, des perles de ferrite, des absorbeurs RF et d'autres techniques d'atténuation doivent être appliqués pour réduire l'erreur de DAS. Si l'exigence précédente ne peut pas être satisfaite, et s'il peut être démontré que la contribution du DAS due aux réflexions déterminées par la procédure de contrôle du système est inférieure à 10 % du DAS mesuré pour le DAE, alors une valeur supérieure à 3 % (0,012 W/kg) doit être prise en considération dans le bilan d'incertitudes (ligne «Conditions RF ambiantes»). Les exigences liées aux réflexions doivent être vérifiées au moins chaque année ou chaque fois que le *contrôle du système* indique des résultats inattendus.
- i) Au cours de l'essai, le DAE ne doit pas être connecté à un réseau sans fil quelconque, autre qu'un simulateur de station de base dans le laboratoire.

La *validation du système* selon le protocole complet spécifié à l'Annexe D doit être effectuée lors de la mise en exploitation d'un nouveau système et à chaque modification logicielle ou matérielle apportée au système (algorithmes de reconstruction du champ, types de composants électroniques ou de sondes mis à jour utilisés dans un système de balayage, par exemple). Les mêmes exigences de validation s'appliquent aux systèmes de balayage et aux systèmes matriciels. Après l'étalonnage de routine du système, la validation du système selon l'Annexe D est exigée. Un ensemble réduit de mesures peut être réalisé si le fabricant du système a démontré que cet ensemble est suffisant pour assurer l'acceptation en fonction des critères de l'essai complet. Par exemple, si la sensibilité des capteurs en fonction de la fréquence est constante en raison de leur conception, le nombre de fréquences peut alors être réduit. Un ensemble de validations réduit doit inclure des mesurages dans chacun des fantômes. Les antennes utilisées pour la *validation du système* doivent être conçues et validées pour satisfaire aux exigences spécifiées dans le présent document (voir l'Annexe F).

NOTE 1 En principe, la *validation du système* est assurée par le fabricant du système, même si elle est spécifiée de manière à pouvoir être également réalisée indépendamment par un tiers sur le site du fabricant ou dans les locaux de l'utilisateur.

NOTE 2 Un ensemble de validations réduit peut être spécifié par le fabricant du système pour les utilisateurs.

Chaque fantôme du système de mesure doit être validé en tant que système complet (c'est-à-dire composé de toutes les parties, y compris les capteurs, le milieu diélectrique, l'enveloppe du fantôme, les composants électroniques et les algorithmes) selon l'Annexe D. L'étalonnage de la sonde ou du réseau de sondes doit être documenté par le fabricant du système.

Si le présent document spécifie de manière explicite les caractéristiques de performances pour le système de mesure ou une partie du système de mesure, le fabricant du système ou de la partie, ou l'intégrateur de système doit documenter la conformité aux dispositions du présent document.

Les incertitudes de mesure et les paramètres associés sont spécifiés en 8.2.

6.2 Spécifications du fantôme

6.2.1 Spécifications du fantôme de tête – enveloppe

Le fantôme SAM doit être utilisé en tant que fantôme de tête. Le justificatif et les propriétés géométriques du fantôme SAM sont indiqués à l'Annexe A. Les procédures DAS de tête du présent document sont applicables aux exigences du fantôme SAM de l'IEC 62209-1. Pour certaines configurations du système, ces dispositions peuvent ne pas être limitées au fantôme SAM horizontal à bissection sagittale. Le conteneur du fantôme peut être ouvert (c'est-à-dire que le milieu équivalent aux tissus est en contact direct avec l'air) ou hermétiquement étanche.

6.2.2 Spécifications du fantôme de corps – enveloppe

Le fantôme plan représentant le corps humain doit satisfaire aux exigences de l'Annexe A. Le conteneur du fantôme peut être ouvert c'est-à-dire que le milieu équivalent aux tissus est en contact direct avec l'air) ou hermétiquement étanche.

6.2.3 Propriétés du milieu équivalent aux tissus

Le fantôme doit être rempli avec le milieu équivalent aux tissus présentant les propriétés diélectriques exigées. Les propriétés diélectriques doivent être évaluées et comparées aux valeurs indiquées dans le Tableau A.1 par interpolation linéaire. Indépendamment du type de système, les propriétés diélectriques mesurées (pas les valeurs du Tableau A.1) doivent être utilisées dans les calculs du DAS. Pour un fantôme ouvert, le matériel et les procédures définis dans l'Annexe J de l'IEC 62209-1:2016 doivent être utilisés.

Pour réduire le plus possible les réflexions provenant de la surface du milieu équivalent aux tissus, qui est distale par rapport à la surface de mesure (fantôme) dans un fantôme ouvert, il convient que la profondeur du milieu soit à au moins 15 cm de la surface interne du fantôme plan ou de la surface interne du fantôme SAM au-dessus du point de référence de l'oreille. Dans ce cas, le bilan d'incertitudes peut ne pas tenir compte de l'incertitude due à ce type de réflexions. Un milieu dont la profondeur est inférieure à 15 cm peut être utilisé s'il est démontré (par des simulations numériques, par exemple) que l'effet sur le psSAR est inférieur à 1 % dans les conditions les plus défavorables. Si cet effet est supérieur à 1 %, l'évaluation détaillée de l'incertitude maximale doit être documentée et ajoutée au bilan d'incertitudes. Les fantômes hermétiquement étanches doivent satisfaire aux exigences de l'Annexe A.

6.3 Exigences relatives au système de mesure

6.3.1 Généralités

Le système basé sur la mesure vectorielle peut être un système de balayage ou un système matriciel. Les exigences relatives aux systèmes de balayage et aux systèmes matriciels sont données en 6.3.2 et en 6.3.3, respectivement.

6.3.2 Spécifications du système de mesure par balayage

Le système de mesure par balayage utilise une sonde scalaire, une sonde vectorielle ou un réseau de sondes sur un robot pour balayer le champ à l'intérieur du fantôme sur une grille régulière ou irrégulière à deux dimensions ou à trois dimensions. Il utilise les points du champ mesuré pour reconstruire le champ selon les exigences de 6.5, afin d'évaluer les valeurs du psSAR. La résolution de la grille peut être choisie en fonction de la connaissance du système

(la fréquence, par exemple) ou des informations obtenues pendant le processus de balayage (recherche de maximum, par exemple).

Le système de mesure par balayage doit satisfaire à ce qui suit:

- a) La sonde, le système de balayage et l'algorithme de reconstruction doivent permettre de déterminer la distribution spatiale du DAS dans les régions exigées du fantôme avec une incertitude connue, le fantôme se trouvant dans le champ proche d'une antenne source placée à l'extérieur du fantôme. Les exigences relatives à l'incertitude de mesure sont données en 8.2.
- b) Le fabricant du système de mesure doit fournir la documentation à l'utilisateur pour spécifier la région de mesure et la plage de fréquences dans lesquelles les exigences du présent document sont satisfaites.
- c) La résolution spatiale de la grille de mesure et l'algorithme de reconstruction doivent permettre de reconstruire les champs à l'intérieur de la région de mesure spécifiée par le fabricant et à la frontière entre le milieu équivalent aux tissus et l'enveloppe du fantôme.
- d) La précision de la position et de l'orientation de la sonde aux points de mesure doit être documentée par le fabricant du système, et l'incertitude associée doit être évaluée selon I.1.9 ou J.1.11.
- e) Toutes les contributions à l'incertitude spécifiées à l'Article 8 doivent être évaluées et documentées.
- f) Le bilan d'incertitudes doit être valide et l'incertitude de mesure maximale doit relever des limites de tolérance spécifiées pour une plage dynamique du système de mesure couvrant des valeurs moyennes du DAS comprises entre 0,1 W/kg et 100 W/kg pour CW (onde entretenue) et entre 0,1 W/kg et 10 W/kg pour toutes les modulations. Cette exigence s'applique au psSAR dans la région de mesure spécifiée.
- g) La sonde doit être étalonnée pour les conditions d'utilisation applicables (c'est-à-dire la permittivité complexe du fantôme, la fréquence, la température, etc.) selon les exigences de l'Annexe B. Il est admis d'étalonner la sonde séparément du système, à condition que les caractéristiques électriques d'interface entre la sonde et les lectures électroniques soient spécifiées et mises en œuvre pendant les mesurages.
- h) La méthode de balayage doit être documentée, y compris s'il s'agit de balayages à deux dimensions ou à trois dimensions à l'intérieur du volume du fantôme, et l'algorithme de détermination de la grille de mesure s'il ne mesure pas une grille fixe.
- i) Toutes les corrections d'effet de bord doivent être documentées. Le document doit comprendre la méthode et la vérification de la validité des corrections appliquées pour toute position de balayage (distance par rapport à la limite et orientation des capteurs par rapport à la surface). Le document doit également comprendre la vérification de la conformité des corrections à l'incertitude de l'effet de bord. L'étendue de la région de mesure doit être indiquée dans le logiciel, y compris la région dans laquelle l'angle de l'axe de la sonde par rapport à la perpendiculaire de la surface du fantôme se situe dans les limites de l'exigence ci-dessus.
- j) La région de balayage doit déterminer les valeurs crêtes primaires et toutes les valeurs crêtes secondaires du DAS couvrant la zone projetée par le DAE sur le fantôme.
- k) La linéarité du DAS local doit être évaluée dans la plage comprise entre 0,12 W/kg et 100 W/kg (valeur efficace pour les signaux CW).

6.3.3 Spécifications du système de mesure matriciel

Les systèmes de mesure matriciels sont composés d'un ensemble fixe de capteurs permettant de mesurer le champ à l'intérieur du fantôme. À l'inverse d'un système de balayage, les capteurs d'un système matriciel sont placés en des endroits fixes. Ce système utilise les points du champ mesuré pour reconstruire le champ afin d'évaluer les valeurs du psSAR.

Le système de mesure matriciel doit satisfaire à ce qui suit:

- Le réseau de sondes doit permettre de mesurer le champ électrique ou le champ magnétique utilisé en entrée pour les algorithmes de reconstruction, lesquels permettent de déterminer la distribution spatiale du DAS avec une incertitude connue dans les régions exigées du fantôme dans le champ proche d'une antenne source à l'extérieur du fantôme. Les exigences relatives à l'incertitude de mesure sont données en 8.2.
- Le fabricant du système de mesure doit marquer l'étendue de la région de mesure sur le fantôme plan et documenter cette région, ainsi que la plage de fréquences dans laquelle les exigences du présent document sont satisfaites. Le marquage des fantômes de tête n'est pas exigé, compte tenu de la spécification de la position et des orientations du DAE dans la procédure d'essai. Les marquages doivent être tels que les exigences relatives à l'enveloppe du fantôme spécifiées dans le présent document soient toujours satisfaites.
- Pour les fantômes de tête, la région d'évaluation du DAS du système après reconstruction du champ doit inclure tous les points à l'intérieur de la projection du contour du dispositif sans fil.
- L'écart des emplacements des sondes dans la matrice par rapport à leurs emplacements spécifiés doit être documenté, et l'incertitude associée doit être évaluée selon J.1.11. Ces positions ne doivent pas varier de plus de $\pm 0,1$ mm en fonction de la température et de la pression.
- La résolution spatiale de la grille de mesure et l'algorithme de reconstruction doivent permettre de reconstruire les champs en tout point situé à la limite entre le milieu équivalent aux tissus et l'enveloppe du fantôme dans la région de mesure spécifiée. Le fabricant doit documenter les types et la résolution spatiale des sondes dans la matrice. En particulier, pour chaque sonde présente dans la matrice, les éléments suivants doivent être spécifiés:
 - 1) son emplacement à l'intérieur du fantôme;
 - 2) si elle est sensible au champ magnétique ou au champ électrique incident;
 - 3) les polarisations du champ incident qu'elle est en mesure de recevoir;
 - 4) si la sonde mesure uniquement l'amplitude du champ ou l'amplitude et la phase.
- Toutes les contributions pertinentes à l'incertitude spécifiées à l'Article 8 doivent être évaluées et documentées.
- Le bilan d'incertitudes doit être valide et l'incertitude de mesure maximale doit relever des limites de tolérance spécifiées pour une plage dynamique du système de mesure couvrant des valeurs moyennes du DAS comprises entre 0,1 W/kg et 100 W/kg pour toutes les modulations. Les cubes DAS de 1 g et de 10 g peuvent se situer en tout point de la zone de mesure spécifiée.
- Le réseau de sondes doit être étalonné à la plage de fréquences de fonctionnement et à la plage de températures spécifiées pour le système dans des configurations d'essai équivalentes aux conditions d'utilisation (c'est-à-dire, permittivité complexe du fantôme, fréquence, température, etc.) selon les exigences de l'Annexe B. Le réseau de sondes doit être étalonné dans l'ensemble du fantôme final, avec la même lecture électronique ou une lecture électronique équivalente d'un point de vue électrique utilisée pour le système et un type de matériel identique (amplificateurs, filtrage, acquisition de données, etc.), aux fréquences de fonctionnement et à la plage de températures, avec l'une des méthodes décrites à l'Annexe B.
- La linéarité du DAS local doit être évaluée dans la plage comprise entre 0,12 W/kg et 100 W/kg (valeur efficace pour les signaux CW).

6.4 Spécification du support de dispositif

Le support de dispositif doit permettre de positionner le DAE selon les spécifications données en 7.1.6. Il doit être constitué d'un ou de plusieurs matériaux à faible perte et faible permittivité: tangente de perte $\tan \delta \leq 0,05$ et permittivité relative $\epsilon_r \leq 5$.

Un support peut ne pas être nécessaire dans certaines positions d'essai pour les systèmes matriciels qui utilisent un fantôme plan étanche orienté vers le haut (les fantômes ouverts sont orientés vers le bas pour le support du milieu équivalent aux tissus). Le DAE peut, par exemple, être disposé sur le fantôme plan, en contact direct avec le fantôme ou en utilisant un écarteur assurant la distance de séparation.

Si des écarteurs sont utilisés entre le DAE et le fantôme pour offrir la position ou la distance de séparation exigée, ils ne doivent pas contenir de métal et être constitués d'un ou de plusieurs matériaux à faible perte et faible permittivité: tangente de perte $\tan \delta \leq 0,005$ et permittivité relative $\epsilon_r \leq 1,1$.

Lorsque le DAS le plus élevé est supérieur à 75 % de la limite de conformité et que le DAE a été mesuré en contact avec le support de dispositif, la condition d'essai du DAS le plus élevé parmi toutes les bandes de fréquence et positions doit être de nouveau soumise à l'essai pour chaque émetteur, sans utiliser le support. Dans ce cas, le DAE doit être positionné à l'aide d'un matériau en mousse à faible perte et d'un adhésif non conducteur (ruban ou bandes élastiques, par exemple). Le psSAR avec et sans condition de support doit être consigné dans le rapport. Si la différence entre ces valeurs est supérieure à l'incertitude élargie ($k = 2$) pour la répétabilité de mesure, toutes les conditions d'essai du DAS se trouvant dans les limites de l'incertitude élargie ($k = 2$) (voir l'Article 8) de la limite de conformité doivent alors être mesurées sans le support.

Le présent document ne tient pas compte de l'effet de la main sur l'exposition du fantôme de tête. Se reporter à l'IEC 62209-1 et l'IEC 62209-2 pour les justifications.

6.5 Spécifications de l'algorithme de reconstruction et de l'intégration spatiale maximale

À l'inverse des systèmes de mesure du DAS spécifiés dans l'IEC 62209-1 et l'IEC 62209-2, un système basé sur la mesure vectorielle ne détermine pas le psSAR directement à partir des résultats de mesures effectuées sur les points d'une grille 3D couvrant le volume d'intégration maximal. Par conséquent, l'algorithme de reconstruction a pour objet de déterminer la distribution des valeurs de DAS dans le volume à l'étude, de manière à pouvoir évaluer le psSAR avec l'incertitude connue à l'aide des champs électriques et/ou des champs magnétiques mesurés par le système basé sur la mesure vectorielle.

Les méthodes de reconstruction sont décrites à l'Annexe C et s'appliquent tant aux systèmes de balayage qu'aux systèmes matriciels.

Les exigences suivantes relatives à la reconstruction et au psSAR doivent être satisfaites:

- L'algorithme de reconstruction doit déterminer la distribution du DAS dans le fantôme à partir du champ électrique mesuré et/ou du champ magnétique mesuré par les capteurs.
- La distribution du DAS doit être déterminée dans le volume à l'étude contenant toutes les valeurs crêtes de DAS (primaires et secondaires).
- Le volume d'intégration doit être en forme de cube, sauf que la face avant du volume doit correspondre à l'enveloppe du fantôme et que la face arrière doit être déformée de manière uniforme (Figure 2). Les quatre parois latérales du cube doivent être parallèles à la droite perpendiculaire au fantôme au centre de la face avant du volume d'intégration.
- Le logiciel du système de mesure doit afficher des messages d'erreur à l'intention de l'utilisateur si le psSAR est à l'extérieur de la région spatiale pour laquelle les exigences d'incertitude de mesure du présent document ne sont pas satisfaites.

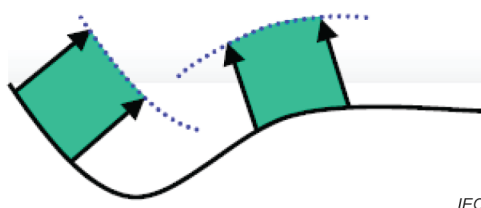


Figure 2 – Représentation de la forme et de l'orientation par rapport à une surface de fantôme courbe du volume cubique déformé pour le calcul du psSAR

7 Protocole pour les évaluations du DAS

7.1 Préparation de mesure

7.1.1 Généralités

Il convient d'effectuer tous les mesurages selon de bonnes pratiques de laboratoire (conformément à l'ISO/IEC 17025, par exemple) ou en satisfaisant aux autres exigences locales et nationales éventuelles en matière de certification du dispositif. Les comparaisons entre laboratoires peuvent être utilisées pour comparer les résultats de plusieurs laboratoires afin d'évaluer les performances des systèmes de mesure du DAS (Annexe E).

7.1.2 Préparation du milieu équivalent aux tissus

Le milieu équivalent aux tissus doit produire des valeurs de permittivité relative ϵ_r et de conductivité σ dans les limites de $\pm 10\%$ des valeurs cibles aux fréquences auxquelles le DAS est mesuré. Les méthodes définies en I.2.6 ou J.2.6 doivent être appliquées pour corriger le DAS mesuré pour les écarts de permittivité et de conductivité.

Pour les systèmes utilisant le fantôme ouvert, les propriétés diélectriques du milieu équivalent aux tissus doivent être mesurées dans les 24 h qui précèdent les mesurages du DAS, puis tous les deux jours d'utilisation continue. Les propriétés diélectriques du milieu équivalent aux tissus peuvent être mesurées moins fréquemment (mais pas moins d'une fois par semaine) si le laboratoire peut documenter la conformité aux propriétés diélectriques du milieu équivalent aux tissus comme cela est spécifié dans l'IEC 62209-1 et l'IEC 62209-2.

Si le milieu équivalent aux tissus est un fantôme hermétiquement étanche, le laboratoire d'essai peut ne pas être en mesure de mesurer directement les propriétés diélectriques du milieu équivalent aux tissus. Dans ce cas, le fabricant du système de mesure doit documenter la conformité aux propriétés diélectriques du milieu équivalent aux tissus comme cela est spécifié dans l'IEC 62209-1 et l'IEC 62209-2, ainsi que la procédure et l'intervalle de mesure, s'il est plus long que la période de validité de l'étalonnage du système.

7.1.3 Contrôle du système

Un *contrôle du système* selon les procédures de l'Annexe D doit être réalisé avant de procéder aux mesurages du DAS pour le DAE. Le *contrôle du système* a pour objet de vérifier que le système fonctionne dans les limites de ses spécifications. Le *contrôle du système* est un essai de répétabilité réalisé avec une antenne étalonnée, afin de vérifier que le système fonctionne correctement pendant l'essai de conformité. Le *contrôle du système* doit être réalisé afin de détecter la dérive possible pendant de courtes durées et les autres incertitudes provenant du système, telles que:

- les modifications inacceptables des paramètres du milieu équivalent aux tissus (du fait de l'évaporation de l'eau ou de variations de température, par exemple);
- les défaillances des composants;
- les dérives des composants;
- les erreurs de l'opérateur dans les paramètres du montage d'essai ou du logiciel;

- les conditions défavorables dans le système (un brouillage radioélectrique, par exemple).

La procédure de *contrôle du système* doit être réalisée sur le même système de mesure du DAS, à l'aide des mêmes sondes DAS, milieu équivalent aux tissus et version logicielle que pour l'évaluation de DAS du DAE. Le mesurage doit inclure chaque bande de fréquences soumise à l'essai selon les procédures de l'Annexe D.

7.1.4 Préparation du dispositif à l'essai (DAE)

Les exigences de préparation du DAE sont telles que spécifiées dans l'IEC 62209-1 et l'IEC 62209-2.

7.1.5 Modes de fonctionnement

Pour les modes de fonctionnement du DAE, les exigences de l'IEC 62209-1 et de l'IEC 62209-2 s'appliquent.

7.1.6 Position du DAE par rapport au fantôme

Pour le positionnement du DAE, les exigences de l'IEC 62209-1 et de l'IEC 62209-2 s'appliquent.

7.1.7 Positions du DAE par rapport au fantôme plan pour les DAE volumineux

Si le DAE est supérieur ou égal à la surface mesurée prise en charge par le fantôme, le balayage doit être divisé en régions plus petites. Le DAE doit être déplacé de manière à pouvoir combiner plusieurs balayages afin de couvrir au moins la projection du DAE sur le fantôme plan. Lorsque le DAE est déplacé sur la zone de mesure, le couplage entre le DAE et le fantôme peut changer et être différent de celui obtenu avec un fantôme plus important. Par conséquent, cette procédure peut ne pas s'appliquer en cas de variation importante de la forme de la distribution du DAS entre les balayages.

Pour limiter les incertitudes de mesure dues aux variations de couplage, les zones balayées du DAE de deux essais consécutifs doivent se chevaucher d'au moins un tiers dans la direction du déplacement comme le présente la Figure 3. La Formule (1) et la Formule (2) donnent le nombre minimal d'essais à réaliser pour un DAE dont les dimensions sont supérieures ou égales à celles de la zone de mesure, lorsque des évaluations successives du DAS avec une troisième section de chevauchement sont combinées:

$$N_{\text{essais}} = N_{\text{sous-longueur}} \times N_{\text{sous-largeur}} \quad (1)$$

$$N_{\text{tests}} = \text{roundup} \left(\left(\left(\left(\frac{L'}{L} \right) \right) \times \left(1 + \frac{1}{3} \right) \right) \times \text{roundup} \left(\left(\left(\frac{w'}{w} \right) \right) \times \left(1 + \frac{1}{3} \right) \right) \right) \quad (2)$$

où

L' est la longueur du DAE;

w' est la largeur du DAE;

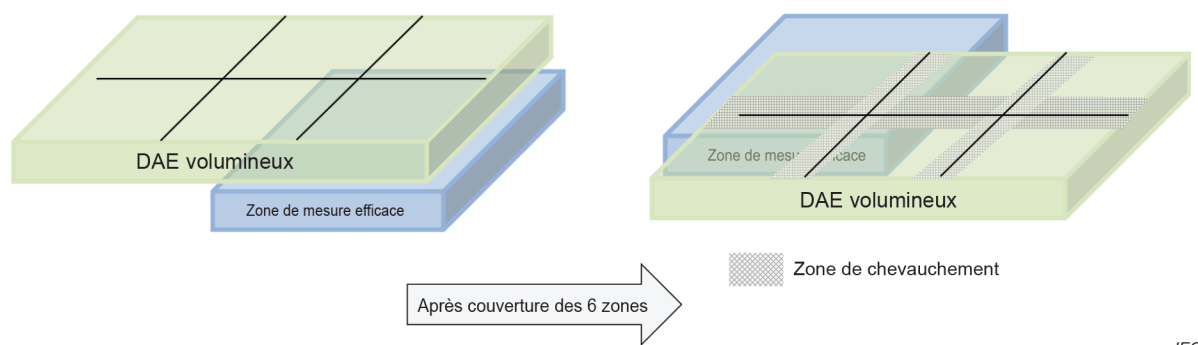
L est la longueur de la zone de mesure spécifiée par le fabricant du système;

w est la largeur de la zone de mesure spécifiée par le fabricant du système;

N_{essais} est le nombre d'essais réalisés sur des subdivisions du DAE pour une évaluation complète du DAS du DAE;

$N_{\text{sous-longueur}}$ est le nombre de subdivisions de longueur de DAE;

$N_{\text{sous-largeur}}$ est le nombre de subdivisions de largeur de DAE.



IEC

Figure 3 – Mesurages réalisés en déplaçant un dispositif volumineux sur la zone de mesure efficace du système incluant les zones de chevauchement – dans ce cas: six essais réalisés

7.1.8 Fréquences d'essai pour le DAE

Les exigences du 6.2.5 de l'IEC 62209-1:2016 et du 6.1.5 de l'IEC 62209-2:2010 doivent s'appliquer.

NOTE Le paragraphe 6.1.5 de l'IEC 62209-2:2010 fait référence à l'IEC 62209-1:2005.

7.2 Essais à réaliser

Afin de déterminer la valeur la plus élevée du psSAR d'un dispositif, l'ensemble des positions, configurations et modes de fonctionnement du dispositif doivent être vérifiés par essai pour chaque bande de fréquences selon les étapes 1 à 4 suivantes.

Étape 1: Les essais doivent être réalisés sur le canal le plus proche du centre de la bande de fréquences d'émission (f_c) pour:

- a) les positions suivantes
 - 1) toutes les positions du dispositif sur le fantôme de corps (si des essais du DAE par rapport au fantôme de corps sont exigés);
 - 2) toutes les positions de la joue et d'inclinaison sur les fantômes de tête droit et gauche (si des essais du DAE par rapport au fantôme de tête sont exigés);
- b) toutes les configurations physiques du DAE pour chaque position du dispositif selon l'étape 1a),

NOTE Le couvercle du dispositif ouvert et fermé ou l'antenne déployée et rétractée constituent des exemples de configurations physiques.

- c) tous les modes de fonctionnement, par exemple, modulations et modes de multiplexage, pour chaque position du dispositif de l'étape 1 a) et la ou les configurations de l'étape 1 b) pour chaque bande de fréquences;
- d) toutes les antennes utilisées.

Étape 2: Pour la condition d'essai donnant la valeur la plus élevée du psSAR déterminée à l'étape 1, réaliser les essais à toutes les autres fréquences d'essai, comme cela est exigé en 7.1.8 (les canaux inférieur et supérieur, par exemple). De plus, pour chaque position, configuration et mode de fonctionnement du dispositif dans lesquels la valeur du psSAR déterminée de l'étape 1 a) à l'étape 1 d) est supérieure ou égale à la moitié de la limite applicable du DAS, il est également exigé de soumettre à l'essai les autres canaux de 7.1.8.

Étape 3: Lorsque le DAS le plus élevé est supérieur à 75 % de la limite de conformité et que le DAE a été mesuré en contact avec le support de dispositif, la condition d'essai du DAS le plus élevé parmi toutes les bandes de fréquence et positions doit être de nouveau soumise à l'essai pour chaque émetteur, sans utiliser le support. Dans ce cas, le DAE doit être

positionné à l'aide d'un matériau en mousse à faible perte et d'un adhésif non conducteur (ruban ou bandes élastiques, par exemple).

Étape 4: Examiner toutes les données pour déterminer la valeur la plus élevée du psSAR obtenu de l'étape 1 à l'étape 3 pour chaque mode de fonctionnement dans chaque bande de fréquences.

7.3 Procédure de mesure générale

7.3.1 Généralités

Le paragraphe 7.3 définit la procédure à réaliser pour chacune des conditions d'essai décrites en 7.2. Pour les systèmes de balayage, la procédure de mesure de 7.3.2 doit être appliquée. Pour les systèmes matriciels, la procédure de mesure de 7.3.3 doit être appliquée.

Les dérives de puissance de sortie des dispositifs disponibles dans le commerce se situent typiquement dans les limites de $\pm 5\%$. Certains dispositifs peuvent présenter des fluctuations significatives de puissance de sortie qui ne sont pas classifiables comme une dérive de puissance non souhaitée, mais qui constituent plutôt une caractéristique du comportement fonctionnel normal du dispositif. Dans ce cas, des méthodes telles que la mise à l'échelle de la puissance doivent être appliquées pour être sûr d'obtenir un DAS précis et prudent.

Compte tenu des différences entre les systèmes matriciels et les systèmes de balayage, les exigences de dérive sont différentes.

7.3.2 Procédure de mesure pour les systèmes de balayage

Si un système de mesure par balayage est utilisé, la procédure et les exigences suivantes doivent être appliquées:

- a) Effectuer un mesurage de référence avec une batterie totalement chargée à un endroit spécifique à l'intérieur du fantôme.
- b) Mesurer le champ électrique ou le champ magnétique à l'intérieur du volume à l'étude.
- c) Affiner le balayage avec la résolution spatiale la plus élevée à l'emplacement à l'étude, si applicable à la méthode.
- d) Appliquer l'algorithme de reconstruction pour reconstruire le champ afin de déterminer les distributions du psSAR.
- e) Appliquer l'algorithme d'intégration comme cela est décrit en 6.5 pour déterminer le psSAR.
- f) Le mesurage de référence de l'étape a) doit être répété à la fin de chaque mesurage. Il convient que la différence relative entre le premier et chaque mesurage de référence suivant se situe dans les limites de 5 %. Sinon, les mesurages doivent être répétés ou toutes les valeurs de DAS doivent être augmentées de la différence absolue en pourcentage entre les premier et dernier mesurages de référence.
- g) Ajouter le pourcentage de limite supérieure admis (c'est-à-dire qu'un contre-essai complet est nécessaire dans le cas contraire).

7.3.3 Procédure de mesure pour les systèmes matriciels

Si un système matriciel est utilisé, la procédure et les exigences suivantes doivent être appliquées:

- a) Mesurer le champ électrique ou le champ magnétique sur la région de mesure.
- b) Appliquer l'algorithme de reconstruction pour reconstruire la distribution du DAS dans le volume à l'étude.
- c) Appliquer l'algorithme d'intégration comme cela est décrit en 6.5 pour déterminer le psSAR.

- d) Si une suite de configurations différentes est évaluée sans recharger la batterie, le premier mesurage doit alors être répété à la fin de chaque mesurage et la différence relative entre les premier et dernier mesurages doit se situer dans les limites de tolérance de répétabilité du système (voir 8.2), mais pas plus de 5 %. Si la différence de valeur de DAS dépasse 5 %, les mesurages doivent alors être répétés avec la batterie totalement chargée ou toutes les valeurs de DAS doivent être augmentées de la différence absolue en pourcentage entre les premier et dernier mesurages.

7.4 Mesurages du DAS pour une émission simultanée

7.4.1 Généralités

Les DAE équipés de plusieurs antennes ou de plusieurs émetteurs (avec une seule ou plusieurs antennes) émettant simultanément exigent des considérations d'essai particulières. Les méthodes de combinaison des champs pour déterminer la distribution de DAS combinée diffèrent selon que les émetteurs RF correspondants émettent des formes d'onde corrélées ou non corrélées dans le temps (IEC TR 62630).

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62209-3:2019

7.4.2 Mesurages du DAS pour les signaux non corrélés

7.4.2.1 Généralités

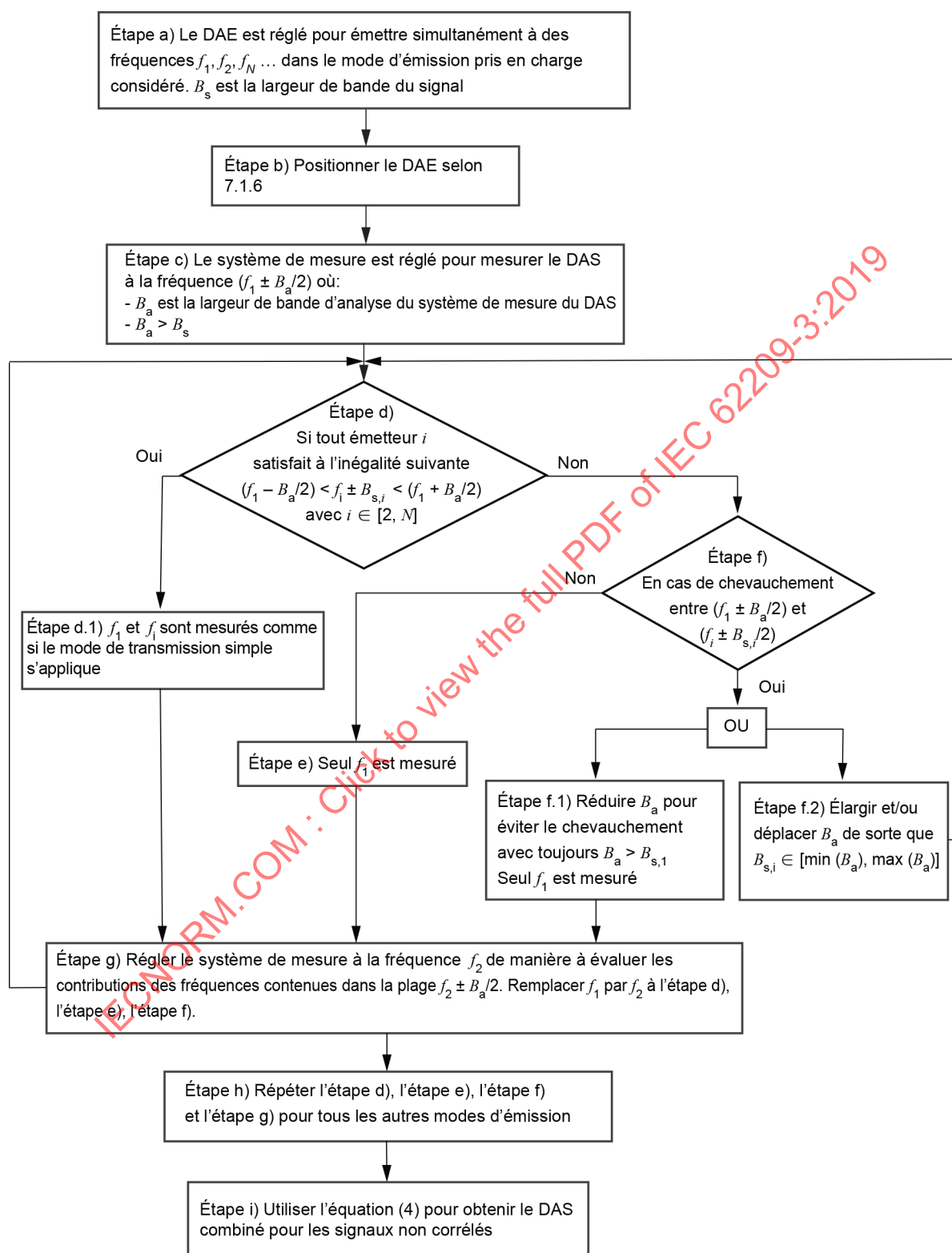


Figure 4 – Diagramme des mesurages du DAS des signaux non corrélés à différentes fréquences à l'aide d'un système de mesure capable de faire la distinction entre différentes composantes de fréquence (Méthode 2)

Le paragraphe 7.4.2 décrit deux méthodes (7.4.2.2 et 7.4.2.3) permettant de mesurer le DAS à partir de signaux non corrélés. La sommation des distributions du DAS est décrite en 7.4.2.4.

7.4.2.2 Méthode 1

Pour mesurer les signaux non corrélés qui émettent séparément, la procédure suivante s'applique:

- Régler le DAE pour qu'il émette dans l'une des N bandes de fréquences aux fréquences f_k pour $f_1, f_2, \dots, f_N$.
- Mesurer la distribution du DAS, $SAR_k(r)$, comme cela est décrit en 7.3.
- Répéter les étapes a) et b) pour les autres bandes de fréquences.
- Réaliser la sommation de N distributions du DAS comme cela est décrit en 7.4.2.4.

7.4.2.3 Méthode 2

Pour les équipements de mesure capables de faire la distinction entre différents signaux et différentes contributions de fréquence, une évaluation du DAS direct pour émission simultanée, y compris les technologies d'agrégation de porteuse (avec canaux d'émission contigus ou non contigus) peut être réalisée à condition que toutes les fréquences d'émission relèvent d'une plage valide de l'étalonnage de sonde et du milieu équivalent aux tissus. La Figure 4 représente les étapes individuelles de la méthode 2.

Dans ce cas, la procédure suivante s'applique:

- Le DAE est réglé pour émettre simultanément aux fréquences $f_1, f_i, f_N, \dots$ dans le mode d'émission pris en charge considéré (Figure 5).

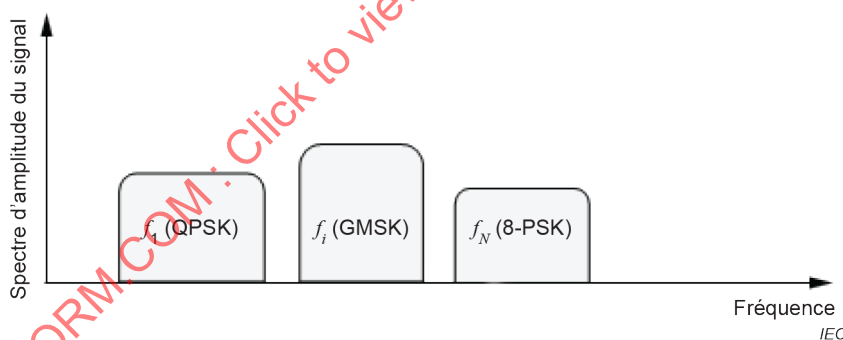


Figure 5 – Représentation du spectre d'amplitude en fonction de la fréquence pour les signaux émis simultanément de plusieurs bandes de fréquences émises par un DAE

- Le DAE est positionné par rapport au fantôme selon 7.1.6 en une seule position, de sorte que la sommation du DAS ou que l'agrégation soit applicable.
- Le système de mesure est réglé pour mesurer le DAS à la fréquence f_1 , de manière à évaluer les contributions de fréquence se trouvant dans la largeur de bande d'analyse B_a de la lecture électronique du système de mesure. B_a doit être supérieur à la largeur de bande du signal B_s comme cela est représenté à la Figure 6.

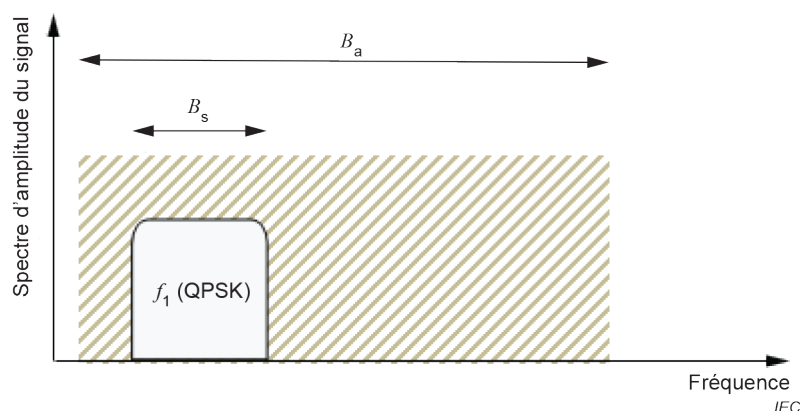


Figure 6 – Représentation d'une largeur de bande de signal B_s totalement couverte par la largeur de bande d'analyse B_a du système de mesure en mode d'émission simple

- d) Si toutes les valeurs B_{si} sont contenues dans la plage B_a , pour tout émetteur i entre 2 et N , comme cela est représenté à la Figure 7, le DAS est alors mesuré directement comme dans le cas du mode d'émission à une seule fréquence. Cela s'applique également au cas dans lequel plus de deux bandes de signaux se situent dans les limites de B_a .

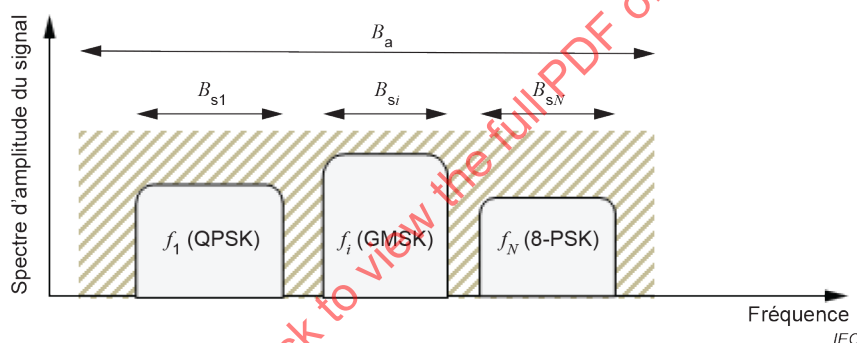


Figure 7 – Représentation d'une largeur de bande de signal B_{si} (pour $i = 2$ à N) totalement couverte par la largeur de bande d'analyse B_a du système de mesure pour un mode d'émission simultanée à plusieurs fréquences

- e) En l'absence de chevauchement complet entre B_{si} , de tout émetteur (indice $i = 1$ à N), et B_a , alors seules les valeurs B_{si} qui sont strictement et intégralement couvertes par B_a doivent être mesurées simultanément et selon l'étape d) (Figure 8).

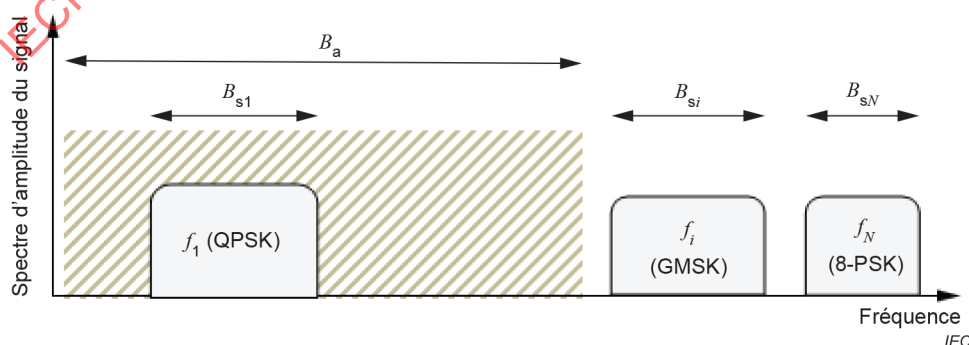


Figure 8 – Représentation de la non-couverture des largeurs de bande de signal B_{si} (pour $i=2$ à N) par la largeur de bande d'analyse B_a du système de mesure pour un mode d'émission simultanée à plusieurs fréquences

- f) En présence d'un chevauchement entre B_a et B_{si} , de tout indice d'émetteur $i = 2$ à N , tel que présenté à la Figure 9, l'une des deux étapes f)1) ou f)2) doit alors être appliquée.

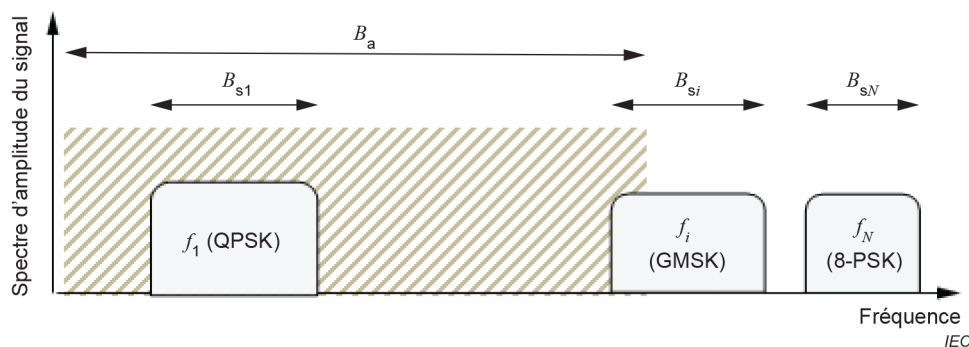


Figure 9 – Représentation d'une couverture partielle des largeurs de bande de signal B_{si} (pour $i = 2$ à N) par la largeur de bande d'analyse B_a du système de mesure pour un mode d'émission simultanée à plusieurs fréquences

- 1) La largeur de bande d'analyse doit être réduite afin qu'elle corresponde à une largeur de bande aussi petite que possible, mais n'étant pas inférieure à B_{s1} et d'éviter un chevauchement. Appliquer ensuite l'étape g) (Figure 10).

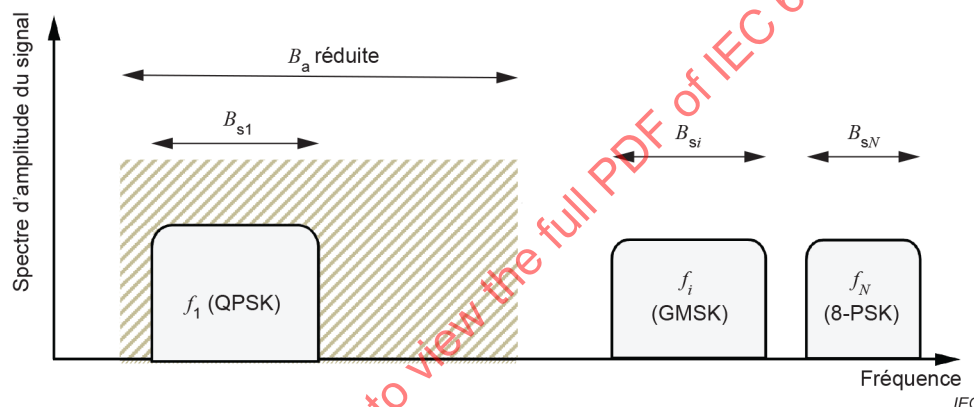


Figure 10 – Représentation de la réduction de la largeur de bande d'analyse B_a du système de mesure pour couvrir uniquement une largeur de bande de signal B_{si} (pour $i = 1$ à N) pour un mode d'émission simultanée à plusieurs fréquences

- 2) La largeur de bande d'analyse B_a doit être élargie, déplacée ou les deux à la fois de sorte que l'intervalle entre la fréquence minimale et la fréquence maximale des deux signaux se situe dans la largeur de bande d'analyse, puis appliquer l'étape d) (Figure 11).

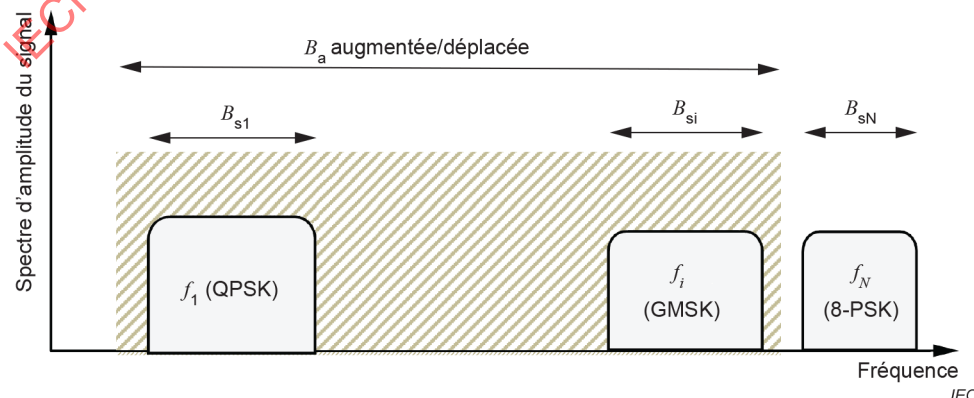


Figure 11 – Représentation de l'augmentation ou du déplacement de la largeur de bande d'analyse B_a du système de mesure pour couvrir une ou plusieurs largeurs de bande de signal B_{si} (pour $i = 1$ à N) pour un mode d'émission simultanée à plusieurs fréquences

NOTE Selon la technologie du système de mesure, la largeur de bande d'analyse peut se situer dans la plage de radiofréquence ou être centrée sur DC à l'aide de techniques de conversion descendante.

- g) Le système de mesure doit être réglé pour mesurer le DAS à la fréquence f_2 , de sorte que les contributions de fréquence se situent dans la largeur de bande d'analyse B_a . Appliquer l'étape d), l'étape e) et l'étape f) pour l'émetteur 2, selon le cas.
- h) Répéter l'étape d), l'étape e), l'étape f) et l'étape g) pour tous les autres modes d'émission.
- i) La sommation des N distributions du DAS doit être réalisée comme cela est décrit en 7.4.2.4.

7.4.2.4 Procédure de sommation des distributions du DAS

Lorsque deux signaux ou plus sont non corrélés (émission à différentes fréquences, modulations ou flux de données, par exemple), le DAS combiné à chaque emplacement, r , dans le fantôme est calculé à partir d'une simple sommation des valeurs de DAS des émetteurs individuels (Formule (3)):

$$DAS_T(r) = \sum_{k=1}^N DAS_k(r) \quad (3)$$

Avant de calculer la moyenne et de rechercher le psSAR, chaque distribution du DAS doit être évaluée séparément. Après la reconstruction du champ et la détermination des distributions du DAS individuel, $DAS_k(r)$, la sommation donnée dans la Formule (3) est réalisée. Le calcul de la moyenne et les procédures de recherche du psSAR sont alors réalisés.

7.4.3 Mesurages du DAS pour les signaux corrélés

Les DAE avec plusieurs antennes émettant simultanément des signaux corrélés représentent une classe particulière de dispositifs (les émetteurs MIMO avec des capacités de formation de faisceau numérique, par exemple) et exigent des considérations d'essai spéciales. Les signaux de ces DAE peuvent être classés en fonction de la modification des phases d'amplitude et relative du signal dans une communication normale. En général, deux types de signaux peuvent être observés dans la plupart des émetteurs à plusieurs antennes de dernière génération. Le premier type, désigné sous le nom de Type 1, représente les signaux avec des phases relatives non modifiées pendant une durée relativement longue par rapport à la durée d'un symbole. Ces types de signaux peuvent être observés dans les systèmes d'antennes en réseau à commande de phase, dans lesquels les phases relatives des signaux envoyés aux antennes sont commandées, pour former la caractéristique de rayonnement du réseau d'antennes dans une direction spécifique. Dans des environnements de fonctionnement différents, les phases relatives peuvent varier pour obtenir différentes caractéristiques de rayonnement souhaitées. Cependant, dès que la direction d'émission est déterminée et que la caractéristique est formée, les phases relatives sont fixées pendant une durée spécifique, et ne varient que lorsque la caractéristique de rayonnement est configurée pour une autre forme. En effet, la durée pendant laquelle les phases relatives sont maintenues non modifiées est relativement longue par rapport à la durée d'un symbole dans une communication normale. D'autre part, le second type de signaux, désigné sous le nom de Type 2, représente les signaux avec des phases relatives qui varient rapidement pendant une durée relativement courte. De tels signaux peuvent être observés dans les systèmes utilisant des techniques MIMO. Les phases relatives des signaux varient de symbole à symbole en raison de la fonction de code de bloc espace-temps (STBC – *space-time block code*) dans les systèmes MIMO. Les phases relatives des signaux varient de symbole à symbole selon le codage STBC, et aucune direction particulière n'est utilisée au cours de communications normales.

Comme décrit dans l'IEC TR 62630, les signaux corrélés peuvent uniquement être transmis à la même fréquence porteuse et le DAS dépend de la ou des phases relatives entre les signaux.

Pour les signaux corrélés de type 1, le psSAR est évalué par l'une des méthodes décrites dans l'IEC TR 62630. Avant de calculer la moyenne et de rechercher le psSAR, chaque distribution du champ doit être évaluée séparément. Après la reconstruction du champ de chaque contribution de signal, la distribution de DAS combinée est déterminée à chaque point par la sommation des amplitudes de champ E, la sommation des composantes de champ E ou la sommation des vecteurs de champ E complexes (IEC TR 62630). Le calcul de la moyenne et la recherche des étapes de la procédure de détermination du psSAR sont alors réalisés. La sommation des amplitudes de champ E ou les composantes de champ E fournissent une surestimation prudente comparée à la sommation des vecteurs de champ E. Si l'amplitude et la phase du champ électrique sont connues, il est possible d'évaluer précisément le psSAR dans les conditions d'émission simultanée en combinant les champs vectoriels de chaque émetteur individuel, émettant séparément à la puissance de sortie moyennée dans le temps la plus élevée avec des mesurages du DAS simples, auquel cas les dispositions du 6.5.1 de l'IEC TR 62630:2010 s'appliquent pour caractériser les champs combinés à partir des signaux corrélés.

Pour les signaux corrélés de type 1, la combinaison de phase fournissant le psSAR le plus élevé doit être déterminée à partir de l'ensemble de combinaisons de phase dont le dispositif est capable. Si la sommation des vecteurs de champ E complexes est utilisée, le traitement ultérieur peut être utilisé pour varier les phases avant la sommation (c'est-à-dire que pour deux signaux, ajouter un déplacement de phase constant aux champs E induits provenant du second signal, puis ajouter les distributions de DAS à partir des premier et second signaux). Sinon, d'autres techniques peuvent être utilisées, comme le mesurage de toutes les combinaisons de phase ou l'estimation à partir de combinaisons de phase plus restreintes.

Pour les signaux corrélés de type 2, le DAS doit être mesuré avec tous les signaux émettant simultanément (par exemple: code de bloc espace-temps (STBC)). Le temps d'intégration de signal du système de mesure doit être déterminé selon I.3.4 et J.3.4 pour assurer la convergence de l'acquisition du spectre de signal modulé.

8 Estimation de l'incertitude de mesure

8.1 Généralités

Les concepts d'estimation de l'incertitude de mesure du DAS des dispositifs sans fil reposent sur les règles générales fournies par le Guide 98-3 de l'ISO/IEC et les lignes directrices fournies à l'Annexe H.

L'Article 8 donne des recommandations sur la manière dont le bilan d'incertitudes doit être évalué pour les systèmes de balayage et les systèmes matriciels. Les composantes d'incertitude indiquées du Tableau 2 au Tableau 5 doivent au moins être déterminées et documentées. Ces tableaux donnent les termes d'incertitude génériques applicables au mesurage du DAS de tête et de corps. Compte tenu du fait que le présent document permet différentes mises en œuvre des systèmes de mesure, des composantes d'incertitude supplémentaires peuvent être exigées et ne sont pas suffisamment couvertes par ces tableaux génériques.

Chaque grandeur d'entrée est décrite avec un exemple de la manière dont l'incertitude type associée est évaluée. Il s'agit d'exemples généraux qui peuvent ne pas être applicables à tous les systèmes de mesure, et des grandeurs supplémentaires peuvent être exigées dans un cas particulier déterminé par le fabricant du système.

L'incertitude de mesure des résultats d'évaluation du DAS de 1 g et 10 g doit être estimée dans le cadre de procédures établies (Guide 98-3 de l'ISO/IEC, par exemple) et documentée suivant le modèle d'incertitude en 8.3. De plus, l'incertitude de mesure liée aux résultats du contrôle du système doit être indiquée selon la même procédure.

8.2 Exigences relatives à l'évaluation de l'incertitude de mesure

L'incertitude de mesure élargie est le résultat d'une évaluation de l'incertitude, dont les informations détaillées spécifiques sont enregistrées dans un bilan d'incertitudes. Des bilans d'incertitudes distincts doivent être évalués pour les résultats de mesure du DAS selon la procédure suivante:

- L'incertitude de mesure élargie de la valeur mesurée du psSAR (1 g ou 10 g) mesuré doit être évaluée selon les recommandations et explications données dans le Guide 98-3 de l'ISO/IEC et les exigences spécifiées dans le présent document suivant le modèle d'incertitude décrit en 8.3.
- La plage pour laquelle l'incertitude de mesure est applicable doit être clairement établie par une analyse documentée valide (région de mesure sur le fantôme, plage de fréquences et plage de puissances, par exemple).
- Pour les critères d'acceptation de *validation du système*, l'estimation de l'incertitude de mesure utilisée doit être la valeur maximale de tout type de DAE à mesurer sur le système, c'est-à-dire qu'elle est exhaustive, quel que soit le type de DAE à mesurer avec le système.
- L'incertitude de mesure consignée dans le rapport d'essai doit fournir une estimation réaliste de l'incertitude pour le résultat de mesure selon un niveau de confiance de 95 %.
- L'incertitude de mesure consignée doit représenter l'incertitude élargie maximale dans les limites de cette plage.
- L'incertitude de mesure élargie des résultats de mesure de *contrôle du système* et de *validation du système* doit également être évaluée. L'incertitude doit être indiquée selon un niveau de confiance de 95 %, et l'incertitude élargie ne doit pas dépasser 30 % de la valeur du psSAR dans la plage comprise entre 0,4 W/kg et 20 W/kg pour un DAS moyenné dans un cube de 1 g et 10 g. En conséquence, pour les valeurs du psSAR inférieures à 0,4 W/kg, l'incertitude élargie ne doit pas dépasser 0,12 W/kg. Si l'incertitude élargie pour l'essai du DAE est supérieure à 30 %, lorsque cette valeur est acceptable par les exigences nationales, les données consignées doivent tenir compte de la différence en pourcentage entre l'incertitude réelle et la valeur cible de 30 % (Guide 98-3 de l'ISO/IEC). La formule de mise à l'échelle du DAS mesuré par l'incertitude excessive doit être celle décrite dans l'IEC 62479.

8.3 Description des modèles d'incertitude de mesure

8.3.1 Généralités

L'incertitude de mesure type composée du DAS de 1 g ou de 10 g est constituée des contributions à l'incertitude issues des influences suivantes, décrites à l'Annexe I pour les systèmes de balayage à une seule sonde, et à l'Annexe J pour les systèmes matriciels fixes ou à balayage.

- a) Les incertitudes du système de mesure à spécifier par le fabricant, *MM* (Article I.1 et Article J.1). L'incertitude type pour l'étalonnage du système basé sur la mesure vectorielle est déterminée par le laboratoire d'étalonnage du système ou par le fabricant dudit système.
- b) Les incertitudes dans la reconstruction, le traitement ultérieur et les corrections, *MN* (Article I.2 et Article J.2).
- c) Les incertitudes du système de mesure qui dépendent du DAE, *MD* (Article I.3 et Article J.3), y compris le couplage de sonde avec le DAE, la réponse en modulation, le temps d'intégration et la dérive du DAS. L'incertitude correspondante peut inclure une analyse d'incertitude de Type A reposant sur un ensemble des sources qui doivent être documentées et démontrées comme étant suffisantes pour assurer une évaluation prudente de la contribution à l'incertitude connexe. L'approche analytique décrite à l'Article H.5 peut également être utilisée.
- d) Les incertitudes liées à l'environnement de mesure, *ME* (Article I.4 et Article J.4). Les incertitudes générées par le traitement de l'utilisateur ou par l'environnement de

laboratoire dans lequel le système de mesure est utilisé. Ces incertitudes incluent celles liées au montage, aux signaux ambiants et aux réflexions.

e) Les incertitudes des antennes de validation, MV (Article I.5 et Article J.5).

Les types de DAE pour lesquels l'estimation de l'incertitude composée est valable doivent être indiqués.

Les incertitudes du système de mesure doivent être évaluées séparément pour les mesurages de la tête et du corps et pour le DAS moyenné de 1 g ou 10 g, comme cela est exigé. Tous les termes d'incertitude sont donnés sous forme de fractions ou de pourcentages. L'incertitude de mesure doit être une estimation réaliste de l'incertitude relative au DAS mesuré du DAE, multipliée par un facteur d'élargissement pour donner un niveau de confiance de 95 %.

Conformément au guide 98-3 de l'ISO/IEC, l'incertitude de mesure est définie comme étant le résultat de la somme quadratique des contributions à l'incertitude. Les composantes d'incertitude suivantes sont spécifiées telles qu'elles sont décrites à l'Annexe I et à l'Annexe J.

Les éléments du Tableau 2 au Tableau 5 répertorient toutes les composantes d'incertitude de mesure. Pour un cas de mesure particulier, les termes d'incertitude pertinents sont additionnés en fonction des modèles d'incertitude (Formules (4) à (12)) correspondant à ce mesurage.

8.3.2 Modèles d'incertitude pour un système de mesure matriciel et des systèmes de mesure par balayage

Pour le résultat d'un mesurage de DAS du DAE, l'incertitude de mesure ΔSAR est calculée selon la Formule (4):

$$\Delta DAS = \sqrt{MS^2 + MD^2 + ME^2} \quad (4)$$

Pour le contrôle du système, l'incertitude de mesure est calculée selon la Formule (5):

$$\Delta DAS = \sqrt{MS^2 + MD^2 + ME^2 + MV^2} \quad (5)$$

Dans les formules ci-dessus, MS est l'incertitude totale du système de mesure qui doit être spécifiée par le fabricant du système, donnée par la Formule (6):

$$MS = \sqrt{MM^2 + MN^2} \quad (6)$$

où MM et MN sont les contributions à l'incertitude du système de mesure, ainsi que des corrections et du traitement ultérieur, respectivement. MM dépend du type de systèmes de mesure. Pour les systèmes de balayage avec une seule sonde (Annexe I), la Formule (7) s'applique:

$$MM = \sqrt{CF^2 + ISO^2 + LIN^2 + SL^2 + BE^2 + RE^2 + RT^2 + PP^2 + SE^2 + PS^2 + MAT^2 + MSI^2} \quad (7)$$

Pour les systèmes matriciels fixes ou à balayage (Annexe J), la Formule (8) s'applique:

$$MM = \sqrt{CF^2 + ISO^2 + MSC^2 + AS^2 + LIN^2 + SL^2 + BE^2 + RE^2 + RT^2 + PP^2 + SE^2 + AB^2 + PS^2 + MAT^2 + HOM^2 + MSI^2} \quad (8)$$

Les autres termes sont donnés par les Formules (9) à (12):

$$MN = \sqrt{REC^2 + POL^2 + SAV^2 + SARS^2 + SC^2} \quad (9)$$

$$MD = \sqrt{PC^2 + MOD^2 + IT^2 + SD^2} \quad (10)$$

$$ME = \sqrt{DH^2 + DP^2 + AC^2 + DN^2} \quad (11)$$

$$MV = \sqrt{DEX^2 + PMU^2 + OVS^2} \quad (12)$$

Les contributeurs à l'incertitude non impliqués dans la répétabilité du mesurage de DAS d'un DAE sont mis à zéro. L'incertitude totale dans ce cas est établie par la Formule (13):

$$\Delta DAS = \sqrt{AS^2 + PP^2 + POL^2 + SC^2 + PC^2 + DN^2 + DP^2 + DH^2 + SD^2 + AC^2 + MSI^2} \quad (13)$$

8.3.3 Exemple de modèles de bilans d'incertitudes

Les éléments du Tableau 2 au Tableau 5 présentent les modèles de bilans d'incertitudes des formules données en 8.3.2.

- Le Tableau 2 présente un exemple de modèle de bilan d'incertitudes du système de mesure qui doit être complété par le fabricant du système de DAS.
- Le Tableau 3 présente un exemple de modèle de bilan d'incertitudes pour un mesurage du DAE.
- Le Tableau 4 présente un exemple de modèle de bilan d'incertitudes pour un mesurage de *validation du système*.
- Le Tableau 5 présente un exemple de modèle de bilan d'incertitudes pour un mesurage de *contrôle du système*.

Tableau 2 – Modèle de bilan d'incertitudes pour l'évaluation de l'incertitude du système de mesure du psSAR de 1 g ou de 10 g à effectuer par le fabricant du système

Symbole /notes	Grandeur x_i (source de l'incertitude)	Référence	Lois de probabilité ^a	Incertain	Diviseur ^a q	$u(x_i)$	c_i	$u_i(y)$	v_i
Incertain du système de mesure à spécifier par le fabricant (MM)									
<i>CF</i>	Étalonnage	I.1.2, J.1.2							n
<i>ISO</i>	Isotropie	I.1.3, J.1.3							n
<i>MSC</i>	Couplage mutuel de capteur	J.1.4							n
<i>AS</i>	Diffraction en raison de la présence de la matrice	J.1.5							n
<i>LIN</i>	Linéarité du système	I.1.4, J.1.6							n
<i>SL</i>	Limite de sensibilité	I.1.5, J.1.7							n
<i>BE</i>	Effet de bord	I.1.6, J.1.8							n
<i>RE</i>	Lecture électronique	I.1.7, J.1.9							n
<i>RT</i>	Temps de réponse	I.1.8, J.1.10							n
<i>PP</i>	Positionnement de la sonde	I.1.9, J.1.11							n

Symbole /notes	Grandeur x_i (source de l'incertitude)	Référence	Lois de probabilité ^a	Incertain	Diviseur ^a q	$u(x_i)$	c_i	$u_i(y)$	v_i
<i>SE</i>	Erreur d'échantillonnage	I.1.10, J.1.12							n
<i>AB</i>	Limites de la matrice	J.1.13							n
<i>PS</i>	Enveloppe du fantôme	I.1.11, J.1.14							n
<i>MAT</i>	Paramètres du milieu équivalent aux tissus	I.1.12, J.1.15							n
<i>HOM</i>	Homogénéité du fantôme	J.1.16							n
<i>MSI</i>	Immunité/réception secondaire du système de mesure	I.1.13, J.1.17							n
Incertain des corrections et du traitement ultérieur à spécifier par le fabricant (<i>MM</i>)									
<i>REC</i>	Incertain liée à la reconstruction	I.2.2, J.2.2							n
<i>POL</i>	Impact du bruit sur la reconstruction	I.2.3, J.2.3							n
<i>SAV</i>	Moyennage du DAS	I.2.4, J.2.4							n
<i>SARS</i>	Mise à l'échelle du DAS	I.2.5, J.2.5							n
<i>SC</i>	Correction du DAS pour les écarts de permittivité et de conductivité	I.2.6, J.2.6							n
Incertain totale à déterminer par le fabricant									
<i>MS</i>	Incertain ($k = 1$) et degrés efficaces de liberté						$U =$		$v_{\text{eff}} =$

^a Les lois de probabilité et les diviseurs sont choisis de manière à représenter au mieux les connaissances disponibles des grandeurs concernées.

n = nombre de mesurages répétés utilisés dans l'évaluation de Type A.

NOTE Certaines composantes d'incertain peuvent être évaluées en combinaison avec d'autres de ces composantes.

Tableau 5 – Modèle de bilan d'incertitudes pour l'évaluation de l'incertitude de la valeur mesurée du DAS de 1 g ou de 10 g dans le cadre du *contrôle du système*

Symbole /notes	Grandeur x_i (source de l'incertitude)	Référence	Lois de probabilité ^a	Incertitude	Diviseur ^a q	$u(x_i)$	c_i	$u_i(y)$	v_i
Incertitudes du système de mesure à spécifier par le fabricant <i>MS</i>									
<i>MS</i>	Incertitudes du système de mesure à spécifier par le fabricant	Tableau 2					1		n
Incertitudes du système de mesure qui dépendent du DAE, <i>MD</i>									
<i>PC</i>	Sonde ou couplage du réseau de sondes avec le DAE	I.3.2, J.3.2					1		n
<i>MOD</i>	Réponse en modulation	I.3.3, J.3.3					0		n
<i>IT</i>	Temps d'intégration	I.3.4, J.3.4					0		n
Incertitudes liées à la source ou au bruit, <i>ME</i>									
<i>DH</i>	Support de dispositif	I.4.2, J.4.2					1		n
<i>DP</i>	Positionnement du dispositif	I.4.3, J.4.3					1		n
<i>AC</i>	Conditions ambiantes RF	I.4.4, J.4.4					1		n
<i>DN</i>	Dérive et bruit	I.4.5, J.4.5					1		n
Incertitudes des antennes de <i>contrôle du système</i> , <i>MV</i>									
<i>MSI</i>	Immunité/réception secondaire du système de mesure	I.1.13, J.1.17					1		n
<i>DEX</i>	Écart des antennes expérimentales	I.5.2, J.5.2					1		n
<i>PMU</i>	Incertitude de mesure de puissance	I.5.3, J.5.3					1		∞
<i>OVS</i>	Autres contributions à l'incertitude en cas d'utilisation d'antennes de <i>contrôle du système</i>	I.5.4, J.5.4					1		n
ΔSAR	Incertitude élargie et degrés efficaces de liberté							$U=$ $v_{\text{eff}}=$	

^a Les lois de probabilité et les diviseurs sont choisis de manière à représenter au mieux les connaissances disponibles des grandeurs concernées.

n = nombre de mesurages répétés utilisés dans l'évaluation de Type A.

NOTE Certaines composantes d'incertitude peuvent être évaluées en combinaison avec d'autres de ces composantes.

9 Rapport de mesure

Les exigences de consignation de l'IEC 62209-1 et de l'IEC 62209-2 s'appliquent, ainsi que les exigences de consignation spécifiées dans les autres articles du présent document.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62209-3:2019

Annexe A (normative)

Spécifications du fantôme

A.1 Spécifications du fantôme SAM

A.1.1 Justification

La justification du fantôme SAM est fournie dans l'IEC 62209-1.

A.1.2 Géométrie du fantôme SAM

La géométrie du fantôme et les exigences relatives à l'enveloppe sont spécifiées dans l'IEC 62209-1.

Les fichiers de modèle CAO sont destinés à être utilisés dans la fabrication de base du montage d'essai normalisé du fantôme SAM par des groupes disposant de l'expertise et des ressources nécessaires. Quatre fichiers *.igs correspondant aux surfaces intérieures et extérieures des moitiés gauche et droite extraits du modèle CAO du fantôme SAM sont disponibles dans le dossier de documents de support à l'adresse <http://www.iec.ch/tc106>:

http://www.iec.ch/dyn/www/f?p=103:227:0:::FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID:1303,25

Les quatre fichiers sont les suivants:

- sam_lft_in_6_11.igs
- sam_lft_out_6_11.igs
- sam_rt_in_6_11.igs
- sam_rt_out_6_11.igs

A.1.3 Milieu équivalent aux tissus

Le fantôme doit être rempli avec un milieu équivalent aux tissus homogène. Les propriétés diélectriques du milieu équivalent aux tissus sont fournies en A.4.

Si le système basé sur la mesure vectorielle est un système de mesure par balayage, le fantôme doit être un conteneur ouvert et le milieu équivalent aux tissus un liquide, de manière à permettre au système de balayage de déplacer la sonde. Le fantôme à bissection sagittale est recommandé pour les dispositifs dont le DAS maximal moyenné dans l'espace (psSAR) est proche de l'oreille (voir la Figure A.1). D'autres orientations de fantôme peuvent être utilisées si le psSAR se situe dans une autre zone de la tête. Différentes orientations du fantôme peuvent également s'avérer nécessaires pour permettre l'accès de la sonde à certaines zones du fantôme SAM pour mesurer le DAS. Pour les systèmes de mesure par balayage, il convient d'utiliser l'orientation du fantôme pour réduire le plus possible les incertitudes de mesure (liées à l'isotropie de la sonde et aux effets de bord, par exemple).

Si le système basé sur la mesure vectorielle est un système matriciel dont les emplacements de capteur sont fixes, le fantôme peut être un conteneur fermé et le milieu équivalent aux tissus un solide ou un liquide. L'orientation du fantôme SAM n'a pas d'importance si un conteneur fermé est utilisé.

Pour réduire le plus possible les réflexions à l'intérieur du fantôme, il convient de choisir la profondeur du milieu homogène de sorte que l'effet des réflexions sur le psSAR soit inférieur à 1 %. Si l'effet des réflexions sur le psSAR est supérieur à 1 %, mais inférieur à 3 %, l'incertitude maximale doit être ajoutée au bilan d'incertitudes.

Pour les fantômes hermétiquement étanches, la présence d'entrefers sous la surface de mesure donne lieu à d'importantes incertitudes de mesure. La conception et le remplissage des fantômes doivent faire l'objet d'une attention toute particulière afin d'éviter la présence d'entrefers.

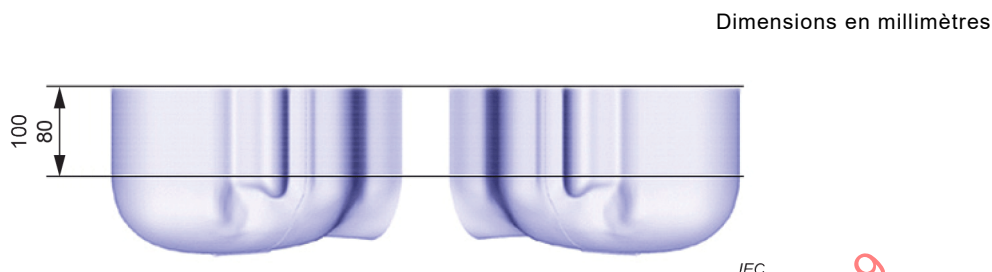


Figure A.1 – Fantôme à bissection sagittale avec périmètre élargi, utilisé pour les systèmes de mesure par balayage

La Figure A.1 représente un fantôme à bissection sagittale avec périmètre élargi, utilisé pour les systèmes de mesure par balayage (représenté sur le côté, tel qu'utilisé pour les essais DAS du dispositif). D'autres orientations du fantôme peuvent être utilisées si le psSAR se situe dans une autre zone de la tête ou pour permettre à la sonde d'accéder à certaines zones du fantôme SAM pour mesurer le DAS. L'orientation du fantôme SAM n'a pas d'importance si un fantôme étanche est utilisé.

A.2 Spécifications du fantôme plan

L'enveloppe du fantôme plan doit être construite sous la forme d'un conteneur dont un côté plat est en contact avec le DAE pendant le mesurage.

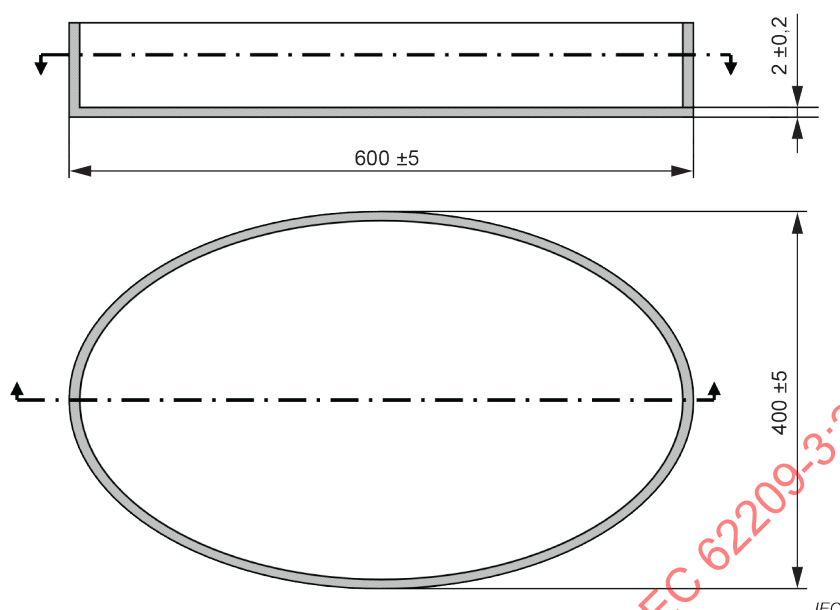
Tous les fantômes plans utilisés doivent être suffisamment volumineux pour permettre de mesurer avec exactitude le DAS à l'aide des antennes de *validation du système* et de *contrôle du système* pour le psSAR de 1 g et de 10 g avec une influence inférieure à 1 % de la forme et des dimensions du fantôme.

Si le système basé sur la mesure vectorielle est un système matriciel dont les emplacements de capteur sont fixes, le fantôme est en général un conteneur fermé et le milieu équivalent aux tissus peut être un solide ou un liquide. L'orientation du fantôme plan n'a pas d'importance si un conteneur fermé est utilisé.

Pour les conteneurs ouverts et pour les conteneurs hermétiquement étanches, la forme et les dimensions du fantôme plan doivent être les suivantes:

- a) Sauf spécification contraire à l'Étape b), la forme du fantôme doit être une ellipse de 600 mm $\pm$ 5 mm de long et de 400 mm $\pm$ 5 mm de large (Figure A.2).
- b) Pour les fréquences supérieures à 600 MHz, les fantômes présentant d'autres formes et de plus petites dimensions sont admis, comme suit:
 - entre 600 MHz et 800 MHz, la forme du côté du fantôme en contact avec le DAE peut englober une ellipse de $0,6 \lambda_0$ de long et $0,4 \lambda_0$ de large, où λ_0 est la longueur d'onde dans l'air.
 - entre 800 MHz et 6 GHz, la forme du côté du fantôme en contact avec le DAE peut englober une ellipse de 225 mm de long et 150 mm de large.

Dimensions en millimètres

**Figure A.2 – Dimensions du fantôme elliptique**

Le fantôme doit être rempli avec le milieu équivalent aux tissus satisfaisant aux exigences du présent document. Pour réduire le plus possible les réflexions à l'intérieur du fantôme, il convient que la profondeur du milieu équivalent aux tissus homogène soit d'au moins 15 cm. Une profondeur moyenne inférieure à 15 cm peut être utilisée s'il est démontré (par des simulations numériques, par exemple) que l'effet des réflexions sur le psSAR est inférieur à 1 %. Si l'effet des réflexions sur le psSAR est supérieur à 1 %, une évaluation détaillée de l'incertitude maximale doit être documentée et ajoutée au bilan d'incertitudes. L'enveloppe du fantôme doit être composée d'un matériau à faible perte et faible permittivité, dont la tangente de perte $\tan \delta$ est $\leq 0,05$ et la permittivité relative ϵ_r de

$$1 \leq \epsilon_r \leq 5 \text{ pour } f \leq 3 \text{ GHz,}$$

$$2 \leq \epsilon_r \leq 5 \text{ pour } f > 3 \text{ GHz [1]}^1.$$

L'épaisseur de la face plane du fantôme plan doit être de 2,0 mm avec une tolérance de $\pm 0,2$ mm.

Les effets sur le DAS dus aux écarts des paramètres de l'enveloppe du fantôme et à l'épaisseur doivent être inclus dans l'estimation de l'incertitude.

Le matériau de l'enveloppe du fantôme doit résister aux dommages ou à la réaction avec les produits chimiques du milieu équivalent aux tissus utilisés dans celui-ci.

A.3 Fantômes spécifiques

D'autres fantômes spécifiques sont applicables. Les mêmes exigences relatives au matériau de l'enveloppe, à la tolérance mécanique et aux milieux équivalents aux tissus s'appliquent selon les exigences de l'IEC 62209-1 pour les systèmes de balayage ou les systèmes matriciels.

¹ Les chiffres entre crochets se réfèrent à la Bibliographie.

A.4 Milieu équivalent aux tissus

Le Tableau A.1 présente les valeurs cibles de la permittivité relative et de la conductivité du milieu équivalent aux tissus. La justification des paramètres est fournie dans l'IEC 62209-1. Pour les propriétés diélectriques du milieu équivalent aux tissus à d'autres fréquences de la plage de fréquences, une méthode d'interpolation linéaire doit être utilisée. Des exemples de formules pour les liquides dont les propriétés sont celles spécifiées dans le Tableau A.1 sont donnés à l'Annexe I de l'IEC 62209-1:2016. Ce mesurage peut être réalisé à l'aide de l'équipement et des procédures décrits à l'Annexe J de l'IEC 62209-1:2016.

Tableau A.1 – Propriétés diélectriques du milieu équivalent aux tissus

Fréquence (MHz)	Permittivité relative, ϵ_r	Conductivité, σ (S/m)
600	42,7	0,88
750	41,9	0,89
835	41,5	0,90
900	41,5	0,97
1 450	40,5	1,20
1 500	40,4	1,23
1 640	40,2	1,31
1 750	40,1	1,37
1 800	40,0	1,40
1 900	40,0	1,40
2 000	40,0	1,40
2 100	39,8	1,49
2 300	39,5	1,67
2 450	39,2	1,80
2 600	39,0	1,96
3 000	38,5	2,40
3 500	37,9	2,91
4 000	37,4	3,43
4 500	36,8	3,94
5 000	36,2	4,45
5 200	36,0	4,66
5 400	35,8	4,86
5 600	35,5	5,07
5 800	35,3	5,27
6 000	35,1	5,48

NOTE Pour des raisons pratiques, les valeurs de permittivité et de conductivité à ces fréquences qui ne font pas partie des données d'origine fournies par Drossos et al. [2] ou l'extension à 5 800 MHz sont fournies (c'est-à-dire les valeurs présentées en italique). Ces valeurs ont fait l'objet d'une interpolation linéaire entre les valeurs du présent tableau immédiatement au-dessus et au-dessous de ces valeurs, à l'exception des valeurs à 6 000 MHz qui ont fait l'objet d'une extrapolation linéaire à 3 000 MHz et 5 800 MHz.

Annexe B (normative)

Étalonnage et caractérisation des sondes dosimétriques

B.1 Généralités

Le *DAS* est proportionnel à $|E|^2$. Dans un fantôme humain, le DAS peut donc être déterminé en mesurant directement l'amplitude du champ électrique dans le volume du fantôme tel que spécifié dans l'IEC 62209-1 et l'IEC 62209-2, ou en mesurant le champ électrique ou magnétique en des points suffisants (à l'aide d'un système de balayage ou d'un réseau fixe de capteurs, par exemple), puis en reconstruisant le DAS en d'autres emplacements du fantôme. Plusieurs méthodes permettent d'atteindre ces objectifs, chacune d'elles présentant des avantages et des inconvénients. Le domaine d'application du présent document couvre les méthodes reposant sur la reconstruction du DAS à partir d'un nombre limité de points de mesure. La fidélité et la traçabilité de l'étalonnage du système de mesure sont essentielles à l'exactitude de la méthode de mesure du DAS.

En règle générale, la sensibilité (amplitude) absolue et la phase relative de chaque capteur doivent être étalonnées. Les distributions de champ utilisées pour l'étalonnage doivent être différentes de celles utilisées pour la validation. Les antennes et sources utilisées pour l'étalonnage doivent avoir des distributions de champ différentes de celles utilisées pour la validation. Le résultat de la validation ne doit pas servir à accorder ou modifier l'étalonnage.

L'étalonnage doit être traçable par rapport au système SI de mesures en utilisant une chaîne ininterrompue d'étalonnages ou de comparaisons. Le matériel d'étalonnage (des capteurs de puissance, des antennes, par exemple) est composé d'étalons primaires et secondaires. L'étalonnage des étalons primaires a été validé par un laboratoire d'étalonnage agréé. L'étalonnage des étalons secondaires n'est pas traçable, mais les étalons primaires permettent de vérifier leurs performances et leur stabilité (par des contrôles internes, par exemple). Seuls les étalons primaires doivent être utilisés lorsque l'exactitude du matériel est significative pour l'exactitude de l'étalonnage (wattmètres, antennes d'étalonnage, par exemple). Un exemple d'étalon secondaire est un amplificateur dont la sortie est surveillée par un wattmètre.

Pour réétalonner le système, le certificat d'étalonnage doit contenir la différence de DAS maximal moyenné dans l'espace (psSAR) avant et après le réétalonnage, de sorte que l'étendue de la dérive du système sur l'intervalle d'étalonnage précédent soit apparente pour l'utilisateur. Pour les systèmes de balayage utilisant une seule sonde, il est suffisant de consigner la différence maximale dans les paramètres d'étalonnage de la sonde. Pour les systèmes comportant plusieurs sondes, les différences maximales dans les résultats de validation doivent être consignées.

B.2 Types d'étalonnage

B.2.1 Étalonnage d'amplitude avec champs analytiques

Dans le présent document, les champs analytiques sont échantillonnés en tant que champs dans des guides d'onde, dont l'amplitude de champ à l'intérieur du milieu équivalent aux tissus est connue à partir de la puissance mesurée. Les techniques et lignes directrices de conception pour l'étalonnage de guide d'ondes sont décrites à l'Annexe B de l'IEC 62209-1:2016. Cette méthode peut être appliquée à des sondes uniques.

Lors d'une analyse d'incertitude de l'étalonnage de sonde dans un guide d'ondes, au moins les paramètres du Tableau B.1 doivent être pris en considération.

Tableau B.1 – Analyse d'incertitude pour l'étalonnage d'une sonde unique dans un guide d'ondes

	<i>a</i>		<i>b</i>	<i>c</i>	$u_i = (a/b) \times (c)$	
Grandeur x_i (source de l'incertitude)	Incertitude $\pm \%$	Loi de probabilité	Diviseur	c_i	Incertitude type $\pm \%$	Degré de liberté ν_i
Puissance incidente ou puissance directe				1		∞
Puissance réfléchie				1		∞
Mesurage de la conductivité du liquide				1		∞
Mesurage de la permittivité du liquide				1		∞
Écart de conductivité du liquide				1		∞
Écart de permittivité du liquide				1		∞
Écart de fréquence				1		∞
Homogénéité du champ				1		∞
Positionnement de la sonde de champ				1		∞
Linéarité de la sonde de champ				1		∞
Modulation				1		∞
Bruit				1		∞
Incertitude type composée		RSS				
NOTE Les en-têtes de colonne <i>a</i> , <i>b</i> , <i>c</i> sont présentés pour référence.						

B.2.2 Étalonnage d'amplitude et de phase par étalonnage par transfert

L'étalonnage par transfert utilise une ou plusieurs antennes (appelées source d'étalonnage par transfert) pour exciter un champ induit (appelé champ de référence) qui n'est pas connu d'un point de vue analytique. Le champ généré par l'antenne d'étalonnage par transfert est déterminé par mesurage pour une puissance d'entrée d'antenne donnée, à l'aide d'une sonde qui a été étalonnée dans un champ analytique. Un étalonnage par transfert est, par exemple, le fait d'utiliser une ou plusieurs antennes d'étalonnage par transfert pour étalonner un réseau de sondes dans un fantôme, le DAS cible ou le champ de référence aux emplacements des sondes dans le réseau à l'intérieur du fantôme ayant été évalué par mesurage à l'aide d'une seule sonde dosimétrique de référence dont l'amplitude a été étalonnée dans un guide d'ondes. L'étalonnage de la phase du champ peut exiger d'utiliser une approche sans phase pour extraire la phase des champs de référence (Annexe C) ou d'une sonde de référence de nature différente qui aurait été étalonnée en phase à l'aide des champs analytiques. Chaque approche choisie peut impliquer des variations de la liste des contributions à l'incertitude qui doivent être prises en compte.

Pour assurer l'exactitude d'un étalonnage par transfert, il est recommandé de réduire le plus possible les écarts entre les conditions utilisées lors de l'étalonnage de la sonde ou du réseau de sondes et les conditions utilisées pour mesurer les champs de référence avec la sonde de référence. Par exemple, la géométrie du fantôme, les propriétés diélectriques, la température et les emplacements des capteurs doivent être aussi similaires que possible.

Pour l'étalonnage des systèmes matriciels, une incertitude globale inférieure peut être obtenue si les capteurs sont étalonnés *in situ* dans la matrice. En effet, l'extraction des capteurs de la matrice pour étalonnage introduit des incertitudes de mesure supplémentaires dues au couplage mutuel des capteurs dans la matrice, de la structure du support mécanique et des incertitudes du bord de matrice.

L'étalonnage par transfert introduit des incertitudes supplémentaires par comparaison avec l'étalonnage dans les champs analytiques. La contribution à l'incertitude qui prédomine est en général la détermination de la valeur cible d'antenne. D'autres contributions à l'incertitude incluent la recherche de capteur (écart par rapport au couplage maximal), le couplage de capteur (par exemple, déformation par diffraction des capteurs adjacents) et la forme du fantôme. Lors d'une analyse d'incertitude d'un étalonnage par transfert d'un système matriciel, au moins les paramètres du Tableau B.2 doivent être pris en considération.

Tableau B.2 – Analyse d'incertitude pour l'étalonnage par transfert de systèmes matriciels

	<i>a</i>		<i>b</i>	<i>c</i>	$u_i = (a/b) \times (c)$	
Grandeur x_i (source de l'incertitude)	Incertainitude ± %	Loi de probabilité	Diviseur	c_i	Incertainitude type ± %	Degré de liberté ν_i
Instruments d'étalonnage						
Exactitude de mesure de la puissance incidente, de la puissance directe ou du coefficient de transmission						∞
Mesurage de la puissance réfléchie ou du coefficient de réflexion						∞
Bruit						
Fantôme						
Mesurage de la conductivité du liquide						∞
Mesurage de la permittivité du liquide						∞
Écart de conductivité du liquide						∞
Écart de permittivité du liquide						∞
Forme et propriétés diélectriques de l'enveloppe du fantôme						
Application des champs de référence						
Valeur cible d'antenne d'étalonnage par transfert ou mesurage du champ de référence						∞
Position d'antenne d'étalonnage par transfert						∞
Capteur						
Couplage mutuel de capteur						∞
Position et orientation du capteur dans une sonde ou un réseau de sondes dans le montage d'étalonnage						
Modulation						∞
Linéarité						

	<i>a</i>		<i>b</i>	<i>c</i>	$u_i = (a/b) \times (c)$	
Grandeur x_i (source de l'incertitude)	Incrtitude $\pm \%$	Loi de probabilité	Diviseur	c_i	Incrtitude type $\pm \%$	Degré de liberté ν_i
Bruit						∞
Incrtitude type composée		RSS				
NOTE 1 Les en-têtes de colonne <i>a</i> , <i>b</i> , <i>c</i> sont présentés pour référence.						
NOTE 2 Certaines lignes peuvent être doublées pour tenir compte de l'impact de l'amplitude et de la phase sur l'incrtitude de mesure.						

B.2.3 Étalonnage d'amplitude et de phase à l'aide d'une référence numérique

Cette procédure s'apparente à celle présentée en B.2.2, sauf qu'elle utilise des valeurs de référence pour l'amplitude et la phase d'une antenne d'étalonnage par transfert qui ont été déterminées par des simulations validées, et non par des mesurages. Le champ est plutôt déterminé au moyen de techniques de modélisation numérique satisfaisant aux exigences de l'IEC/IEEE 62704-1. Ce type d'étalonnage consisterait, par exemple, à utiliser une ou plusieurs antennes pour étalonner un réseau de sondes dans un fantôme, dont le DAS cible ou le champ de référence aux emplacements des sondes dans le réseau à l'intérieur du fantôme a été évalué par des simulations numériques avec un code de méthode de différences finies dans le domaine temporel (FDTD, *finite difference time-domain*). Ce type de méthodes permet d'évaluer l'amplitude et la phase de toutes les composantes des champs électromagnétiques. L'IEC/IEEE 62704-1 fournit des informations détaillées sur l'évaluation de l'incertitude des champs simulés numériquement et des données de DAS dans les fantômes. En particulier, le bilan d'incertitudes doit accorder une attention toute particulière à l'écart entre le montage physique antenne-fantôme et le modèle numérique. Le code FDTD utilisé pour générer les résultats de référence dans le présent document a été vérifié conformément à l'IEC/IEEE 62704-1. L'algorithme FDTD constitue une solution explicite avec une exactitude d'ordre 2 des équations de Maxwell [31, 32].

La vérification de code spécifiée dans l'IEC/IEEE 62704-1 identifie de manière non équivoque l'algorithme du logiciel comme étant une mise en oeuvre numérique des équations de Maxwell selon [31]. De fait, les solutions numériques obtenues avec un code FDTD vérifié conformément à l'IEC/IEEE 62704-1 sont traçables selon la solution numérique particulière de l'équation de Maxwell [32]. Les limites d'erreurs numériques pour les solutions obtenues avec l'équation [31] doivent être quantifiées notamment pour chaque application comme cela est souligné dans l'IEC/IEEE 62704-1.

Les différences entre le modèle numérique et l'antenne physique par rapport aux valeurs de référence pertinentes doivent également être évaluées par la méthode d'étalonnage décrite à l'Annexe G. La valeur d'incertitude appropriée couvrant les différences maximales doit être évaluée.

Pour assurer l'exactitude d'un étalonnage à l'aide de la référence numérique, il est recommandé de réduire le plus possible les écarts entre les conditions utilisées lors de l'étalonnage de la sonde physique ou du réseau de sondes et les conditions utilisées pour les calculs numériques des champs de référence. Par exemple, la géométrie du fantôme, les propriétés diélectriques et les emplacements des capteurs doivent être aussi proches que possible.

Pour l'étalonnage des systèmes matriciels, une incertitude globale inférieure peut être obtenue si les capteurs sont étalonnés *in situ* dans la matrice. En effet, l'extraction des capteurs de la matrice pour étalonnage introduit des incertitudes de mesure supplémentaires dues au couplage mutuel des capteurs dans la matrice, de la structure du support mécanique et des incertitudes du bord de matrice. Par conséquent, il peut être préférable d'étalonner la matrice complète par rapport à une référence numérique, plutôt que d'étalonner des capteurs individuels par rapport à un champ analytique.

L'étalonnage à l'aide d'une référence numérique introduit des incertitudes supplémentaires par comparaison avec l'étalonnage dans les champs analytiques. Les contributions à l'incertitude qui prédominent sont en général la détermination de la valeur cible d'antenne d'étalonnage par transfert ou du champ de référence, et l'écart entre le montage physique antenne-fantôme et son modèle numérique. D'autres contributions à l'incertitude incluent la recherche de capteur, le couplage de capteur et la forme du fantôme. Lors d'une analyse d'incertitude de l'étalonnage d'un système matriciel à l'aide d'une référence numérique, au moins les paramètres du Tableau B.3 doivent être pris en considération.

Tableau B.3 – Analyse d'incertitude de l'étalonnage par transfert de systèmes matriciels

[illegible]

Annexe C (informative)

Techniques de reconstruction de champ

C.1 Généralités

Les systèmes et protocoles de mesure vectoriels utilisent des méthodes de reconstruction de champ permettant d'appliquer des approches de mesure indirectes dans lesquelles le DAS est évalué en trois dimensions à partir d'un nombre limité de points de mesure qui peuvent se trouver dans une petite partie du volume à l'étude, voire à l'extérieur de ce volume.

L'Annexe C donne des informations relatives aux méthodes utilisées pour reconstruire le DAS dans le volume à l'étude à partir de mesurages réalisés sur une surface 2D ou une autre sous-région. Les objectifs et le contexte des techniques de reconstruction de champ sont traités en C.2 et C.3, respectivement. L'Article C.4 donne des exemples de techniques de décomposition.

Les exigences relatives aux techniques de reconstruction de champ sont données en 6.5.

Les approches en matière de reconstruction ne se limitent pas aux principales méthodes évoquées ci-dessus. Pour certaines combinaisons de mesurages et d'approches de reconstruction, le problème de reconstruction est par nature indéterminé et exige des connaissances supplémentaires spécifiques à l'application (limites spatiales de la source, distance entre la source et le fantôme, etc.) et/ou une optimisation sous contraintes pour obtenir des solutions uniques. [3, 4, 5, 6]

C.2 Objectif des techniques de reconstruction de champ

Dans le contexte du présent document, les systèmes basés sur la mesure vectorielle ont pour objet de déterminer le psSAR moyenné dans un volume cubique dont la masse est de 1 g ou 10 g. À cet effet, il est exigé de connaître la distribution du DAS dans les régions exposées du fantôme. En règle générale, ces régions incluent les emplacements du fantôme très proches des antennes du dispositif. Outre les modes de propagation à partir de la surface du fantôme, il peut également exister des modes évanescents qui décroissent beaucoup plus rapidement. Une incertitude de mesure plus élevée peut être le résultat de limitations dans l'algorithme de reconstruction de champ en présence de ces modes évanescents.

Compte tenu du fait qu'un nombre limité de points peut être mesuré, la distribution du DAS 3D dans les régions pertinentes doit être reconstruite à partir de ces mesurages. Les systèmes de balayage peuvent utiliser un robot pour échantillonner le champ électrique et/ou le champ magnétique en un nombre limité de points, puis reconstruire la distribution du DAS du volume.

La reconstruction de champ a pour objet de déterminer de manière fiable la distribution du DAS 3D dans les régions pertinentes à partir d'un nombre limité de mesurages, puis de calculer le psSAR moyenné sur un volume d'intégration cubique dont la masse est de 1 g ou 10 g.

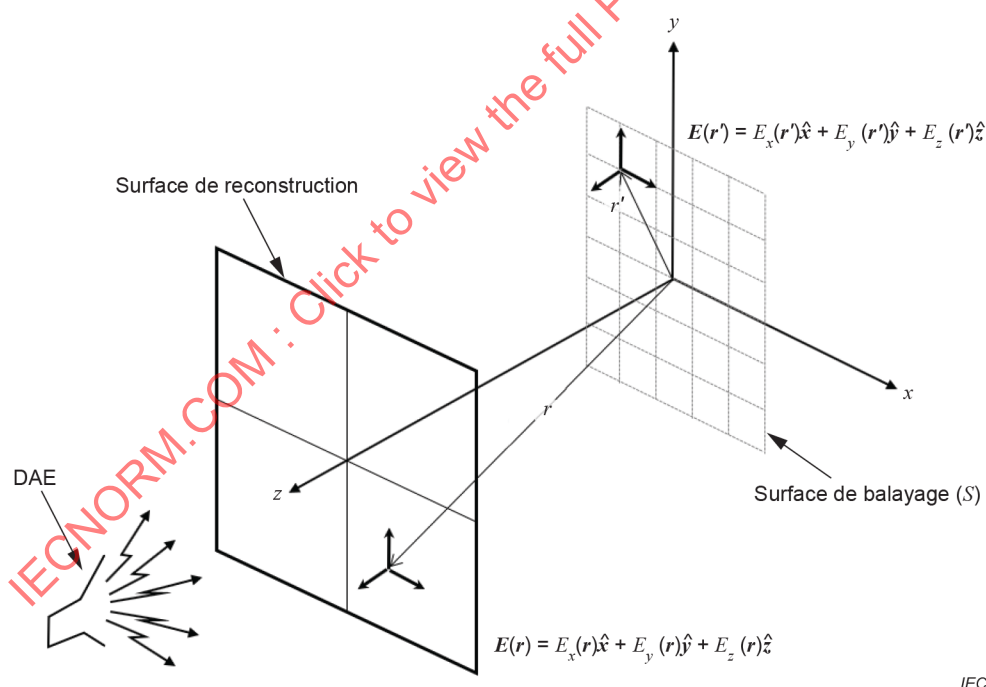
C.3 Contexte

Les techniques de reconstruction de champ adaptées aux systèmes DAS de mesure vectorielle peuvent être déduites de la théorie bien établie des mesurages du champ proche électromagnétique, plus particulièrement les techniques de balayage 2D planaire. Le principe s'appuie sur le mesurage des distributions échantillonnées du champ E sur une grille 2D placée dans une région dépourvue de source comme cela est représenté à la Figure C.1. De manière générale, la reconstruction du champ électrique, en un point d'observation de coordonnées $r = x\hat{x} + y\hat{y} + z\hat{z}$ à partir du champ mesuré sur la surface de balayage S en $r' = x'\hat{x} + y'\hat{y} + z'\hat{z}$ peut être représentée par la transformée intégrale (Formule (C.1)).

$$E(r) = \int_S dr' D(r, r') E(r') \quad (\text{C.1})$$

où

- $E(r)$ est le phaseur du champ électrique vectoriel 3D (volume);
- $E(r')$ est le phaseur du champ électrique vectoriel 2D (surface) sur la surface de balayage S ;
- $D(r, r')$ est le noyau de la transformée.



IEC

Figure C.1 – Système de coordonnées du système de mesure planaire 2D

De nombreuses techniques de décomposition du champ permettent de représenter le champ électromagnétique 3D dans le volume à l'étude à partir des champs 2D échantillonnés. Par exemple, le champ électromagnétique peut être décomposé en fonctions de Green, en ondes planes ou, de manière générale, en fonctions de base orthogonales ou non orthogonales. Il existe différentes formulations exigeant de représenter au moins deux composantes de champ orthogonal sur une surface de balayage 2D. Par exemple (i) champ E tangentiel ou champs H associés, (ii) composante normale et sa dérivée normale ou (iii) un mélange des composantes de champ E et de champ H . Dans la pratique, il n'existe aucune sonde de champ électromagnétique idéale, telle que le dipôle hertzien. Par conséquent, l'étalonnage

des sondes du système DAS de mesure vectorielle est essentiel pour obtenir des incertitudes de mesure raisonnables.

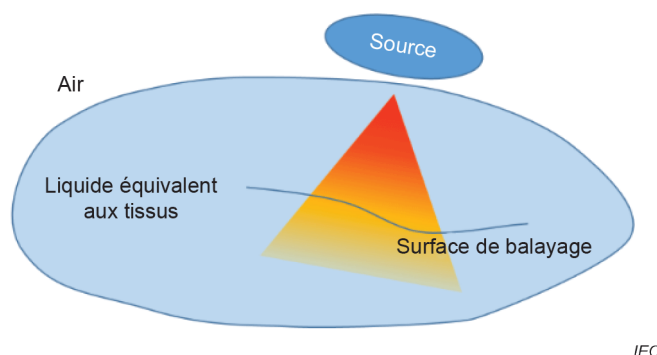


Figure C.2 – Configuration générique du système de mesure du DAS

Certaines hypothèses particulières sont nécessaires pour l'application des techniques de mesure de champ proche 2D à des systèmes DAS à plusieurs sondes, dans lesquelles les sondes sont plongées dans le milieu équivalent aux tissus à l'intérieur du fantôme. Le contraste diélectrique élevé entre l'air (région source) et le milieu équivalent aux tissus (région de mesure) donne lieu à un rayonnement à confinement spatial qui, avec la dissipation rapide dans le milieu équivalent aux tissus, rend négligeables les résonances dans le fantôme et la diffraction des champs à partir des limites du fantôme. Ces hypothèses permettent de considérer le milieu équivalent aux tissus comme un milieu homogène ouvert, dans lequel une reconstruction de champ valide peut être réalisée dans la région intérieure, comme cela est représenté à la Figure C.2.

La reconstruction est possible compte tenu de la contrainte de la distribution du DAS par les équations de Maxwell (qui, dans un milieu homogène dépourvu de source, se réduisent à l'équation de Helmholtz [7]). Il est bien connu que cette contrainte physique permet de reconstruire le champ complet à partir, par exemple, des connaissances exhaustives du champ sur une surface englobante (principe de Huygens de décomposition dans les ondes sphériques [8]) ou des connaissances exhaustives du champ sur un plan infini (décomposition en ondes planes [7]).

Il convient de souligner que les informations de phase précises des composantes de champ électrique ne sont pas nécessaires pour calculer le DAS maximal moyenné dans l'espace (psSAR) à partir des champs électriques. Une connaissance précise de la phase est uniquement exigée lorsque les composantes de champ mesurées sont propagées sur une distance électriquement importante jusqu'à l'emplacement du volume d'intégration.

C.4 Techniques de reconstruction

C.4.1 Techniques de décomposition

Les systèmes de mesure du DAS d'un réseau de sondes effectuent un échantillonnage discret d'une sous-région/surface à l'intérieur du fantôme. Si l'échantillonnage est suffisamment dense et que l'intensité du champ à l'extérieur de la zone d'exposition mesurable est suffisamment faible, la reconstruction peut être réalisée précisément à l'aide de techniques de décomposition jusqu'à une certaine distance de la source. Les méthodes de décomposition les plus souvent appliquées exigent de connaître au moins deux composantes de champ et leurs phases relatives. Les informations de phase peuvent être obtenues directement par des mesurages de phase ou reconstruites à partir des mesurages de champ.

Par exemple, les principales étapes du principe de décomposition du spectre d'ondes planes (PWS – *plane wave spectrum*) reposant sur un système de mesure planaire 2D, représenté à la Figure C.3, peuvent être décrites comme suit: Soit le champ électrique mesuré $E(x', y', 0)$

sur la grille du réseau de sondes Σ_0 , à une fréquence angulaire $\omega = 2\pi f$ à laquelle le milieu équivalent aux tissus présente une permittivité relative ε' et une conductivité électrique σ . Le mesurage donné de toutes les composantes de champ, y compris leurs phases, le champ électrique reconstruit ou rétroprojeté sur un plan $z \geq 0$ (Figure C.3) dans le milieu équivalent aux tissus, à l'aide de la technique de décomposition en ondes planes, est spécifié dans la Formule (C.2).

$$E(x, y, z) = \iint_{\Sigma_0} D(x, y, z; x', y', 0) E(x', y', 0) dx' dy' \quad (C.2)$$

où

$$D(x, y, z; x', y', 0) = \frac{1}{(2\pi)^2} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-jk_x(x-x') - jk_y(y-y') - j\sqrt{k^2 - k_x^2 - k_y^2}z} dk_x dk_y \quad (C.3)$$

k_x, k_y étant les variables spectrales;

k étant la constante de propagation $k = \sqrt{\omega\mu_0(\omega\varepsilon_0\varepsilon_r - j\sigma)}$.

$\mu_0 = 8,854 \times 10^{-12}$ F/m;

$\varepsilon_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ H/m.

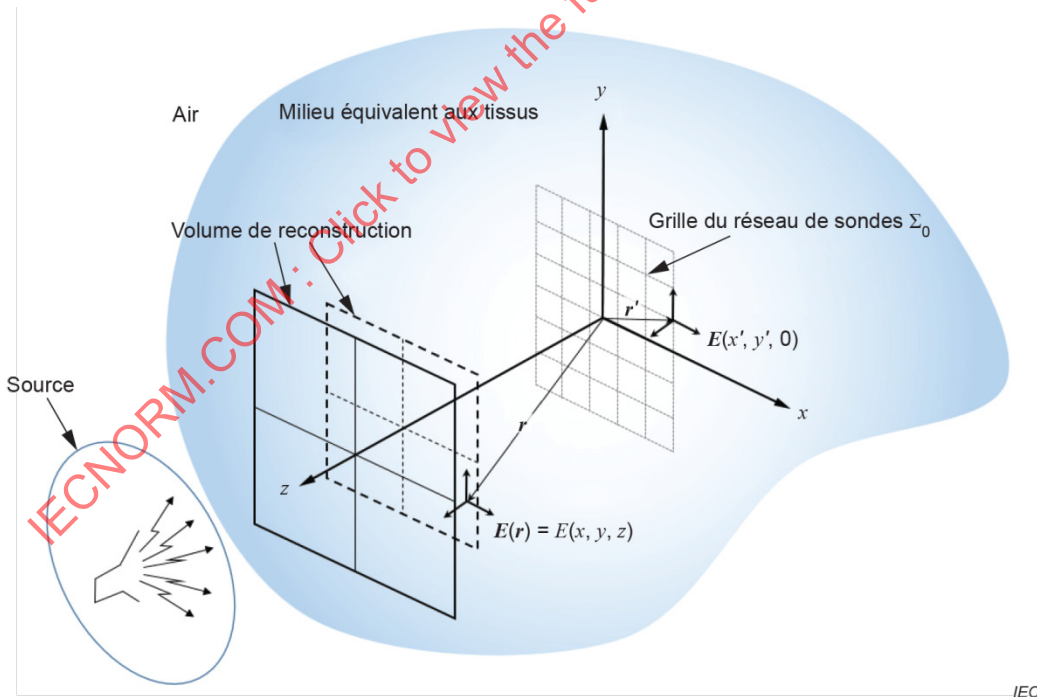


Figure C.3 – Représentation schématique du système DAS de mesure planaire 2D et de son système de coordonnées

Dans la pratique, la zone de balayage Σ_0 est échantillonnée aux emplacements de sonde, et les variables spectrales sont discrétisées. Les opérations intégrales inhérentes à la décomposition de champ dans la Formule (C.2) et la Formule (C.3) deviennent de simples opérations TFD (transformée de Fourier discrète)

C.4.2 Techniques de reconstruction de la source

Les méthodes de reconstruction de la source, qui appartiennent à une autre catégorie bien étudiée d'approches, sont déduites du théorème d'équivalence [9], qui indique qu'il est possible de déterminer des distributions de courants magnétiques et/ou de courants électriques sur une surface qui produisent le même champ dans une région que la source d'origine [10, 11]. Ces distributions de courants équivalents peuvent être construites à l'aide, par exemple, des amplitudes et phases mesurées des composantes de champ électrique, puis utilisées pour obtenir le champ global. Les techniques de reconstruction de sources n'exigent pas nécessairement des informations de phase [12], à condition que le domaine pertinent contenant les champs source et cible soit confiné dans une région suffisamment petite par rapport à la longueur d'onde.

C.4.3 Décomposition en fonctions de base sources

D'un point de vue conceptuel, les techniques de reconstruction de sources et de décomposition sont des approches permettant de procéder à une synthèse constructive de la distribution du DAS à partir des fonctions de base déduites de petites sources génériques (antenne dipôle ou multipôle, par exemple) et de les mettre en correspondance avec une distribution de champ mesurée.

C.4.4 Reconstruction de phase

Si les mesurages ne donnent que des informations d'amplitude, les distributions de phase peuvent être recouvertes par des approches comme l'algorithme de Gerchberg-Saxton [13], qui exige de mesurer le champ sur deux plans, les méthodes de recherche de gradient [14] ou la résolution de l'équation Eikonal [15]. Les systèmes d'équations obtenus sont en général sous-déterminés et non linéaires. Ils exigent également d'appliquer des connaissances supplémentaires spécifiques à l'application.

C.5 Reconstruction de source et estimation du DAS à partir des champs mesurés à l'extérieur du fantôme

La formulation générale des techniques de reconstruction de sources permet de déterminer une distribution des courants électriques et des courants magnétiques équivalents sur une surface fermée entourant la source d'origine. Cette distribution permet de faire rayonner les mêmes champs à l'extérieur de la région de reconstruction [16] à [18]. Dans le cas d'un dispositif source situé à l'extérieur d'un fantôme, la distribution des courants équivalents de la source peut donc être déterminée à partir des champs rayonnés mesurés à l'extérieur du fantôme par une seule sonde ou par un système de mesure à plusieurs sondes à l'aide de techniques de mesure d'antenne normalisées, comme cela est présenté à la Figure C.4 [19]. Ce concept peut être utilisé pour déterminer les champs induits dans un fantôme de tête/corps, et ainsi déterminer la distribution du DAS à partir des champs mesurés à l'extérieur du fantôme [20] [21].

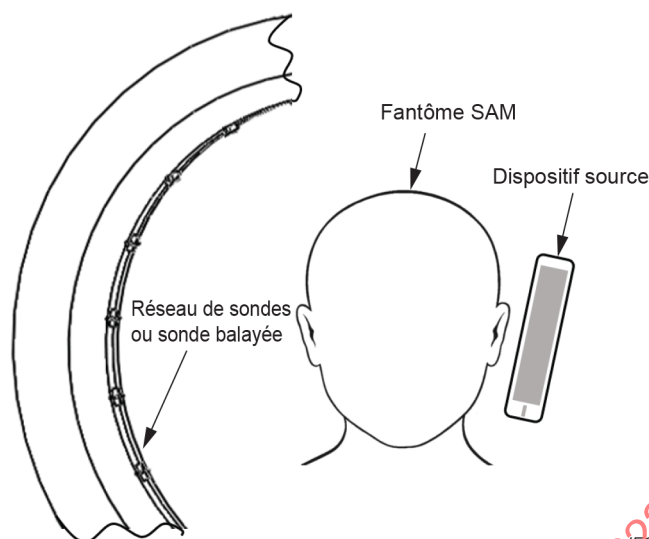


Figure C.4 – Reconstruction de source à partir des champs à l'extérieur d'un fantôme

C.6 Considérations supplémentaires relatives à la reconstruction du champ dans les systèmes de balayage

Les systèmes de balayage, qui mesurent l'amplitude et/ou la phase relative des champs électromagnétiques, sont compatibles avec les techniques de reconstruction décrites à l'Article C.4. De plus, les systèmes de balayage sont réputés permettre un échantillonnage adaptatif et non uniforme des champs électromagnétiques sur des surfaces de balayage qui ne sont pas nécessairement planes. Ce type de stratégie d'échantillonnage peut être exploité afin de compenser les temps de mesure longs, liés au positionnement de la sonde des systèmes de balayage.

Les systèmes de balayage peuvent s'appuyer sur les mêmes techniques que celles décrites ci-dessus (la référence de phase peut être aisément obtenue par un deuxième capteur fixe dans l'espace, par exemple). Toutefois, ils peuvent utiliser des grilles 3D régulières et irrégulières qui s'adaptent aux conditions d'exposition [22, 23, 24, 25].

Ils peuvent également permettre une fréquence d'échantillonnage non redondante et variable du champ électromagnétique à l'aide de schémas d'interpolation d'échantillonnage avancés [26].

Annexe D (normative)

Vérification et validation du système de mesure du DAS

D.1 Objectifs et objet

D.1.1 Généralités

L'Annexe D a pour objet de spécifier les procédures de *contrôle du système* et de *validation du système* qui permettent aux utilisateurs et aux tiers de vérifier les performances du système en appliquant des protocoles cohérents:

- a) *Contrôle du système*: procédure qui utilise des antennes spécifiques pour vérifier que les performances du système de mesure sont répétables et ne se sont pas dégradées depuis le dernier étalonnage. Le *contrôle du système* est réalisé dans le cadre des spécifications définies par le fabricant en matière de plage de fréquences et de position de l'antenne sur le fantôme;
- b) *Validation du système*: procédure qui utilise des antennes spécifiques pour valider le fonctionnement effectif d'un système de mesure dans les limites de l'incertitude de mesure établie. En d'autres termes, elle permet de vérifier que l'exactitude est acceptable pour une utilisation selon le présent document.

NOTE En principe, la validation du système est assurée par le fabricant du système, même si elle est spécifiée de manière à pouvoir être également réalisée indépendamment par un tiers. La validation des mises à jour logicielles peut être assurée pour chaque version matérielle et ne doit pas nécessairement l'être sur chaque système particulier.

D.1.2 Objectifs et objet du *contrôle du système*

Le *contrôle du système* permet de vérifier rapidement et de manière fiable que le système de DAS est opérationnel sans aucune défaillance de composants du système, y compris les défauts de sonde, les dérives ou les écarts par rapport aux exigences de performances cibles. Un *contrôle du système* permet également de vérifier la répétabilité de mesure du système de mesure du DAS par rapport à une ou plusieurs antennes de *contrôle du système* étalonnées avant de réaliser les essais de conformité.

- a) Dans le cas d'un système de balayage, dans lequel le milieu équivalent aux tissus est exposé à l'air (système de balayage robotisé, par exemple), le *contrôle du système* doit être réalisé avant les essais de conformité ou dans les 24 h qui précèdent l'évaluation du DAS, et sur le même système de mesure du DAS que celui utilisé pour l'évaluation du DAS du combiné. Les emplacements d'antenne sont spécifiés en D.3.2,
- b) Pour les systèmes matriciels étanches et maintenus dans les conditions environnementales de laboratoire de 6.1, le contrôle du système doit être réalisé dans les sept jours qui précèdent l'évaluation du DAS compte tenu de la faible dérive. Ce contrôle doit être réalisé sur tous les fantômes utilisés pour les mesurages, en fonction des emplacements de mesure spécifiés en D.3.3 pour vérifier l'absence d'éventuelles défaillances de composants (des capteurs cassés, par exemple), dégradations des performances (variations des propriétés diélectriques, par exemple) ou erreurs de configuration du système (des bulles d'air, par exemple).

Le *contrôle du système* est un mesurage exhaustif du DAS maximal moyenné dans l'espace (psSAR) de 1 g ou 10 g à l'aide d'une antenne de *contrôle du système* (voir D.3.1), selon les exigences du présent document. Le même système de mesure (capteurs, milieu équivalent aux tissus et composants électroniques), ainsi que les mêmes versions logicielles, étalonnages et paramètres de mesure (résolution, paramètres de reconstruction, temps de mesure, par exemple) doivent être utilisés pour le *contrôle du système* que ceux utilisés pour les essais de conformité.

D.1.3 Objectifs de la *validation du système*

La *validation du système* a pour objet de vérifier que le système de mesure du DAS (dans les limites des spécifications et de l'incertitude correspondante, telles que déterminées à l'Article 8) ne donne pas des résultats de mesure erronés pour le mesurage du DAE. À cet effet, un ensemble suffisamment important d'antennes bien caractérisées est soumis à l'essai, dont les valeurs cibles présentent une incertitude minimale englobant la plage de distributions de champ et de types de signaux rencontrés avec les dispositifs de communication mobiles actuellement disponibles.

Le système de mesure du DAS est acceptable si les résultats de mesure de validation satisfont aux critères spécifiés en D.4.

Les exigences générales pour les essais de validation sont les suivantes: Elles doivent couvrir la plage de fréquences, les niveaux de DAS, les modulations de signaux et les emplacements de mesure pris en charge par le système de mesure et conformément aux exigences du présent document, et à l'objectif de mesure du laboratoire d'essai. La méthode de mesure de l'émission simultanée (7.4) doit également être validée. L'ensemble complet de distributions de DAS et les résultats doivent être consignés en fonction des configurations de mesure spécifiées en D.4, et doivent être évalués en utilisant les antennes de référence spécifiées à l'Annexe F et les valeurs cible spécifiées dans le Tableau D.3, le Tableau D.4, le Tableau D.5 et le Tableau D.6. Un ensemble minimal d'antennes à utiliser pour la validation est spécifié à l'Annexe F. Des antennes supplémentaires peuvent être ajoutées à l'Annexe F (en utilisant une norme modifiée, par exemple) comme cela est décrit en F.6.

NOTE La méthode de mesure de l'émission simultanée (7.4) peut être validée en utilisant deux antennes différentes en des emplacements différents.

D.2 Montage et procédure de mesure du DAS pour le *contrôle du système* et la *validation du système*

D.2.1 Généralités

Les antennes décrites à l'Annexe F pour le *contrôle du système* et la *validation du système* ont été développées pour un facteur d'adaptation et des valeurs de référence de psSAR optimaux à une distance fixe du fantôme plan et du fantôme de tête SAM. Ces éléments sont obtenus à partir de simulations numériques, et validés par comparaison entre laboratoires. Le *contrôle* et la *validation du système* ont pour objet de reproduire un ensemble de valeurs du psSAR de référence dans des conditions expérimentales bien définies. Les simulations reproduisent les conditions d'exploitation exactes des antennes dans leurs positions au niveau du fantôme plan et de la tête SAM. Elles reproduisent donc l'amplitude et la distribution du champ dans le fantôme, ainsi que les conditions de charge de l'antenne et leur impact sur le facteur d'adaptation.

Les valeurs de référence du psSAR pour le *contrôle du système* et la *validation du système* utilisant les antennes décrites à l'Annexe F ont été déterminées pour la puissance directe (Tableau D.3, Tableau D.4, Tableau D.5 et Tableau D.6 en D.4.5).

Les antennes de référence pour la *validation du système* (Annexe F) peuvent également être utilisées pour le *contrôle du système*. Le psSAR mesuré pour les conditions d'essai exigées doit être normalisé en fonction de la puissance directe à l'entrée RF de l'antenne de référence selon les procédures décrites en D.2.3, puis comparé aux valeurs de DAS cibles. Le facteur d'adaptation doit se situer dans les limites des intervalles de tolérance spécifiés dans le Tableau D.3, le Tableau D.4, le Tableau D.5 et le Tableau D.6. La satisfaction à cette exigence assure que l'incertitude due à la désadaptation des antennes est de l'ordre de 5 % par comparaison avec les valeurs cibles numériques (voir F.2).

Le paragraphe D.2.2 décrit le montage de mesure de puissance exigé pour le *contrôle du système* et la *validation du système*. L'évaluation de l'incertitude de mesure de puissance RF selon D.2.4 est également décrite.

D.2.2 Montages de mesure de puissance

Les procédures de *contrôle du système* et de *validation du système* exigent une puissance directe et un facteur d'adaptation mesurés avec exactitude et stables à l'entrée RF des antennes de référence.

Un montage d'essai recommandé pour les instruments prêts à l'emploi avec une antenne de référence est représenté à la Figure D.1. Le système comprend un générateur de signaux, un amplificateur, des atténuateurs de 10 dB à 20 dB, un coupleur directionnel, un ou des wattmètres, deux capteurs de puissance, une charge de 50 Ω , un court-circuit de précision, ainsi que des câbles, des connecteurs et des adaptateurs. Un autre montage peut être utilisé, composé d'un seul coupleur directionnel en lieu et place d'un coupleur bidirectionnel pour établir la puissance réfléchie (bwd.) à partir d'un mesurage S_{11} à l'entrée de l'antenne de référence. Lorsqu'un autre équipement est utilisé, le montage de mesure doit être documenté en appliquant des procédures similaires.

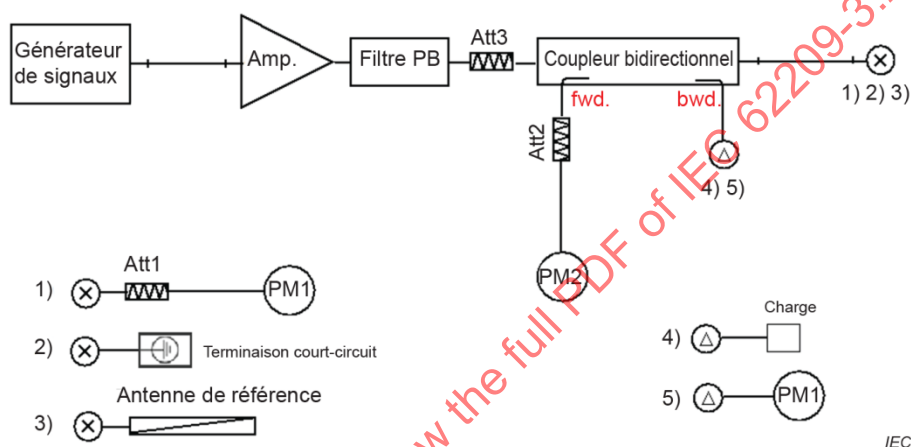


Figure D.1 – Montage de mesure de puissance recommandé pour le contrôle du système et la validation du système

Les exigences concernant les composants utilisés dans le montage représenté à la Figure D.1 sont décrites ci-après.

- a) Le générateur de signaux et l'amplificateur doivent être stables (après le chauffage). La puissance directe de l'antenne de référence doit être suffisante pour éviter l'impact du bruit de mesure.

NOTE 1 Si le générateur de signaux peut délivrer 15 dBm ou plus, un amplificateur n'est pas nécessaire pour les évaluations du DAS de puissance plus faible.

Il convient que certains amplificateurs haute puissance ne fonctionnent pas à un niveau bien inférieur à leur niveau de puissance de sortie maximale (par exemple, un amplificateur de puissance de 100 W fonctionnant à une sortie de 250 mW peut être assez bruyant).

- b) Un filtre passe-bas peut être placé après l'amplificateur pour réduire les effets des harmoniques et du bruit provenant de l'amplificateur.

NOTE 2 Pour la plupart des amplificateurs, ce filtre est en général inutile si la puissance reste stable en fonctionnement normal pendant le mesurage.

- c) Il convient de placer un atténuateur après l'amplificateur et avant le coupleur directionnel, afin d'améliorer l'adaptation de source et l'exactitude de mesure globale (voir le manuel de fonctionnement du wattmètre concerné).

NOTE 3 Cela permet également à l'amplificateur de fonctionner à sa condition optimale pour améliorer la stabilité du système.

NOTE 4 L'atténuateur Att3 n'est pas nécessaire lorsque le facteur d'adaptation du filtre passe-bas est supérieur à 20 dB au niveau des accès d'entrée et de sortie.

- d) Un coupleur directionnel dont le coefficient de couplage ≥ 20 dB est recommandé pour surveiller la puissance directe et ajuster la sortie du générateur de signaux pour maintenir la puissance directe constante. Le facteur d'adaptation du coupleur doit être ≥ 20 dB aux accès d'entrée et de sortie. Un coupleur de haute qualité en matière de directivité et d'adaptation de sortie est nécessaire pour éviter d'autres erreurs.
- e) Il convient que le wattmètre PM2 présente une faible dérive et une résolution $\leq 0,01$ dBm, son exactitude n'ayant toutefois aucun impact sur le réglage de la puissance.
- f) L'influence du câble entre le coupleur et l'antenne de référence doit être évaluée dans le cadre de l'évaluation de l'incertitude.
- g) Le wattmètre PM1 et l'atténuateur Att1 doivent être des composants de haute qualité et étalonnés. L'atténuateur (≥ 10 dB) est utilisé pour améliorer la précision du capteur de puissance (certaines têtes de puissance plus élevée comportent un atténuateur incorporé étalonné). Les atténuations peuvent varier de 0,2 dB par rapport à la valeur spécifiée. Par conséquent, l'atténuation exacte à chaque fréquence d'essai doit être vérifiée et utilisée dans les calculs.
- h) Pour éviter les erreurs de linéarité et de commutation de plage dans le wattmètre PM2 pour le *contrôle du système* réalisé à différents niveaux de puissance, la plage de PM2 pendant le mesurage réel avec l'antenne de référence doit être identique à celle utilisée pendant la configuration de puissance avec le wattmètre PM1 connecté directement au câble.
- i) L'antenne de référence doit être connectée directement au câble à la position "X" de la Figure D.1. Si le wattmètre et l'antenne de référence exigent différents systèmes de connexion, un adaptateur de niveau d'étalonnage et de haute qualité doit être utilisé. De préférence, l'adaptateur est étalonné avec l'atténuateur Att1 à l'entrée (position "X").
- j) Pour éviter les dérives de puissance inacceptables pendant le *contrôle du système*, il convient de laisser chauffer l'équipement pendant la durée recommandée par le ou les fabricants avant d'effectuer tout mesurage.

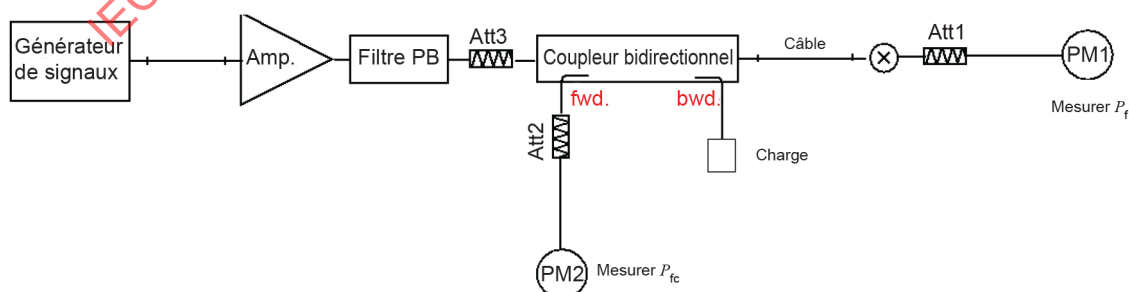
D.2.3 Procédure de mesure et de normalisation du DAS

La procédure d'essai est décrite dans les étapes ci-dessous.

- a) Connecter l'équipement comme indiqué à la Figure D.2, le wattmètre PM1 et l'atténuateur Att1 étant connectés à l'extrémité du câble. Une terminaison de 50Ω doit être reliée à l'accès couplé inverse (bwd.) du coupleur directionnel.
- b) Ajuster la sortie de puissance du générateur de signaux tant que la puissance directe P_f au niveau de PM1 n'est pas au niveau de puissance souhaité.

NOTE Toutes les valeurs de puissance utilisées dans cette procédure sont des valeurs efficaces moyennées pendant des durées suffisamment longues pour assurer une convergence.

- c) Mesurer la puissance couplée directe P_{fc} au niveau de PM2.



IEC

Figure D.2 – Montage de l'équipement de mesure de la puissance directe P_f et de la puissance couplée directe P_{fc}

- d) Connecter l'équipement comme indiqué à la Figure D.3. Le wattmètre PM1 et son atténuateur sont déconnectés de l'extrémité du câble et un court-circuit y est placé. Un wattmètre est connecté à l'accès couplé inverse (bwd.) du coupleur directionnel, remplaçant la terminaison de 50 Ω .
- e) Ajuster la puissance du générateur de signaux de sorte que la puissance couplée directe (fwd.) au niveau de PM2 soit égale à P_{fc} à l'étape c).
- f) Relever la puissance couplée inverse court-circuitée P_{rcs} au niveau du wattmètre PM1.

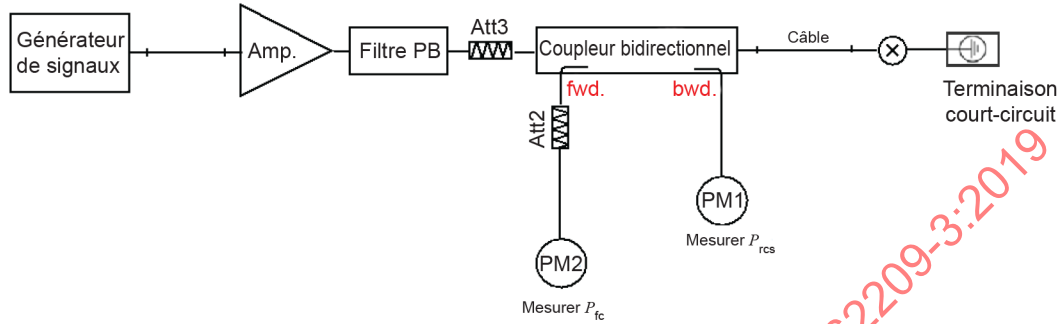


Figure D.3 – Montage de l'équipement de mesure de la puissance couplée inverse court-circuitée P_{rcs}

- g) Connecter l'équipement comme indiqué à la Figure D.4, l'antenne de référence étant reliée à l'extrémité du câble, remplaçant la terminaison court-circuit.
- h) Placer l'antenne de référence à un emplacement d'essai sur le fantôme comme indiqué à la Figure D.8, la Figure D.9 et la Figure D.10.
- i) Ajuster la puissance du générateur de signaux de sorte que la puissance couplée directe (fwd.) au niveau de PM2 soit égale à P_{fc} .

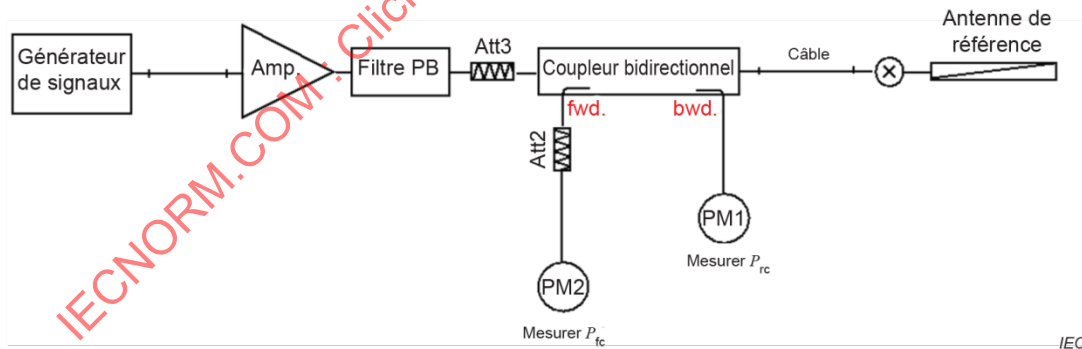


Figure D.4 – Montage de l'équipement de mesure de la puissance avec l'antenne de référence connectée

- j) Relever la puissance couplée inverse (bwd.) P_{rc} au niveau du wattmètre PM1.
- k) Mesurer le psSAR de 1 g et 10 g, $DAS_{1g,m}$ et $DAS_{10g,m}$, à la position d'essai du fantôme.
- l) Calculer le facteur d'adaptation de l'antenne de référence, en dB: $RL = P_{rcs} - P_{rc}$, où P_{rcs} et P_{rc} sont exprimés en dBm. Vérifier que le facteur d'adaptation relève des spécifications du Tableau D.3 au Tableau D.6.
- m) Normaliser le DAS mesuré en fonction de la puissance directe P_f (Formules (D.1) et (D.2)):

$$DAS_{1g,NORM} = \frac{DAS_{1g,m}}{P_f} \quad (D.1)$$

$$DAS_{10g,NORM} = \frac{DAS_{10g,m}}{P_f} \quad (D.2)$$

où

$DAS_{1g,NORM}$ est le psSAR de 1 g normalisé à 1 W;

$DAS_{10g,NORM}$ est le psSAR de 10 g normalisé à 1 W;

$DAS_{1g,m}$ est le psSAR de 1 g mesuré;

$DAS_{10g,m}$ est le psSAR de 10 g mesuré;

P_f est la puissance directe.

- n) Enregistrer $DAS_{1g,NORM}$, $DAS_{10g,NORM}$, P_f et RL .
- o) Comparer les valeurs de DAS mesurées aux valeurs cibles appropriées, comme décrit en D.3.4 (*contrôle du système*) et D.4.7 (*validation du système*).
- p) Vérifier que le facteur d'adaptation, RL , satisfait aux exigences de D.2.1.

D.2.4 Incertitude de mesure de puissance

La Figure D.2 décrit le montage de mesure de puissance utilisé pour déterminer la puissance acceptée (P_{acc}) à l'extrémité du câble. P_f est mesuré par PM1 et associé à la puissance couplée directe (P_{fc}) mesurée par PM2. Le facteur d'adaptation de l'antenne de référence (RL) est déterminé par le montage de mesure de puissance représenté à la Figure D.3, où la puissance couplée inverse court-circuitée (P_{rcs}) est mesurée au niveau de l'accès de puissance inverse du coupleur directionnel par PM1. Lorsque l'antenne de référence est reliée au câble comme indiqué à la Figure D.4, la puissance couplée inverse (P_{rc}) est mesurée par PM1. Les contributions à l'incertitude pour P_f , P_{fc} , P_{rc} et P_{rcs} sont les suivantes:

- a) Les contributeurs à $u_{p_{acc}}$ sont les suivants: $u_1(PM1)$, $u_1(\text{câble})$, $u_1(\text{att1})$, $u_1(\Gamma_{GE}, \Gamma_e, RL)$.

où

$u_1(PM1)$ dépend de l'exactitude de l'instrument, de la linéarité du capteur, du bruit, de la remise à zéro, de la dérive du point zéro, du facteur d'étalonnage, de la précision de la puissance de référence et de la désadaptation de la puissance de référence;

$u_1(\text{câble})$ est l'écart maximal résultant du mouvement du câble (distribution rectangulaire).

$u_1(\text{atténuateur})$ est l'incertitude relative à la valeur de l'atténuateur.

NOTE L'incertitude de l'atténuateur peut être exclue si le wattmètre PM1 et l'atténuateur ATT1 sont étalonnés ensemble.

- b) Contributeurs à P_{fc} : pas d'incertitude, car la sortie du générateur de signaux est ajustée afin de maintenir une valeur constante exacte pour P_f à la sortie du câble (plan de référence).
- c) Les contributeurs à P_{rc} , P_{rcs} sont les suivants: $u_2(PM1)$, $2 \times u_1(\text{câble})$.

où

$u_2(PM1)$ dépend de l'exactitude de l'instrument, de la linéarité du capteur, du bruit, de la remise à zéro, de la dérive du point zéro, du facteur d'étalonnage, de la précision de la puissance de référence et de la désadaptation de la puissance de référence;

- d) Incertitude par approximation: $u_1(F)$, ce contributeur est inclus si la méthode de mesure avec le coupleur bidirectionnel est utilisée (la désadaptation est incluse dans cette incertitude) sans analyseur de réseau vectoriel.
- e) L'incertitude de désadaptation $u_1(\Gamma_{GE}, \Gamma_e, RL)$, ce contributeur est inclus si une méthode de mesure avec coupleur directionnel et analyseur de réseau vectoriel (pour le mesurage RL) est utilisée:

où

Γ_{GE} est la réflexion de source équivalente (Formule (D.3)), lorsqu'un coupleur directionnel est utilisé:

$$\Gamma_{GE} = \frac{S_{32} + S_{21}}{S_{31}} - S_{22} \quad (D.3)$$

Les paramètres S (S_{31} , S_{21} , S_{32} , S_{22}) du coupleur directionnel à 4 accès (représenté à la Figure D.5) peuvent être obtenus à partir des spécifications du fabricant ou mesurés avec un analyseur de réseau vectoriel.



Figure D.5 – Numérotation d'accès pour les mesurages de paramètres S du coupleur directionnel

- f) $u_1(\Gamma_{GE}, \Gamma_e, RL)$ est exprimé dans la Formule (D.4) comme suit:

$$u_1(\Gamma_{GE}, \Gamma_e, RL) = \sqrt{2} \times \Gamma_{GE} \times \sqrt{|\Gamma_e|^2 + |RL|^2} \quad (D.4)$$

où

Γ_e est le coefficient de réflexion du capteur de puissance PM1 avec l'atténuateur Att1;

Γ_{GE} est la réflexion de source équivalente

RL est le coefficient de réflexion de l'antenne de référence.

u_{p_acc} est exprimé comme suit:

$$u_{p_acc} = \sqrt{u_1(PM1)^2 + u_1(atténuateur)^2 + u_1(câble)^2 + u_2(PM1)^2 + u_1(\Gamma_{GE}, \Gamma_e, RL)^2} \quad (D.5)$$

Tableau D.1 – Exemple d'incertitude de mesure de puissance en %

			<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a/b</i>	<i>c</i>	$u_i = (a/b) \times \frac{c}{c}$	
Symbole	Source d'incertitude X_i	Lois de probabilité α	Incertainitude $\pm \%$	Diviseur ^a	$u(X_i)$	c_i	Incertainitude type $\pm \%$	Degré de liberté (ν_i)
Contributeurs à P_f								
$u_1(\text{PM1})$	Incertainitude de la mesure absolue avec PM1	N	1,04	1	1,04	1	1,04	100
$u_1(\text{atténuateur})$	Incertainitude relative à S_{21} de l'atténuateur Att1	N	0,52	1	0,52	1	0,52	500
$u_1(\text{câble})$	Incertainitude du câble de flexion	R	0,18	$\sqrt{3}$	0,104	1	0,104	500
Contributeurs à P_{rc} et P_{rcs}								
$u_2(\text{PM1})$	Incertainitude de la mesure relative avec PM1	N	0,29	1	0,29	1	0,29	100
$u_1(I_{GE}, I_{e,RL})$	Incertainitude d'erreur de désadaptation	R	2,69	$\sqrt{3}$	1,553	1	1,553	100
u_{P_acc}	Incertainitude de mesure de puissance ($k=1$)						$u_{P_acc} = 1,964$	Degrés efficaces de liberté (ν_{eff}) = 192,27
^a Les lois de probabilité et les diviseurs sont choisis de manière à représenter au mieux les connaissances disponibles des grandeurs concernées. NOTE Les en-têtes de colonne <i>a</i> , <i>b</i> , <i>c</i> sont présentés pour référence.								

D.3 Contrôle du système

D.3.1 Antennes de contrôle du système et conditions d'essai

Les antennes utilisées pour le *contrôle du système* peuvent être différentes de celles exigées pour la *validation du système* (voir l'Annexe F). Les antennes de *contrôle du système* doivent présenter une excellente répétabilité du DAS (variation inférieure à 10 %) et être donc à la base d'une bonne répétabilité de positionnement (< 0,2 mm en ce qui concerne la distance par rapport à l'enveloppe qui doit être établie avec un écarteur à faibles pertes, et < 1 mm dans les directions tangentielles dans le cas des fantômes de tête), d'une stabilité mécanique et d'une adaptation d'impédance de bonne qualité pour les conditions de mesure.

Les antennes de *contrôle du système* peuvent avoir deux paires de valeurs cibles

- a) Les valeurs cibles absolues $DAS_{10,cal}$ et $DAS_{10g,cal}$. Si les antennes décrites à l'Annexe F sont utilisées, les valeurs cibles absolues fournies dans le Tableau D.3, le Tableau D.4, le Tableau D.5, le Tableau D.6, le Tableau D.7 et le Tableau D.8 doivent être utilisées. Ces valeurs cibles doivent être déterminées par modélisation numérique conformément aux exigences de l'IEC/IEEE 62704-1 (y compris l'écarteur à faibles pertes dans le modèle). Les valeurs cibles doivent également être validées de manière expérimentale à l'aide d'un étalon traçable conformément aux exigences de l'Annexe G. L'application correcte de ces conditions selon les exigences du présent document doit être démontrée.

- b) Valeurs cibles relatives $DAS_{1g,sys}$ et $DAS_{10g,sys}$. Il s'agit de valeurs mesurées utilisées pour le système de mesure étalonné spécifique. Ces valeurs permettent de déterminer la dérive du système de mesure dans la durée. Elles sont mesurées conformément aux exigences de configuration de D.2 et aux conditions d'essai et critères d'acceptation de D.3. Le contrôle du système doit être réalisé dans les deux semaines qui suivent le réétalonnage du système de mesure du DAS par le laboratoire d'étalonnage, et le $SAR_{1g,sys}$ et le $SAR_{10g,sys}$ doivent être fournis à l'utilisateur.

D.3.2 Antennes de *contrôle du système* et conditions d'essai pour les systèmes de balayage

Dans le cas des systèmes de balayage, le *contrôle du système* pour le $DAS_{cal,1g}$ et le $DAS_{cal,10g}$ doit être réalisé en utilisant les mêmes facteurs d'étalonnage et le même milieu que dans l'essai de conformité et en utilisant une antenne de *contrôle du système* à une fréquence fixe choisie dans les limites de $\pm 10\%$ ou ± 100 MHz de la fréquence centrale de l'essai de conformité, selon la plus grande des deux valeurs. Le *contrôle du système* doit être réalisé au centre du fantôme plan. Pour le fantôme de tête, le *contrôle du système* doit être réalisé dans l'un des quatre emplacements suivants: C(0), D(90), F(90) et H(0) sélectionnés de manière égale dans la durée. L'essai peut être limité au fantôme plan (c'est-à-dire dire que le fantôme de tête est facultatif) si les mêmes capteurs, milieu équivalent aux tissus et algorithme de reconstruction sont utilisés dans chaque fantôme plan, chaque fantôme de tête et chaque fantôme. La valeur du psSAR issue du *contrôle du système* doit se situer dans les limites des critères d'acceptation spécifiés en D.3.4.

Afin d'évaluer la dérive maximale du psSAR à partir du $DAS_{sys,1g}$ et du $DAS_{sys,10g}$, l'utilisateur doit sélectionner les mêmes emplacements que ceux auxquels le $DAS_{sys,1g}$ et le $DAS_{sys,10g}$ sont fournis (voir D.3.1).

D.3.3 Antennes de *contrôle du système* et conditions d'essai pour les systèmes matriciels

Pour les systèmes matriciels, les antennes de *contrôle du système* doivent être sélectionnées de manière à couvrir les fréquences du DAE soumises à l'essai. Chaque fréquence de *contrôle du système* doit se situer dans les limites de $\pm 10\%$ ou ± 100 MHz de la fréquence centrale de l'essai de conformité (selon la plus grande des deux valeurs). Ces fréquences peuvent également couvrir la plage de fréquences du DAE soumise à l'essai. Le fabricant du système doit justifier que les fréquences sélectionnées sont suffisantes pour couvrir la plage de fréquences soumise à l'essai. Cette justification doit documenter la dépendance à la fréquence des résultats de validation.

NOTE 1 À titre d'exemple, quatre antennes dipôles à des fréquences de 835 MHz, 1 950 MHz, 2 450 MHz et 5 800 MHz peuvent être considérées comme suffisantes pour couvrir les essais de 600 MHz à 6 000 MHz, sur la base de la justification fournie par le fabricant du système.

À chaque fréquence sélectionnée, le DAS doit être mesuré dans tous les fantômes plans et de tête en quatre emplacements ou plus. L'utilisateur peut sélectionner les emplacements et orientations de spécification des valeurs cibles, $DAS_{1g,cal}$ et $DAS_{10g,cal}$ (voir D.3.1) et qui relèvent de la plage de validité du fantôme spécifiée par le fabricant.

NOTE 2 L'utilisateur peut souhaiter couvrir les emplacements de la zone de mesure du fantôme.

Afin d'évaluer la dérive maximale du psSAR à partir du $DAS_{sys,1g}$ et du $DAS_{sys,10g}$, l'utilisateur doit sélectionner les mêmes emplacements que ceux auxquels le $DAS_{sys,1g}$ et le $DAS_{sys,10g}$ sont fournis (voir D.3.1).

D.3.4 Critères d'acceptation du *contrôle du système*

Le *contrôle du système* est un mesurage exhaustif du psSAR de 1 g et/ou 10 g. Le DAS de 1 g et/ou 10 g mesuré est normalisé en fonction de la puissance directe de 1 W par rapport à l'antenne de *contrôle du système* et comparé aux valeurs cibles appropriées. Le montage de mesure de puissance RF exigé et la procédure de normalisation du DAS sont décrits en D.2.

Le *contrôle du système* est satisfaisant si:

- toutes les valeurs mesurées se situent dans les limites de deux écarts types de l'incertitude type du système u_s (voir Tableau 5) des cibles absolues $DAS_{1g,cal}$ et/ou $DAS_{10g,cal}$, fournies dans le Tableau D.3, le Tableau D.4, le Tableau D.5 et le Tableau D.6, et
- toutes les valeurs mesurées se situent dans les limites de $\pm 10\%$ des valeurs ($DAS_{1g,sys}$ et/ou $DAS_{10g,sys}$, voir D.3.1) pour ce système de mesure en utilisant la même configuration d'équipement et la même antenne source.

Si ces critères sont satisfaits, les raisons de la non-conformité doivent être déterminées et corrigées avant l'essai DAS du DAE avec la fréquence et la configuration du fantôme non conformes.

D.4 Validation du système

D.4.1 Validation des systèmes matriciels et des systèmes de balayage

Tous les systèmes basés sur la mesure vectorielle doivent satisfaire aux mêmes critères de validation. La *validation du système* est en général réalisée au moins une fois par an, et doit être documentée par le fabricant du système, conformément à l'Article 6.

L'utilisateur peut réaliser la *validation du système* sur site après l'installation de ce dernier (voir D.4.6).

D.4.2 Exigences pour les antennes de validation du système et conditions d'essai

Les conditions d'essai de validation doivent être choisies en fonction des spécifications du système établies par le fabricant dudit système conformément aux exigences du présent document et selon les exigences de mesure du système au niveau du laboratoire d'essai.

NOTE Par exemple, si un laboratoire ne réalise que des essais WLAN pour les dispositifs portés près du corps, la validation est exigée uniquement pour le fantôme plan dans la plage comprise entre 2,45 GHz et 5 GHz pour les sous-ensembles d'essais spécifiés en D.4.

D.4.3 Exigences relatives aux systèmes matriciels et aux systèmes de balayage

Les antennes et la procédure de validation des systèmes doivent satisfaire aux exigences suivantes:

- a) La *validation du système* doit couvrir la plage de fréquences utilisée pour le système d'essai. Chaque fréquence d'essai du DAE doit se situer dans les limites de ± 100 MHz ou $\pm 10\%$ (selon la plus grande des deux valeurs) d'une fréquence de validation prise en charge par le système DAS. Un exemple d'ensemble de fréquences de validation pour un système utilisé dans la plage comprise entre 600 MHz et 6 000 MHz peut inclure 750 MHz, 835 MHz, 900 MHz, 1 450 MHz, 1 750 MHz, 1 950 MHz, 2 450 MHz, 2 600 MHz, 3 700 MHz, 5 200 MHz, 5 500 MHz et 5 800 MHz.
- b) La *validation du système* doit être réalisée pour la modulation, les schémas de multiplexage et de duplexage qui représentent l'ensemble de signaux que les DAE utilisent. Dans le Tableau D.2, toutes les modulations du groupe G1 et toutes les modulations dans chacun des groupes G2 et G3 doivent être soumises à l'essai.
- c) Les distributions du DAS incluses dans la *validation du système* doivent inclure celles dominées par les composantes de champ perpendiculaires à la surface du fantôme (c'est-à-dire les composants évanescents) de polarisations différentes, et celles dominées par les composantes de champ tangentes à ladite surface.
- d) Les antennes et l'équipement de mesure RF utilisés pour la validation doivent constituer un ensemble indépendant de l'ensemble d'équipements utilisés pour l'étalonnage du système. L'utilisation d'ensembles différents d'équipements évite de transmettre un biais de l'étalonnage à la validation.

- e) Les niveaux de DAS mesurés doivent correspondre à la plage dynamique du système de mesure du DAS et à la plage de DAS prévue des dispositifs sans fil à soumettre à l'essai (de $> 0,1 \text{ W/kg}$ à $< 10 \text{ W/kg}$, par exemple).
- f) Différents emplacements (Figure D.11 et Figure D.12) sont choisis pour vérifier que les variations des emplacements de capteur et le manque d'homogénéité du milieu équivalent aux tissus sont pris en considération. Les emplacements sont choisis pour une évaluation fiable du psSAR dans la région de mesure spécifiée pour le système, c'est-à-dire que le fabricant doit spécifier cette région. Les emplacements trop proches des bords de la région de mesure peuvent introduire des erreurs et des incertitudes inacceptables.
- g) Les valeurs cibles du psSAR de 1 g et 10 g des antennes de référence doivent être déterminées en s'appuyant sur des évaluations numériques conformes à l'IEC/IEEE 62704-1. L'incertitude élargie des valeurs cibles du DAS (indiquée comme $u_{sa} = 15 \%$ en D.4.7) ne doit pas dépasser 20 % et les résultats pour plus de 60 % des antennes doivent être inférieurs à 10 % ($k = 2$). Les antennes de référence doivent être vérifiées par étalonnage traçable (conformément à l'ISO/IEC 17025 par exemple). Les antennes de référence utilisées pour la *validation du système* sont spécifiées à l'Annexe F.

**Tableau D.2 – Modulations et modes de multiplexage utilisés
par les systèmes radioélectriques**

Groupe	N°	Dénomination du groupe	Type de modulation	Méthode de transmission / Multiplexage	Duplex	Exemple	Description
G1	M1	Référence non modulée – Faible PAPR	CW	n/a	n/a	CW	Porteuse non modulée
	M14	Référence modulée – PAPR élevé	CW	n/a	n/a	Impulsion	Signal à impulsions avec une durée de 10 ms et un cycle de service de 10 % (1 ms SOUS TENSION – 9 ms HORS TENSION)
G2	M2	PAPR élevé	GFSK, PSK	TDMA	Duplexage par répartition en fréquence (FDD)	GSM	EDGE-FDD (TDMA, 8PSK, TN 0)
	M6	PAPR élevé	Modulation (d'amplitude) en quadrature (QAM)	Multiplexage par répartition orthogonale des fréquences (OFDM)	Duplexage par répartition dans le temps (TDD)	Réseau local sans fil (WLAN)	IEEE 802.11g WiFi 2,4 GHz (DSSS/OFDM, 54 Mbps)
	M5	PAPR élevé	Modulation (d'amplitude) en quadrature (QAM)	Multiplexage par répartition orthogonale des fréquences (OFDM)	Duplexage par répartition dans le temps (TDD)	Réseau local sans fil (WLAN)	IEEE 802.11a/h WiFi 5 GHz (OFDM, 54 Mbps)
	M10	PAPR élevé	64-QAM	SC-FDMA	Duplexage par répartition dans le temps (TDD)	LTE-TDD	LTE-TDD (SC-FDMA, 1 RB, 1,4 MHz, 64-QAM)
	M8	PAPR élevé	64-QAM	SC-FDMA	Duplexage par répartition dans le temps (TDD)	LTE-TDD	LTE-TDD (SC-FDMA, 100 RB, 20 MHz, 64-QAM)

Groupe	N°	Dénomination du groupe	Type de modulation	Méthode de transmission / Multiplexage	Duplex	Exemple	Description
G3	M4	Faible PAPR	Modulation (d'amplitude) en quadrature (QAM)	Multiplexage par répartition orthogonale des fréquences (OFDM)	Duplexage par répartition dans le temps (TDD)	Réseau local sans fil (WLAN)	IEEE 802.11a/h WiFi 5 GHz (OFDM, 6 Mbps)
	M9	Faible PAPR	16-QAM	SC-FDMA	Duplexage par répartition en fréquence (FDD)	LTE-FDD	LTE-FDD (SC-FDMA, 1 RB, 20 MHz, 16-QAM)
	M7	Faible PAPR	Modulation par quadrature de phase (QPSK)	SC-FDMA	Duplexage par répartition en fréquence (FDD)	LTE-FDD	LTE-FDD (SC-FDMA, 100 RB, 20 MHz, QPSK)
	M3	Faible PAPR	Modulation par déplacement de fréquence gaussien (GFSK)	AMRT	Duplexage par répartition dans le temps (TDD)	Bluetooth	IEEE 802.15.1 Bluetooth (GFSK, DH1)
	M12	Faible PAPR	Modulation par quadrature de phase (QPSK)	Modulation à spectre étalé à séquence directe (DSSS)	Duplexage par répartition dans le temps (TDD)	Réseau local sans fil (WLAN)	IEEE 802.11b WiFi 2,4 GHz (DSSS, 11 Mbps)
	M13	Faible PAPR	GFSK, PSK	AMRT	Duplexage par répartition en fréquence (FDD)	GSM	GPRS-FDD (TDMA, GMSK, TN 0-1-2-3)
	M11	Faible PAPR	Modulation par quadrature de phase (QPSK)	Accès multiple par répartition en code (AMRC)	Duplexage par répartition en fréquence (FDD)	Accès multiple par répartition en code (AMRC)	WCDMA, 12,2 kbps RMC, IS-2000

D.4.4 Positions d'essai pour la validation du système

D.4.4.1 Généralités

Les positions d'essai de l'antenne pour les fantômes de tête sont choisies de sorte que la zone projetée d'un grand dispositif sans fil qui peut être utilisé à l'oreille soit couverte par les positions d'essai à l'intérieur de la région de mesure. Les dimensions choisies sont de 80 mm × 160 mm. Étant donné que les antennes peuvent se trouver en tout point du dispositif sans fil et que les dispositifs cintrés ne peuvent pas être exclus, l'antenne peut se trouver proche du visage de l'utilisateur en tout point dans cette zone. La zone de mesure maximale spécifiée par le fabricant du système doit être marquée sur le fantôme ou indiquée à l'utilisateur.

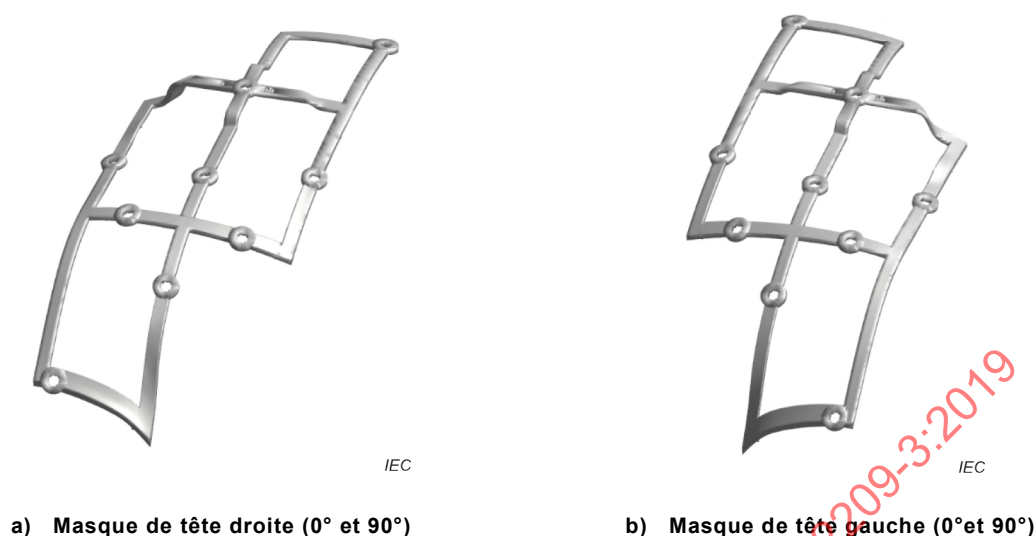
Les positions d'essai pour les fantômes plans sont choisies de sorte que le plus grand dispositif sans fil à soumettre à l'essai par le système soit couvert par les positions d'essai à l'intérieur de la région de mesure. La taille maximale du dispositif (longueur maximale L , largeur maximale W) doit être marquée sur le fantôme ou indiquée à l'utilisateur. Les emplacements de validation doivent être mis à l'échelle indépendamment en fonction de la taille maximale du dispositif dans la région de mesure spécifiée à la Figure D.11. Si le DAE est supérieur ou égal à la zone de mesure prise en charge par le fantôme, le balayage doit être divisé en régions plus petites comme cela est décrit en 7.1.7.

D.4.4.2 Emplacement d'antenne

Les emplacements d'essai choisis pour l'antenne sur le fantôme plan et le fantôme de tête sont spécifiés ci-après:

- Fantôme plan: les emplacements des antennes de référence sont définis à la Figure D.11. L'emplacement A0 est spécifié de sorte que le centre géométrique de la structure de l'antenne soit au-dessus du centre de la zone de mesure. Pour les antennes dipôles, le centre géométrique est le point situé à mi-distance entre les bouts du dipôle le long de l'axe du dipôle. Pour les VPIFA, le centre géométrique se trouve au bout de l'écarteur intégré. Pour les 2-PEAK CPIFA, le centre géométrique se trouve à mi-distance le long de la longueur L_1 et de la largeur W_1 (Article F.5).

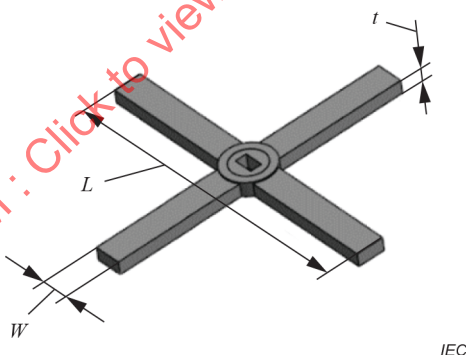
Fantôme de tête: les emplacements des antennes de référence sont spécifiés à la Figure D.12. Pour les antennes dipôles et les VPIFA, le positionnement est assuré à l'aide des masques SAM de la Figure D.6. Pour la 2-PEAK CPIFA, la position est assurée en plaçant le centre de la croix (Article F.5) sur le point de référence de l'oreille (ERP – *ear reference point*).



Les tolérances recommandées pour les masques imprimés en 3D sont $\pm 0,50$ mm.

NOTE Différentes techniques peuvent être utilisées pour générer ces masques. Par exemple, le frittage sélectif par laser (FSL) de polyamide 12 (PA12) a été utilisé. Ce matériau présente une permittivité relative de 2,2 et une tangente de perte supérieure à 0,01.

Figure D.6 – Masques SAM pour le positionnement des antennes dipôles et des VPIFA sur les fantômes de tête, comprenant les orifices dans lesquels sont insérés l'écarteur d'antenne



Les tolérances recommandées pour les masques imprimés en 3D sont $\pm 0,50$ mm.

NOTE 1 Les masques ont une largeur de $w = 5,4$ mm. L'orifice rectangulaire destiné à insérer l'écarteur VPIFA a une longueur de $L_h = 3,8$ mm et une largeur de $w_h = 2,3$ mm. La longueur et l'épaisseur dépendent de l'antenne. Pour des fréquences de 750 MHz, 835 MHz et 1 950 MHz, $L = 60$ mm et $t = 1,5$ mm. Pour une fréquence de 3 700 MHz, $L = 40$ mm et $t = 2,9$ mm.

NOTE 2 Différentes techniques peuvent être utilisées pour générer ces masques. Par exemple, le frittage sélectif par laser (FSL) de polyamide 12 (PA12) a été utilisé. Ce matériau présente une permittivité relative de 2,2 et une tangente de perte supérieure à 0,01.

Figure D.7 – Masques plans pour le positionnement des VPIFA sur les fantômes plans, comprenant un orifice au centre dans lequel est inséré l'écarteur VPIFA

D.4.4.3 Orientation de l'antenne

Pour le fantôme plan, l'orientation à 0° est spécifiée de sorte que le grand axe de l'antenne soit parallèle à la droite entre les points D1 et A1 (voir Figure D.11). D'autres orientations sont spécifiées en faisant pivoter l'antenne dans le sens des aiguilles d'une montre à partir de la droite D1-A1.

Pour le fantôme de tête, l'orientation à 0° est spécifiée de sorte que le grand axe de l'antenne soit parallèle à la droite MB sur le fantôme SAM. Pour les VPIFA, l'orientation à 0° est en outre spécifiée de sorte que l'alimentation par câble coaxial soit face au cou du fantôme SAM. L'orientation à 90° est spécifiée de sorte que l'alimentation par câble coaxial soit orientée vers le nez du fantôme SAM. Pour la 2-PEAK CPIFA, l'orientation à 0° est en outre spécifiée de sorte que la cavité rectangulaire sur le côté opposé de la croix soit au-dessus de la droite MB. Pour les antennes dipôles, les orientations d'antenne sont présentées à la Figure D.13.

D.4.4.4 Distance de séparation d'antenne

Pour les antennes de validation décrites à l'Annexe F, les distances de séparation s référencées dans le Tableau D.3 et le Tableau D.4 et les distances de séparation s référencées dans le Tableau D.5 et le Tableau D.6 sont spécifiées pour le fantôme plan et le fantôme SAM, respectivement.

Sur le fantôme plan, la distance s inclut l'épaisseur de l'enveloppe, e , et est spécifiée comme suit:

- Pour les dipôles, s est la distance entre l'axe des bras du dipôle et le milieu équivalent aux tissus telle que présentée à la Figure D.8.
- Pour la VPIFA, s est la distance entre le bout de l'écarteur intégré et le milieu équivalent aux tissus telle que présentée à la Figure D.10. Cette distance est fixée à $s = 2$ mm. En d'autres termes, le bout de l'écarteur intégré est placé contre la surface extérieure de l'enveloppe du fantôme.
- Pour la 2-PEAK CPIFA, s est la distance entre la surface avant de la 2-PEAK CPIFA et le milieu équivalent aux tissus telle que présentée à la Figure D.9). Cette distance est fixée à $s = 7$ mm, qui inclut une distance de 5 mm jusqu'à la surface extérieure de l'enveloppe du fantôme plan et l'épaisseur d'enveloppe de 2 mm. Un écarteur à faibles pertes et faible permittivité d'une épaisseur de 5 mm peut être inséré entre la 2-PEAK CPIFA et l'enveloppe du fantôme afin de respecter cette distance (voir 6.5 pour les exigences de permittivité et de perte de l'écarteur).

Sur le fantôme SAM, la distance (d) concerne la distance entre l'antenne et la surface extérieure de l'enveloppe, avec la Formule (D.6):

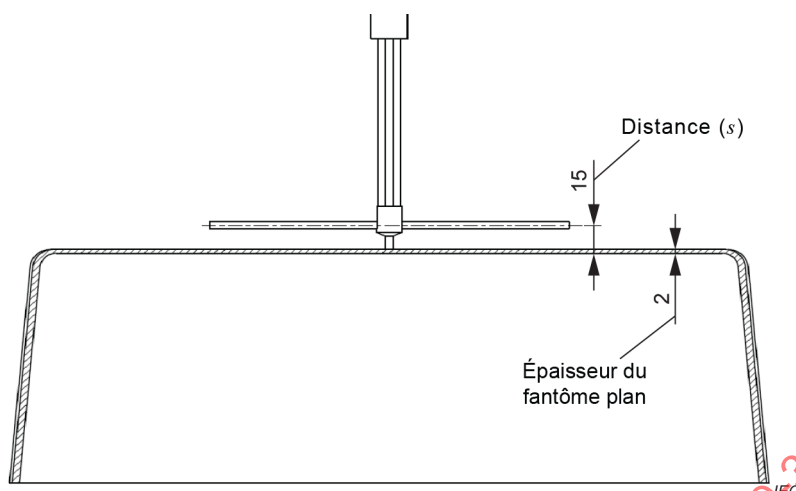
$$d = s - e \quad (\text{D.6})$$

où

s dépend du type d'antenne spécifié pour le fantôme plan,

e est l'épaisseur de l'enveloppe du fantôme plan = $2 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$ telle que spécifiée à l'Article A.2.

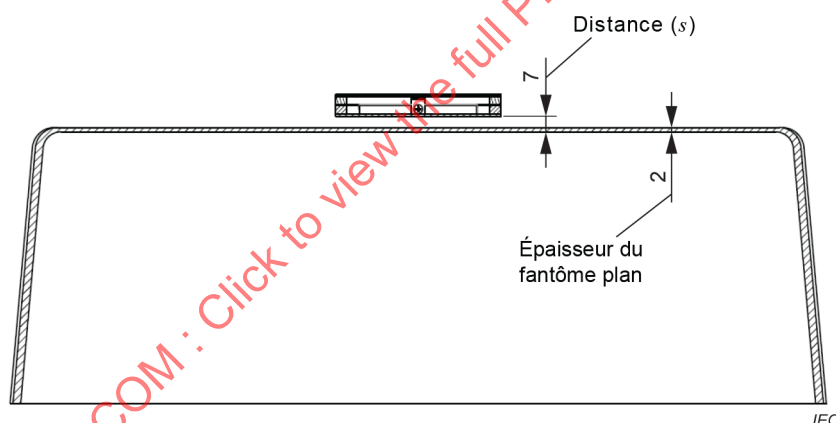
Dimensions en millimètres



NOTE Dipôle placé sur le fantôme plan, avec une enveloppe de 2 mm d'épaisseur, à une distance de $s = 15$ mm entre l'axe des bras du dipôle et le milieu équivalent aux tissus. L'orientation à 0° de l'antenne dipôle est spécifiée de sorte que l'axe du dipôle soit parallèle à la dimension la plus longue de la zone de mesure du fantôme plan.

Figure D.8 – Dipôle présentant une distance $s = 15$ mm

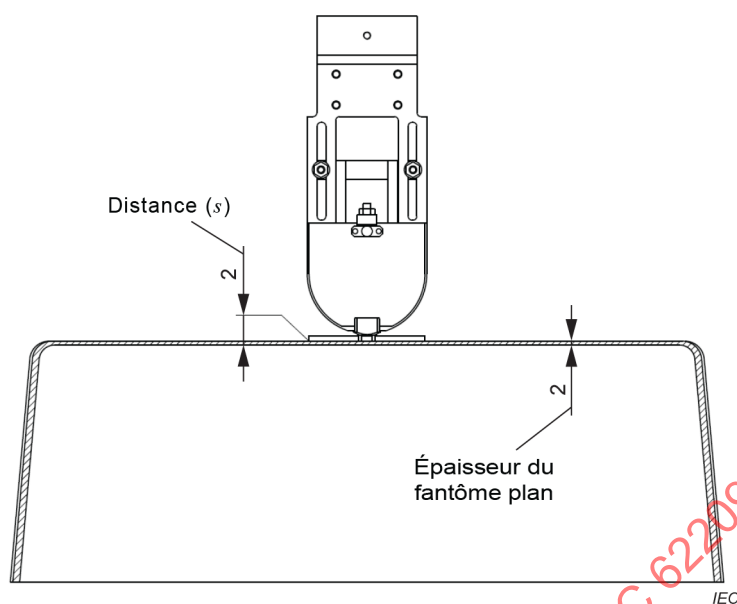
Dimensions en millimètres



NOTE 2-PEAK CPIFA placée sur le fantôme plan, avec une enveloppe de 2 mm d'épaisseur, à une distance fixe de $s = 7$ mm entre la surface avant de la 2-PEAK CPIFA et le milieu équivalent aux tissus. L'orientation à 0° de la 2-PEAK CPIFA est spécifiée de sorte que la dimension la plus longue de la 2-PEAK CPIFA soit parallèle à la dimension la plus longue de la zone de mesure du fantôme plan.

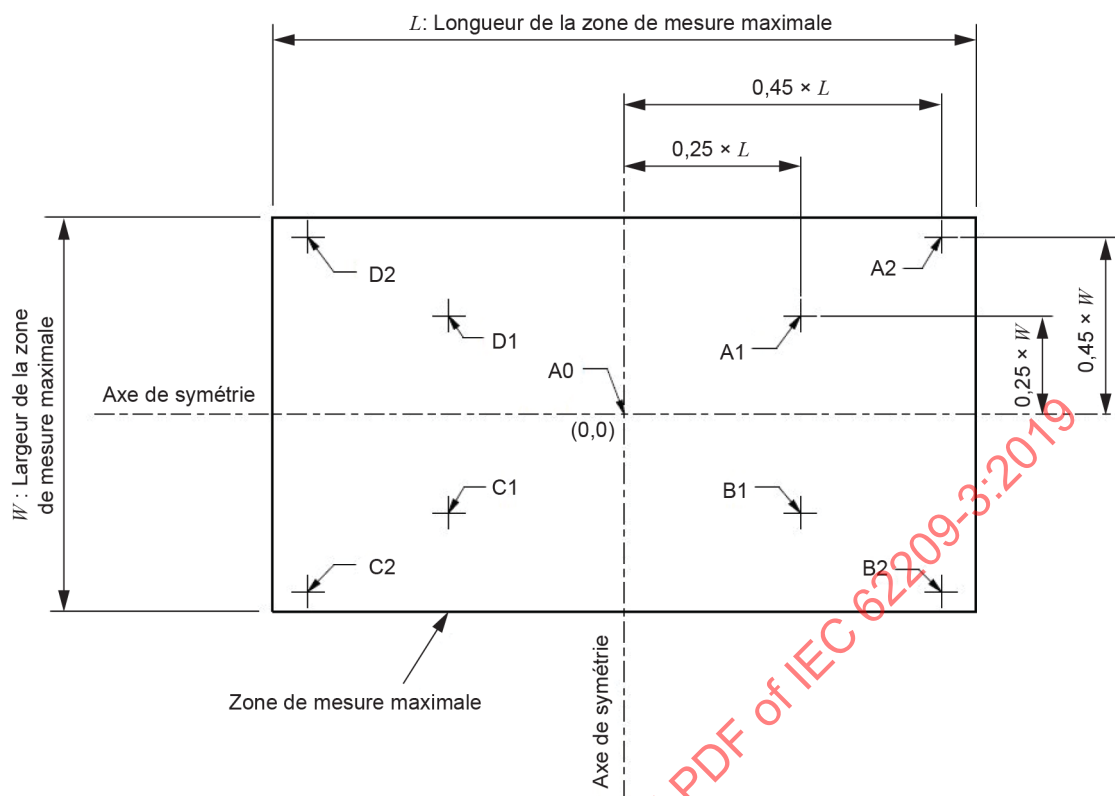
Figure D.9 – 2-PEAK CPIFA présentant la distance fixe $s = 7$ mm

Dimensions en millimètres



NOTE VPIFA placée sur le fantôme plan, avec une enveloppe de 2 mm d'épaisseur, à une distance fixe de $s = 2$ mm entre le bout de l'écarteur intégré et le milieu équivalent aux tissus. L'orientation à 0° de la VPIFA est spécifiée de sorte que la largeur de la VPIFA soit parallèle à la dimension la plus longue de la zone de mesure du fantôme plan.

Figure D.10 – VPIFA placée avec la distance fixe $s = 2$ mm



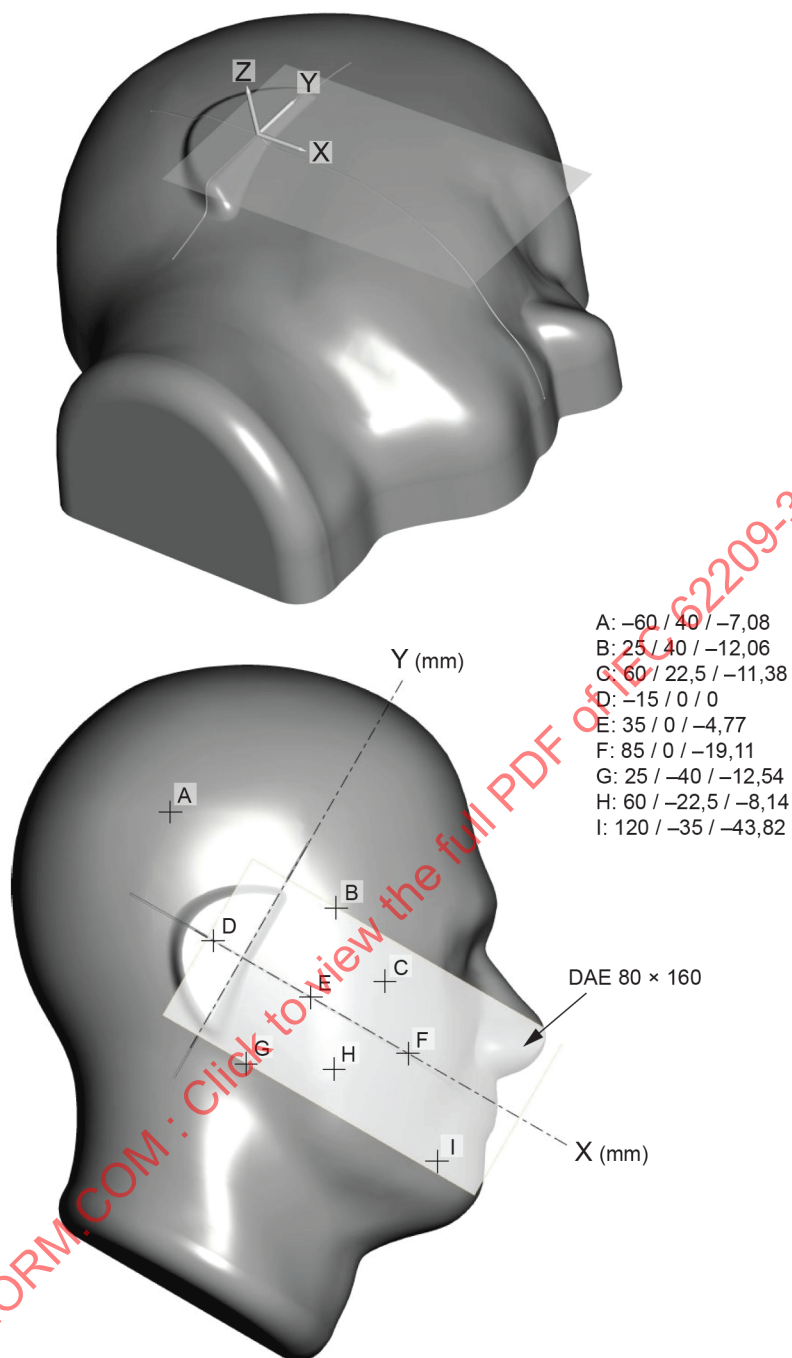
IEC

NOTE 1 L'orientation à zéro degré est dans le sens D1 vers A1 selon une rotation dans le sens des aiguilles d'une montre afin d'obtenir les différentes orientations définies du Tableau D.2 au Tableau D.3. L'axe de rotation z est perpendiculaire à la surface du fantôme et pointe à l'intérieur du fantôme.

NOTE 2 Le point A_0 est aligné sur le centre du fantôme plan.

Figure D.11 – Contrôle du système et emplacements de validation pour le fantôme plan

À la Figure D.11, la longueur L et la largeur W doivent être d'au moins 160 mm et 80 mm, respectivement. Elles doivent être étendues indépendamment, de manière à couvrir la zone de mesure maximale pour un psSAR de 10 g.

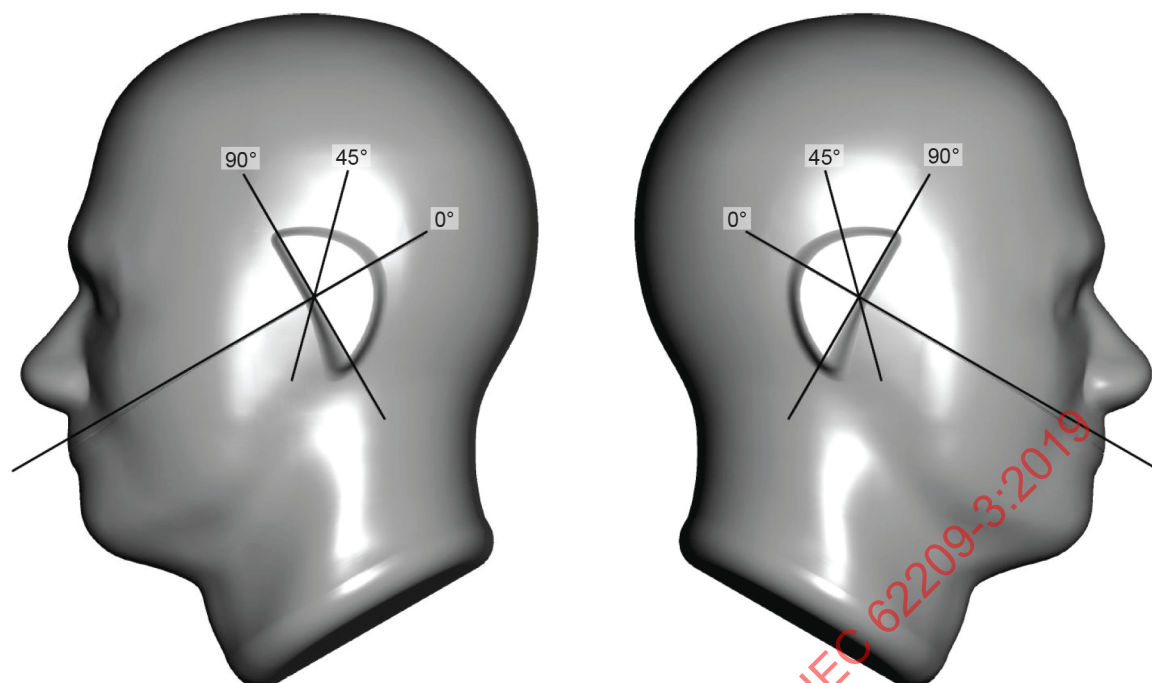


IEC

Les points sont présentés ici pour la tête droite, mais les points miroirs peuvent être pris pour la tête gauche. L'emplacement de mesure A peut être ignoré si le système est déclaré ne pas être adapté aux dispositifs d'essai à embase externe ou à des antennes fouets. L'emplacement de mesure I peut être ignoré si le système est déclaré ne pas être adapté pour les dispositifs équipés d'une antenne inférieure ou d'une surface courbe à proximité de cet emplacement.

NOTE Les points correspondent aux points projetés à partir d'un téléphone planaire placé à l'oreille.

Figure D.12 – Contrôle du système et emplacements de validation pour le fantôme de tête



IEC

NOTE L'axe z est perpendiculaire à la surface et la direction positive dans le milieu pour la tête droite (et opposée pour la tête gauche). L'angle de 0° est parallèle à la droite entre la bouche et le point de référence de l'oreille (c'est-à-dire l'axe x à la Figure D.12). Pour la tête droite, les autres angles sont définis avec une rotation dans le sens des aiguilles d'une montre en partant de 0°.

Figure D.13 – Définition des angles de rotation pour les dipôles

D.4.5 Procédure de validation du système en fonction du DAS maximal moyenné dans l'espace

La procédure de *validation du système* est réalisée pour chaque système de fantôme à l'aide des antennes de référence spécifiées à l'Annexe F et en mesurant de manière séquentielle le *DAS* maximal moyenné dans l'espace de $1g$ et le *DAS* maximal moyenné dans l'espace de $10g$ de toutes les conditions d'essai spécifiées dans le Tableau D.3, le Tableau D.4, le Tableau D.5 et le Tableau D.6.

Des essais supplémentaires peuvent également être inclus si des valeurs cibles numériques sont disponibles (voir D.4.6). Les valeurs cibles ont été déterminées de manière numérique avec une incertitude type u_{saj} de 0,2 dB pour les dipôles et de 0,3 dB pour les VPIFA et les 2-PEAK CPIFA. Toutes les valeurs ont été vérifiées par des mesurages effectués conformément aux exigences de F.1 et la différence entre la cible numérique et la valeur mesurée a été jugée correcte dans les limites de l'incertitude composée de la procédure d'étalonnage.

Tableau D.3 – DAS maximal moyenné dans l'espace (psSAR) sur des valeurs de 1 g et 10 g pour le fantôme plan rempli d'un milieu équivalent aux tissus pour les antennes spécifiées à l'Annexe F

N°	Antenne Annexe F	f_1 [MHz]	P_f [dBm]	Modulation	Emplacement Angle [°]	s [mm]	DAS 1g,cal [W/kg]	DAS 10g,cal [W/kg]	$U_{\text{sa}}(k=1)$ [dB]	Lower_RL_lim it [dB]	Upper_RL_lim it [dB]
1	D750	750	20	M1	A0/A1/A2/B1/ B2 C1/C2/D1/D2 0/ 45/ 90	15	0,849	0,555	0,2	12,3	>35
2	D750	750	13	M1, M9, M10	A0/A1/A2 0/ 67,5/ 90	15	0 169	0 111	0,2	12,3	>35
4	D750	750	20	M2, M13, M14	C1/C2 22,5	25	0,515	0,359	0,2	12,6	>35
5	D1950	1950	10	M1, M7, M8, M11	B1/B2 0/67,5/90	10	0,405	0,209	0,2	12,3	>35
6	D1950	1950	24	M1	A 1/A2 0/ 45/ 90	10	10,17	5,25	0,2	12,3	>35
7	D1950	1950	3	M1	A0/D1/D2 0/22,5/90	5	0,13	0,059	0,2	8,6	13,2
8	D1950	1950	30	M1, M14	D1/D2 22,5	25	6,91	4,15	0,2	11,2	>35
9	D2450	2450	10	M1, M3, M6	C1/C2 0/45/90	10	0,514	0,238	0,2	12,3	>35
11	D2450	2450	30	M3, M12	D1/D2 0/45/90	10	51,4	23,80	0,2	12,3	>35
11	D2450	2450	3	M1	A0/A1/A2 0/67,5/90	5	0,188	0,078	0,2	7,6	10,6
12	D2450	2450	20	M3, M6, M14	B2 22,5	25	0,717	0,393	0,2	8,6	13,1
13	D5800	5800	10	M4, M5	D1/D2 0/67,5/90	10	0,78	0,219	0,2	12,3	>35
15	D5800	5800	0	M1	A0/A1/A2 0/45/90/	5	0,274	0,057	0,2	7,2	9,7
16	D5800	5800	20	M1, M14	A0 22,5	25	1,48	0,57	0,2	10,3	>35
17	D835	835	30	M1	A2 22,5/ 67,5	15	9,56	6,22	0,2	12,3	>35
18	D900	900	17	M1	A1 0/ 90	15	0,547	0,350	0,2	12,3	>35
19	D1450	1450	13	M1	A0 0/ 90	10	0,583	0,324	0,2	12,3	>35
20	D1750	1750	10	M1	B1 22,5/ 67,5	10	0,364	0,193	0,2	12,3	>35
21	D2300	2300	20	M1	B2 0/ 90	10	4,87	2,33	0,2	12,3	>35
22	D2600	2600	20	M1	C1 0/ 90	10	5,53	2,46	0,2	12,3	>35
23	D3700	3700	10	M1	C2 22,5/ 67,5	10	0,674	0,242	0,2	12,3	>35

N°	Antenne Annexe F	f_1 [MHz]	P_f [dBm]	Modulation	Emplacement Angle [°]	s [mm]	$DAS_{1g,cal}$ [W/kg]	$DAS_{10g,cal}$ [W/kg]	$U_{sa}(k=1)$ [dB]	Lower_RL_limit [dB]	Upper_RL_limit [dB]
24	D5000	5200	7	M1	D1 0/ 90	10	0,379	0,107	0,2	12,3	>35
25	D5000	5500	7	M1	D2 22,5/ 67,5	10	0,417	0,117	0,2	12,25	>35
26	D5000	5600	27	M1	A1 0/ 90	10	40,1	11,3	0,2	12,3	>35
27	VPIFA- 750	750	24	M1	A0/A1/A2/B1/B2/ C1/C2/D1/D2 0/ 90	2	3,25	0,97	0,3	12,5	>35
28	VPIFA- 835	835	24	M1	A0/A1/A2/B1/B2/ C1/C2/D1/D2 0/ 90	2	3,32	0,96	0,3	12,3	>35
29	VPIFA- 1950	1950	24	M1	A0/A1/A2/B1/B2/ C1/C2/D1/D2 0/ 90	2	2,18	0,90	0,3	10,8	>35
30	VPIFA- 3700	3700	24	M1	A0/A1/A2/B1/B2/ C1/C2/D1/D2 0/ 90	2	2,48	1,04	0,3	12,6	>35

NOTE 1 Les limites du facteur d'adaptation indiquent que l'incertitude de désadaptation correspond, avec une marge de 5 %, à l'incertitude définie dans le Tableau D.1 par comparaison avec le facteur d'adaptation donné dans le Tableau F.1.

NOTE 2 Les modulations sont telles que spécifiées dans le Tableau D.2.

NOTE 3 P_f est la puissance directe décrite en D.2.2.

Tableau D.4 – DAS maximal moyenné dans l'espace (psSAR) sur des valeurs de 1 g et 10 g pour une antenne générant deux crêtes sur le fantôme plan rempli d'un milieu équivalent aux tissus pour les antennes spécifiées à l'Annexe F

N°	Antenne Annexe F	f_1 [MHz]	P_f [dBm]	Modulation	Angle d'emplacement [°]	s [mm]	$DAS_{1g,cal}$ [W/kg]	$DAS_{10g,cal}$ [W/kg]	$DAS_{1g,cal}$ [W/kg]	$DAS_{10g,cal}$ [W/kg]	$U_{sa}(k=1)$ [dB]	Lower_RL_limit [dB]	Upper_RL_limit [dB]
1	2-PEAK CPIFA	2450	24	M1	A0 0/ 180	7	1,7	0,806	1,34	0,661	0,3	11,3	>35

NOTE 1 La distance (s) est indiquée aux Figures D.7.

NOTE 2 Les limites du facteur d'adaptation indiquent que l'incertitude de désadaptation correspond, avec une marge de 5 %, à l'incertitude spécifiée dans le Tableau D.1 par comparaison avec le facteur d'adaptation donné dans le Tableau F.1.

NOTE 3 Les modulations sont telles que spécifiées dans le Tableau D.2.

NOTE 3 P_f est la puissance directe décrite en D.2.2.

Tableau D.5 – DAS maximal moyenné dans l'espace (psSAR) sur des valeurs de 1 g et 10 g sur le fantôme de tête gauche et de tête droit pour les antennes spécifiées à l'Annexe F

N°	Antenne Annexe F	f_1 [MHz]	P_f [dBm]	Modulation	Angle d'emplacement [°]	d [mm]	DAS 1g, cal [W/kg]	DAS 10g, cal [W/kg]	U_{eq} ($k=1$) [dB]	Lower RL_{limit} [dB]	Upper RL_{limit} [dB]
1	D750	750	30	M1, M9, M10, M14	A/ B/ D/ F 0/ 45/ 90	15	A(0/45/90)=(7,55/7,28/7,58); B(0/45/90)=(8,32/8,90/8,24); D(0/45/90)=(7,13/7,17/6,78); F(0/45/90)=(7,48/8,48/8,43)	A(0/45/90)=(4,98/4,91/5,09); B(0/45/90)=(5,51/5,85/5,44); D(0/45/90)=(4,85/4,90/4,62); F(0/45/90)=(5,03/5,72/5,60)	0,2	A(0/45/90)=(8,4/9,0/8,5) B(0/45/90)=(9,1/9,4/9,1) D(0/45/90)=(10,3/10,8/10,3) F(0/45/90)=(9,0/8,8/8,9)	A(0/45/90)=(12,6/14,7/13,0) B(0/45/90)=(15,1/16,8/14,9) D(0/45/90)=(>35/>35/>35) F(0/45/90)=(14,6/14,1/14,4)
2	D750	750	15	M2, M13	C/ E/ H/ I 0/ 45/ 90	15	C(0/45/90)=(0,243/0,278/0,266); E(0/45/90)=(0,278/0,288/0,259); H(0/45/90)=(0,243/0,288/0,266); I(0/45/90)=(0,256/0,247/0,225)	C(0/45/90)=(0,161/0,183/0,177); E(0/45/90)=(0,183/0,190/0,171); H(0/45/90)=(0,168/0,190/0,177); I(0/45/90)=(0,171/0,164/0,149)	0,2	C(0/45/90)=(9,4/9,8/9,4) E(0/45/90)=(9,4/10,2/11,1) H(0/45/90)=(9,7/10,4/10,4) I(0/45/90)=(10,428/10,926/10,662)	C(0/45/90)=(16,7/20,4/16,9) E(0/45/90)=(16,9/>35/>35) H(0/45/90)=(>35/>35/>35) I(0/45/90)=(>35/>35/>35)
3	D1950	1950	20	M1, M7, M8, M11	A/ B/ D/ F 0/ 45/ 90	10	A(0/45/90)=(4,22/3,98/4,10); B(0/45/90)=(4,23/4,27/4,17); D(0/45/90)=(2,91/2,87/2,85); F(0/45/90)=(4,00/4,14/4,22)	A(0/45/90)=(2,13/2,05/2,11); B(0/45/90)=(2,16/2,17/2,12); D(0/45/90)=(1,57/1,56/1,56); F(0/45/90)=(2,05/2,11/2,15)	0,2	A(0/45/90)=(12,3/12,3/12,3) B(0/45/90)=(12,3/12,3/12,3) D(0/45/90)=(11,8/11,6/10,5) F(0/45/90)=(12,3/12,3/12,3)	A(0/45/90)=(>35/>35/>35) B(0/45/90)=(>35/>35/>35) D(0/45/90)=(>35/>35/>35) F(0/45/90)=(>35/>35/>35)
4	D1950	1950	3	M1, M14	C/ E/ H/ I 45	10	C(45)=(0,087); E(45)=(0,084); H(45)=(0,087); I(45)=(0,081)	C(45)=(0,044); E(45)=(0,043); H(45)=(0,044); I(45)=(0,042)	0,2	C(45)=12,3 E(45)=12,0 H(45)=11,5 I(45)=12,3	C(45)>35 E(45)>35 H(45)>35 I(45)>35
5	D1950	1950	14	M1	A/ B/ C/ D/ E/ F/ H/ I 0/ 90	5	A(0/90)=(2,05/1,94); B(0/90)=(1,90/1,94); C(0/90)=(1,97/1,95); D(0/90)=(1,35/1,15); E(90)=(1,91); F(0/90)=(2,05/1,96); H(0/90)=(1,33/2,07); I(0/90)=(1,84/2,02)	A(0/90)=(0,90/0,87); B(0/90)=(0,85/0,86); C(0/90)=(0,87/0,86); D(0/90)=(0,67/0,58); E(90)=(0,86); F(0/90)=(0,90/0,87); H(0/90)=(0,86/0,92); I(0/90)=(0,85/0,88)	0,2	A(0/90)=(12,2/12,1) B(0/90)=(12,2/12,2) C(0/90)=(12,3/12,3) D(0/90)=(11,7/11,6) E(90)=(11,7) F(0/90)=(12,2/12,2) H(0/90)=(12,0/11,9) I(0/90)=(12,0/12,0)	A(0/90)=(>35/>35) B(0/90)=(>35/>35) C(0/90)=(>35/>35) D(0/90)=(>35/>35) E(90)=(>35) F(0/90)=(>35/>35) H(0/90)=(>35/>35) I(0/90)=(>35/>35)

N°	Antenne Annexe F	f_1 [MHz]	P_f [dBm]	Modulation	Angle d'emplacement [°]	d [mm]	D_{AS} 1g,cal [W/kg]	D_{AS} 10g,cal [W/kg]	U_{ref} ($k=1$) [dB]	Lower_RL_limit [dB]	Upper_RL_limit [dB]
6	D1950	1950	24	M1	A-I 0/ 45/ 90	25	A(0/45/90)=(1,79/1,68/1,75); B(0/45/90)=(1,77/1,85/1,74); C(0/45/90)=(1,75/1,91/1,84); D(0/45/90)=(1,39/1,38/1,37); E(0/45/90)=(1,78/1,87/1,72); F(0/45/90)=(1,62/1,76/1,84); G(0/45/90)=(1,69/1,75/1,87); H(0/45/90)=(1,68/1,99/1,87); I(0/45/90)=(2,05/1,85/1,57)	A(0/45/90)=(1,08/1,03/1,07); B(0/45/90)=(1,07/1,11/1,05); C(0/45/90)=(1,06/1,14/1,10); D(0/45/90)=(0,85/0,85/0,84); E(0/45/90)=(1,07/1,12/1,04); F(0/45/90)=(1,00/1,08/1,12); G(0/45/90)=(1,05/1,07/1,14); H(0/45/90)=(1,03/1,18/1,11); I(0/45/90)=(1,27/1,15/0,96)	0,2	A(0/45/90)=(10,1/10,1/10,1) B(0/45/90)=(10,0/10,0/9,9) C(0/45/90)=(11,0/10,8/10,9) D(0/45/90)=(9,7/9,6/9,6) E(0/45/90)=(10,0/10,0/10,2) F(0/45/90)=(10,2/10,2/10,4) G(0/45/90)=(10,3/10,1/10,2) H(0/45/90)=(10,2/10,1/10,0) I(0/45/90)=(10,5/10,5/10,5)	A(0/45/90)=(24,9/26,9/26,5) B(0/45/90)=(23,6/22,8/21,8) C(0/45/90)=(>35/>35/>35) D(0/45/90)=(18,8/18,4/18,2) E(0/45/90)=(22,3/22,0/28,8) F(0/45/90)=(>35/30,8/>35) G(0/45/90)=(>35/25,1/>35) H(0/45/90)=(>35/25,1/23,9) I(0/45/90)=(>35/>35/>35)
7	D2450	2450	20	M1, M3, M6, M12, M14	A/ B/ D/ F 0/ 90	10	A(0/90)=(5,46/5,35); B(0/90)=(5,40/5,38); D(0/90)=(3,39/3,22); F(0/90)=(5,32/5,48)	A(0/90)=(2,46/2,40); B(0/90)=(2,51/2,43); D(0/90)=(1,65/1,60); F(0/90)=(2,40/2,49)	0,2	A(0/90)=(12,1/12,1) B(0/90)=(12,3/12,3) D(0/90)=(10,7/10,7) F(0/90)=(12,1/12,1)	A(0/90)=(>35/>35) B(0/90)=(>35/>35) D(0/90)=(>35/>35) F(0/90)=(>35/>35)
8	D2450	2450	10	M1	C/ E/ G/ H/ I 0/ 90	10	C(0/90)=(0,53/0,55); E(0/90)=(0,52/0,52); G(0/90)=(0,46/0,49); H(0/90)=(0,51/0,56); I(0/90)=(0,56/0,53)	C(0/90)=(0,24/0,25); E(0/90)=(0,24/0,24); G(0/90)=(0,23/0,23); H(0/90)=(0,24/0,27); I(0/90)=(0,26/0,24)	0,2	C(0/90)=(12,3/12,3) E(0/90)=(12,23/12,2) G(0/90)=(11,8/11,9) H(0/90)=(11,3/11,3) I(0/90)=(12,1/12,1)	C(0/90)=(>35/>35) E(0/90)=(>35/>35) G(0/90)=(>35/>35) H(0/90)=(>35/>35) I(0/90)=(>35/>35)
9	D5000	5800	24	M1, M4, M5, M14	A/ B/ D/ F 0/ 45/ 90	10	A(0/45/90)=(21,1/19,7/20,4); B(0/45/90)=(21,1/21,2/20,4); D(0/45/90)=(15,5/15,7/16,1); F(0/45/90)=(20,8/20,9/20,8)	A(0/45/90)=(5,2/5/5,1); B(0/45/90)=(6,4/5,3/5,2); D(0/45/90)=(5,0/5,1/5,3); F(0/45/90)=(5,2/5,2/5,2)	0,2	A(0/45/90)=(12,2/12,2/12,2) B(0/45/90)=(12,3/12,3/12,3) D(0/45/90)=(11,0/11,0/11,0) F(0/45/90)=(12,1/12,0/12,12)	A(0/45/90)=(>35/>35/>35) B(0/45/90)=(>35/>35/>35) D(0/45/90)=(>35/>35/>35) F(0/45/90)=(>35/>35/>35)
10	D5000	5800	5	M5	C/ E/ G/ H/ I 0/ 45/ 90	10	C(0/45/90)=(0,253/0,262/0,266); E(0/45/90)=(0,269/0,266/0,250); G(0/45/90)=(0,256/0,262/0,266); H(0/45/90)=(0,250/0,250/0,272); I(0/45/90)=(0,269/0,266/0,269)	C(0/45/90)=(0,063/0,066/0,066); E(0/45/90)=(0,070/0,066/0,063); G(0/45/90)=(0,070/0,073/0,073); H(0/45/90)=(0,063/0,060/0,066); I(0/45/90)=(0,066/0,066/0,066)	0,2	C(0/45/90)=(12,3/12,3/12,3) E(0/45/90)=(11,8/11,8/11,9) G(0/45/90)=(11,9/11,9/12,0) H(0/45/90)=(11,345/11,323/11,351) I(0/45/90)=(11,8/11,8/11,8)	C(0/45/90)=(>35/>35/>35) E(0/45/90)=(>35/>35/>35) G(0/45/90)=(>35/>35/>35) H(0/45/90)=(>35/>35/>35) I(0/45/90)=(>35/>35/>35)
11	D5000	5800	24	M1	A/ B/ D/ F 0/ 45/ 90	5	A(0/45/90)=(69/5/69/7/67/4); B(0/45/90)=(63/9/7,3/67/4/9); D(0/45/90)=(25/2/27/18/25/8); F(0/45/90)=(67/4/75/0/75/0)	A(0/45/90)=(13,2/13,2/13,1); B(0/45/90)=(13,0/14,0/14,1); D(0/45/90)=(7,2/7,8/7,4); F(0/45/90)=(13,1/13,9/14,0)	0,2	A(0/45/90)=(11,9/11,9/11,9) B(0/45/90)=(12,1/12,1/12,1) D(0/45/90)=(10,6/10,6/10,5) F(0/45/90)=(11,6/11,6/11,6)	A(0/45/90)=(>35/>35/>35) B(0/45/90)=(>35/>35/>35) D(0/45/90)=(>35/>35/>35) F(0/45/90)=(>35/>35/>35)

N°	Antenne Annexe F	f_1 [MHz]	P_f [dBm]	Modulation	Angle d'emplacement [°]	d [mm]	D_{AS} $1g, cal$ [W/kg]	D_{AS} $10g, cal$ [W/kg]	U_{exi} ($k=1$) [dB]	Lower_RL_limit [dB]	Upper_RL_limit [dB]
12	D5000	5800	14	M1	C/ E/ G/ H/ I 0/ 45/ 90	25	C(0/45/90)=(0,41/0,43/0,43); E(0/45/90)=(0,41/0,40/0,38); G(0/45/90)=(0,37/0,39/0,40); H(0/45/90)=(0,38/0,41/0,42); I(0/45/90)=(0,39/0,39/0,39)	C(0/45/90)=(0,15/0,15/0,15); E(0/45/90)=(0,15/0,14/0,14); G(0/45/90)=(0,14/0,15/0,15); H(0/45/90)=(0,14/0,14/0,15); I(0/45/90)=(0,15/0,14/0,14)	0,2	C(0/45/90)=(9,9/10,0/10,0) E(0/45/90)=(9,7/9,6/9,7) G(0/45/90)=(10,0/10,1/10,2) H(0/45/90)=(9,9/9,9/9,8) I(0/45/90)=(10,0/10,1/10,2)	C(0/45/90)=(21,8/22,1/23,0) E(0/45/90)=(18,9/17,1/18,3) G(0/45/90)=(23,0/26,0/23,5) H(0/45/90)=(20,6/20,8/20,4) I(0/45/90)=(23,7/26,5/32,2)
13	D835	835	20	M1	A/ B/ D/ F 0/ 90	15	A(0/90)=(0,91/0,90); B(0/90)=(0,98/0,97); D(0/90)=(0,82/0,78); F(0/90)=(0,89/0,98)	A(0/90)=(0,595/0,602); B(0/90)=(0,644/0,637); D(0/90)=(0,557/0,528); F(0/90)=(0,597/0,649)	0,2	A(0/90)=(9,2/9,2); B(0/90)=(10,0/9,8); D(0/90)=(11,0/11,0); F(0/90)=(9,2/10,1)	A(0/90)=(15,7/15,4); B(0/90)=(22,9/19,2); D(0/90)>35; F(0/90)=(15,4/24,1)
14	D900	900	30	M1	C/ E/ H/ I 0/ 90	15	C(0/90)=(10,34/11,15); E(0/90)=(11,46/10,86); H(0/90)=(10,40/11,12); I(0/90)=(11,09/9,26)	C(0/90)=(6,74/7,25); E(0/90)=(7,39/7,06); H(0/90)=(6,91/7,21); I(0/90)=(7,20/6,03)	0,2	C(0/90)=(9,7/10,1) E(0/90)=(11,5/10,5) H(0/90)=(10,1/11,7) I(0/90)=(10,7/11,0)	C(0/90)=(18,7/27,0) E(0/90)=(20,3/20,3) H(0/90)=(26,5/23,5) I(0/90)=(20,3/20,3)
15	D900	900	30	M1	G 0/ 90	25	G(0/90)=(5,76/7,10);	G(0/90)=(4,04/8,0);	0,2	G(0/90)=(11,6/11,6)	G(0/90)=(20,3/20,3)
16	D1450	1450	10	M1	A/ B/ D/ F 0/ 90	10	A(0/90)=(0,29/0,29); B(0/90)=(0,30/0,30); D(0/90)=(0,23/0,23); F(0/90)=(0,28/0,30)	A(0/90)=(0,16/0,16); B(0/90)=(0,17/0,16); D(0/90)=(0,13/0,13); F(0/90)=(0,16/0,17)	0,2	A(0/90)=(12,0/12,0) B(0/90)=(12,1/12,1) D(0/90)=(11,6/11,5) F(0/90)=(12,0/12,0)	A(0/90)=(20,3/20,3) B(0/90)=(20,3/20,3) D(0/90)=(20,3/20,3) F(0/90)=(20,3/20,3)
17	D1750	1750	30	M1	C/ E/ H/ I O/ 90	10	C(0/90)=(37,69/39,28); E(0/90)=(37,18/37,89); H(0/90)=(36,72/39,63); I(0/90)=(39,50/34,40)	C(0/90)=(19,70/20,52); E(0/90)=(19,59/19,93); H(0/90)=(19,35/20,57); I(0/90)=(21,03/17,92)	0,2	C(0/90)=(11,2/12,4) E(0/90)=(12,9/11,9) H(0/90)=(10,9/12,4) I(0/90)=(10,7/12,2)	C(0/90)=(20,3/20,3) E(0/90)=(20,3/20,3) H(0/90)=(20,3/20,3) I(0/90)=(20,3/20,3)
18	D2300	2300	10	M1	A/ B/ D/ F 0/ 90	10	A(0/90)=(0,51/0,50); B(0/90)=(0,51/0,50); D(0/90)=(0,33/0,33); F(0/90)=(0,49/0,51)	A(0/90)=(0,24/0,23); B(0/90)=(0,24/0,24); D(0/90)=(0,17/0,17); F(0/90)=(0,23/0,24)	0,2	A(0/90)=(11,9/12,0) B(0/90)=(12,1/12,0) D(0/90)=(11,8/11,6) F(0/90)=(11,9/11,9)	A(0/90)=(20,3/20,3) B(0/90)=(20,3/20,3) D(0/90)=(20,3/20,3) F(0/90)=(20,3/20,3)
19	D2600	2600	20	M1	C/ E/ G/ H/ I 0/ 90	10	C(0/90)=(5,63/5,88); E(0/90)=(5,72/5,56); G(0/90)=(5,21/5,52); H(0/90)=(5,41/5,95); I(0/90)=(6,02/5,58)	C(0/90)=(2,42/2,53); E(0/90)=(2,48/2,43); G(0/90)=(2,40/2,51); H(0/90)=(2,32/2,53); I(0/90)=(2,64/2,39)	0,2	C(0/90)=(12,3/12,3) E(0/90)=(12,2/12,2) G(0/90)=(11,8/11,8) H(0/90)=(11,4/11,4) I(0/90)=(12,1/12,1)	C(0/90)=(20,3/20,3) E(0/90)=(20,3/20,3) G(0/90)=(20,3/20,3) H(0/90)=(20,3/20,3) I(0/90)=(20,3/20,3)

N°	Antenne Annexe F	f_1 [MHz]	P_f [dBm]	Modulation	Angle d'emplacement [°]	d [mm]	D_{AS} 1g,cal [W/kg]	D_{AS} 10g,cal [W/kg]	U_{exi} ($k=1$) [dB]	Lower_RL_limit [dB]	Upper_RL_limit [dB]
20	D3700	3700	10	M1	A/B/ D/ F 0/ 90	10	A(0/90)=(0,72/0,68); B(0/90)=(0,72/0,70); D(0/90)=(0,44/0,41); F(0/90)=(0,71/0,72)	A(0/90)=(0,24/0,24); B(0/90)=(0,25/0,24); D(0/90)=(0,17/0,16); F(0/90)=(0,24/0,25)	0,2	A(0/90)=(11,8/11,9) B(0/90)=(12,2/12,2) D(0/90)=(11,6/11,6) F(0/90)=(12,1/12,1)	A(0/90)=(>35/>35) B(0/90)=(>35/>35) D(0/90)=(>35/>35) F(0/90)=(>35/>35)
21	D5000	5200	10	M1	C/ E/ G/ H/ I 0/ 90	10	C(0/90)=(0,839/0,889); E(0/90)=(0,893/0,829); G(0/90)=(0,847/0,884); H(0/90)=(0,827/0,898); I(0/90)=(0,889/0,893)	C(0/90)=(0,216/0,227); E(0/90)=(0,232/0,219); G(0/90)=(0,235/0,244); H(0/90)=(0,209/0,224); I(0/90)=(0,231/0,229)	0,2	C(0/90)=(12,3/12,3) E(0/90)=(11,6/11,6) G(0/90)=(11,4/11,4) H(0/90)=(10,7/10,7) I(0/90)=(11,5/11,5)	C(0/90)=(>35/>35) E(0/90)=(>35/>35) G(0/90)=(>35/>35) H(0/90)=(>35/>35) I(0/90)=(>35/>35)
22	D5000	5400	5	M1	A/ B/ D/ F 0/ 90	10	A(0/90)=(0,273/0,261); B(0/90)=(0,276/0,266); D(0/90)=(0,190/0,193); F(0/90)=(0,272/0,272)	A(0/90)=(0,069/0,068); B(0/90)=(0,070/0,068); D(0/90)=(0,062/0,063); F(0/90)=(0,069/0,069)	0,2	A(0/90)=(12,0/12,0) B(0/90)=(12,1/12,1) D(0/90)=(10,6/10,7) F(0/90)=(12,0/12,0)	A(0/90)=(>35/>35) B(0/90)=(>35/>35) D(0/90)=(>35/>35) F(0/90)=(>35/>35)
23	D5000	5500	24	M1	C/ E/ G/ H/ I 0/ 90	10	C(0/90)=(20,6/21,8); E(0/90)=(21,9/20,4); G(0/90)=(20,8/21,7); H(0/90)=(20,4/22,1); I(0/90)=(21,8/21,8)	C(0/90)=(5,2/5,5); E(0/90)=(5,6/5,3); G(0/90)=(5,7/5,9); H(0/90)=(5,1/5,4); I(0/90)=(5,6/5,5)	0,2	C(0/90)=(12,3/12,3) E(0/90)=(11,6/11,6) G(0/90)=(11,6/11,6) H(0/90)=(11,0/11,0) I(0/90)=(11,804/11,828)	C(0/90)=(>35/>35) E(0/90)=(>35/>35) G(0/90)=(>35/>35) H(0/90)=(>35/>35) I(0/90)=(>35/>35)
24	D5000	5600	14	M1	A/ B/ D/ F 0/ 90	10	A(0/90)=(2,14/2,04); B(0/90)=(2,15/2,07); D(0/90)=(1,53/1,57); F(0/90)=(2,12/2,12)	A(0/90)=(0,54/0,52); B(0/90)=(0,55/0,53); D(0/90)=(0,49/0,52); F(0/90)=(0,53/0,53)	0,2	A(0/90)=(12,1/12,0) B(0/90)=(12,1/12,1) D(0/90)=(10,7/10,7) F(0/90)=(12,0/12,0)	A(0/90)=(>35/>35) B(0/90)=(>35/>35) D(0/90)=(>35/>35) F(0/90)=(>35/>35)
25	VPIFA- 750	750	24	M1	A/ B/ C/ E/ F/ I G/ H/ I 0/ 90	2	A(0/90)=(3,39/3,28); B(0/90)=(3,27/3,30); C(0/90)=(3,25/3,31); E(0/90)=(3,33/3,33); F(0/90)=(3,28/3,35); G(0/90)=(3,34/3,37); H(0/90)=(3,26/3,46); I(0/90)=(2,87/3,01)	A(0/90)=(0,91/0,88); B(0/90)=(0,89/0,90); C(0/90)=(0,87/0,89); E(0/90)=(0,92/0,91); F(0/90)=(0,89/0,91); G(0/90)=(0,96/0,96); H(0/90)=(0,88/0,92); I(0/90)=(0,81/0,84)	0,3	A(0/90)=(7,2/7,2) B(0/90)=(6,9/6,9) C(0/90)=(7,3/7,4) E(0/90)=(7,3/7,3) F(0/90)=(7,0/7,0) G(0/90)=(9,0/9,1) H(0/90)=(8,4/8,6) I(0/90)=(8,9/8,9)	A(0/90)=(9,7/9,8) B(0/90)=(9,2/9,2) C(0/90)=(10,0/10,1) E(0/90)=(9,9/10,0) F(0/90)=(9,4/9,3) G(0/90)=(14,7/15,2) H(0/90)=(12,6/13,3) I(0/90)=(14,4/14,3)

N°	Antenne Annexe F	f_1 [MHz]	P_f [dBm]	Modulation	Angle d'emplacement [°]	d [mm]	D_{AS} $1g, cal$ [W/kg]	D_{AS} $10g, cal$ [W/kg]	U_{exi} ($k=1$) [dB]	Lower_RL_limit [dB]	Upper_RL_limit [dB]
26	VPIFA- 835	835	24	M1	A/ B/ C/ E/ F/ G/ H/ I 0/ 90	2	A(0/90)=(3,39/ 3,27); B(0/90)=(3,26/ 3,28); C(0/90)=(3,20/ 3,22); E(0/90)=(3,23/ 3,23); F(0/90)=(3,21/ 3,23); G(0/90)=(3,24/ 3,31); H(0/90)=(3, 14/ 3,36); I(0/90)=(2,85/ 2,98)	A(0/90)=(0,93/ 0,90); B(0/90)=(0,91/ 0,92); C(0/90)=(0,88/ 0,88); E(0/90)=(0,91/ 0,90); F(0/90)=(0,90/ 0,90); G(0/90)=(0,96/ 0,97); H(0/90)=(0,87/ 0,92); I(0/90)=(0,83/ 0,86)	0,3	A(0/90)=(8,7/8,5) B(0/90)=(9,5/9,2) C(0/90)=(8,7/9,6) E(0/90)=(10,1/9,8) F(0/90)=(9,0/9,7) G(0/90)=(9,6/9,7) H(0/90)=(9,6/9,5) I(0/90)=(9,223/9,366)	A(0/90)=(12,9/12,9) B(0/90)=(17,0/15,4) C(0/90)=(13,7/18,0) E(0/90)=(27,3/19,6) F(0/90)=(14,8/15,0) G(0/90)=(18,1/19,0) H(0/90)=(17,7/17,2) I(0/90)=(15,7/16,5)
27	VPIFA- 1950	1950	24	M1	A/ B/ C/ E/ F/ G/ H/ I 0/ 90	2	A(0/90)=(2,27/ 2,23); B(0/90)=(2,23/ 2,25); C(0/90)=(2,29/ 2,27); E(0/90)=(2,27/ 2,26); F(0/90)=(2,24/ 2,28); G(0/90)=(2,24/ 2,22); H(0/90)=(2,26/ 2,32); I(0/90)=(2,14/ 2,16)	A(0/90)=(0,90/ 0,89); B(0/90)=(0,90/ 0,90); C(0/90)=(0,90/ 0,90); E(0/90)=(0,92/ 0,91); F(0/90)=(0,90/ 0,90); G(0/90)=(0,96/ 0,97); H(0/90)=(0,88/ 0,87); I(0/90)=(0,88/ 0,87)	0,3	A(0/90)=(10,1/10,1) B(0/90)=(10,5/10,4) C(0/90)=(10,1/10,1) E(0/90)=(9,6/9,7) F(0/90)=(10,4/10,2) G(0/90)=(10,5/10,5) H(0/90)=(9,1/9,0) I(0/90)=(10,3/10,2)	A(0/90)=(26,2/25,4) B(0/90)=(>35/>35) C(0/90)=(24,9/24,0) E(0/90)=(18,1/18,7) F(0/90)=(>35/31,4) G(0/90)=(>35/>35) H(0/90)=(15,0/14,8) I(0/90)=(>35/>35)
28	VPIFA- 3700	3700	24	M1	A/ B/ C/ E/ F/ G/ H/ I 0/ 90	2	A(0/90)=(2,50/ 2,30); B(0/90)=(2,25/ 2,21); C(0/90)=(2,23/ 2,27); E(0/90)=(2,45/ 2,31); F(0/90)=(2,09/ 2,33); G(0/90)=(2,32/ 2,72); H(0/90)=(2,09/ 2,46); I(0/90)=(2,44/ 2,09)	A(0/90)=(1,02/ 1,00); B(0/90)=(0,96/ 0,97); C(0/90)=(0,98/ 0,98); E(0/90)=(1,01/ 1,00); F(0/90)=(0,97/ 0,99); G(0/90)=(0,99/ 1,05); H(0/90)=(0,97/ 1,00); I(0/90)=(0,98/ 0,96)	0,3	A(0/90)=(12,3/12,3) B(0/90)=(12,8/12,8) C(0/90)=(12,3/12,3) E(0/90)=(12,3/12,3) F(0/90)=(12,7/12,8) G(0/90)=(12,9/12,8) H(0/90)=(12,3/12,3) I(0/90)=(12,3/12,3)	A(0/90)=(>35/>35) B(0/90)=(>35/>35) C(0/90)=(>35/>35) E(0/90)=(>35/>35) F(0/90)=(>35/>35) G(0/90)=(>35/>35) H(0/90)=(>35/>35) I(0/90)=(>35/>35)

NOTE 1 Les limites du facteur d'adaptation indiquent que l'incertitude de désadaptation correspond, avec une marge de 5 %, à l'incertitude spécifiée dans le Tableau D.1 par comparaison avec le facteur d'adaptation donné dans le Tableau F.1.

NOTE 2 Les modulations sont telles que spécifiées dans le Tableau D.2.

NOTE 3 P_f est la puissance directe décrite en D.2.2.

NOTE 4 La distance (d) est spécifiée aux Figures D.8, D.9 et D.10.

Tableau D.6 – DAS maximal moyenné dans l'espace (psSAR) sur des valeurs de 1 g et 10 g pour une antenne générant deux crêtes sur le fantôme de tête gauche et de tête droite pour les antennes spécifiées à l'Annexe F. Les modulations sont telles que spécifiées dans le Tableau D.2

N°	Antenne Annexe F	f_1 [MHz]	P_f [dBm]	Modulation	Emplace- ment [°]	d [mm]	DAS_1 1g,cal [W/kg]	DAS_1 10g,cal [W/kg]	DAS_2 1g,cal [W/kg]	DAS_2 10g,cal [W/kg]	U_{tj} ($k=1$) [dB]	Lower_RL_ limit [dB]	Upper_RL_ limit [dB]
1	2-PEAK CPIFA	245 0	24	M1	Position des joues D/G	0	3,00/4, 80	1,41/1, 96	2,12/2, 91	0,94/1, 45	0,3	10,5/10,2	>35

NOTE 1 La distance (d) est indiquée à la Figure D.9. La 2-PEAK CPIFA est placée directement contre le fantôme de tête sans écarteur.

NOTE 2 Les limites du facteur d'adaptation indiquent que l'incertitude de désadaptation correspond, avec une marge de 5 %, à l'incertitude spécifiée dans le Tableau D.1 par comparaison avec le facteur d'adaptation donné dans le Tableau F.1.

NOTE 3 Les modulations sont telles que spécifiées dans le Tableau D.2.

NOTE 4 P_f est la puissance directe décrite en D.2.2.

D.4.6 Validation du système sur site après installation

La *validation du système* sur site constitue un essai de fonctionnement qui peut être réalisé par l'utilisateur pour vérifier les performances du système (après réception de l'unité de la part du fabricant du système, par exemple). Cet essai ne remplace pas les exigences des essais de validation complets (voir D.4.5) qui doivent être réalisés par le fabricant. Avec le fantôme plan, cet essai inclut les essais réalisés avec un grand nombre de niveaux, emplacements et angles de puissance aléatoire. L'ensemble d'essais de *validation du système* sur site est décrit dans le Tableau D.7 et le Tableau D.8 pour le fantôme plan et le fantôme de tête, respectivement.

Pour un système matriciel, il convient d'évaluer séparément tous les fantômes plans et fantômes de tête.

Pour un système de balayage dans lequel la sonde, les composants électroniques et le liquide équivalent aux tissus sont identiques entre les fantômes plans et les fantômes de tête, il convient d'effectuer la *validation du système* sur site dans un fantôme de tête au minimum.

Tableau D.7 – Ensemble d'essais aléatoires pour la validation du système sur site à l'aide d'un fantôme plan psSAR de 1 g et 10 g, normalisé par rapport à une puissance directe de 1 W, à l'aide des antennes spécifiées à l'Annexe F

N°	Antenne Annexe F	f_1 [MHz]	P_f , Nbre de niveaux de puissance	Modulation	Nbre d'emplacements	Nbre d'angles	s [mm]	DAS 1g,cal [W/kg]	DAS 10g,cal [W/kg]	U_{saj} ($k=1$) [dB]
1	D835	835	2	M14	5	3	15	9,56	6,22	0,2
2	D1950	1 950	2	M1	2	3	10	40,8	21,0	0,2
3	D1950	1 950	2	M1	1	1	5	65,0	29,5	0,2
4	D1950	1 950	2	M14	1	1	25	6,91	4,15	0,2
5	D2450	2 450	2	M1	1	3	5	94,0	39,0	0,2
6	D2450	2 450	2	M14	1	1	25	71,7	39,3	0,2
7	D5800	5 800	2	M1	1	3	5	274	57,0	0,2
8	D5800	5 800	2	M14	1	1	25	14,0	5,70	0,2

NOTE 1 Les modulations sont telles que spécifiées dans le Tableau D.2.

NOTE 2 Les valeurs de DAS sont normalisées par rapport à une puissance directe de 1 W (30 dBm) spécifiée en D.2.2.

NOTE 3 La distance (s) est indiquée aux Figures D.8, D.9 et D.10.

NOTE 4 Utiliser les limites du facteur d'adaptation pour la même antenne et la même distance dans le Tableau D.3.

Tableau D.8 – Ensemble d'essais pour la validation du système sur site à l'aide des fantômes de tête gauche et droite pour un psSAR de 1 g et 10 g pour les antennes spécifiées à l'Annexe F

	Antenne Annexe F	f_1 [MHz]	P_f [dBm]	Modula- tion	Angle d'empla- cement [°] pour une sonde matricielle	d [mm]	DAS 1g,cal [W/kg]	DAS 10g,cal [W/kg]	U_{cal} ($k=1$) [dB]
1	D835	835	20	M14	D/ F 0/ 90	15	D(0/90)=(0,82/0,78); F(0/90)=(0,89/0,98)	D(0/90)=(0 557/0 528); F(0/90)=(0 597/0 649)	0,2
2	D835	835	20	M1	A/ B 0/ 90	15	A(0/90)=(0,91/0,90); B(0/90)=(0,98/0,97)	A(0/90)=(0 595/0 602); B(0/90)=(0 644/0 637)	0,2
3	D1950	1950	20	M1	D/ F 0/ 45/ 90	10	D(0/45/90)=(2,91/2,87/ 2,85); F(0/45/90)=(4,00/4,14/ 4,22)	D(0/45/90)=(1,57/1,56/ 1,56); F(0/45/90)=(2,05/2,11/ 2,15)	0,2
4	D1950	1950	3	M14	C/H 45	10	C(45)=(0,087) H(45)=(0,087)	C(45)=(0,044); H(45)=(0,044)	0,2
5	D2450	2450	20	M14	D/ F 0/ 90	10	D(0/90)=(3,39/3,22); F(0/90)=(5,32/5,48)	D(0/90)=(1,65/1,60); F(0/90)=(2,40/2,49)	0,2
6	D5000	5800	24	M14	D/ F 0/ 45/ 90	10	D(0/45/90)=(15,5/15,7/ 16,1); F(0/45/90)=(20,8/20,9/ 20,8)	D(0/45/90)=(5,0/5,1/5,3); F(0/45/90)=(5,2/5,2/5,2)	0,2
7	D5000	5800	5	M1	C/H 0/ 45/ 90	10	C(0/45/90)=(0,253/0,262 /0,266); H(0/45/90)=(0,250/0,250 /0,272);	C(0/45/90)=(0,063/0,066 /0,066); H(0/45/90)=(0,063/0,060 /0,066);	0,2
8	D5000	5800	24	M1	D/ F 0/ 45/ 90	5	D(0/45/90)=(25/2/27/8/2 5/8); F(0/45/90)=(67/4/75/0/75 /0)	D(0/45/90)=(7,2/7,8/7,4); F(0/45/90)=(13,1/13,9/ 14,0)	0,2
NOTE 1 Les modulations sont telles que spécifiées dans le Tableau D.2.									
NOTE 2 P_f est la puissance directe décrite en D.2.2.									
NOTE 3 Utiliser les limites du facteur d'adaptation pour la même antenne et la même distance dans le Tableau D.5.									

D.4.7 Critères d'acceptation de la validation du système

Les critères de validation sont spécifiés pour satisfaire aux objectifs définis en D.1.2, c'est-à-dire pour vérifier que le système de mesure du DAS fonctionne dans le cadre de son utilisation spécifiée, et que l'incertitude de mesure correspondante, déterminée à l'Article 8 ne donne lieu à aucun résultat de mesure erroné pour le DAE. Chaque sous-système ou fantôme (tête gauche, tête droite, plan, etc.) est validé séparément.

NOTE 1 Les critères d'acceptation sont adaptés de l'ISO 3611:2010 [33].

Toutes les antennes de validation et configurations du Tableau D.3 et du Tableau D.4 qui relèvent des limites de la plage de fréquences de fonctionnement et se situent dans la surface du système de mesure (spécifiée par le fabricant du système) doivent être soumises à l'essai selon la procédure spécifiée à l'Article D.2. Les différences relatives $r_{s,1g,j}$ et $r_{s,10g,j}$ en % entre les cibles numériques $DAS_{1g,cal,j}$ et $DAS_{10g,cal,j}$ et les valeurs mesurées, $DAS_{1g,m,j}$ et $DAS_{10g,m,j}$, sont spécifiées dans les Formules (D.7) et (D.8):

$$r_{s,1g,j} = 100 \% \times \left(\frac{DAS_{1g,m,j} - DAS_{1g,cal,j}}{DAS_{1g,cal,j}} \right) \quad (D.7)$$

$$r_{s,10g,j} = 100 \% \times \left(\frac{DAS_{10g,m,j} - DAS_{10g,cal,j}}{DAS_{10g,cal,j}} \right) \quad (D.8)$$

où la valeur maximale $r_{sj,max}$ et la valeur minimale $r_{sj,min}$ sur l'ensemble des valeurs $r_{s,1g,j}$ et des valeurs $r_{s,10g,j}$ doivent être déterminées. L'erreur maximale admissible (mpe – *maximum permissible error*) est la plus petite tolérance (+ O , – U) qui englobe toutes les différences calculées.

Par conséquent, le système basé sur la mesure vectorielle est conforme aux critères si les conditions suivantes sont satisfaites avec les Formules (D.9) et (D.10):

$$r_{sj,max} < 2 \times u_s + 15 \% = +O \quad (D.9)$$

$$r_{sj,min} > -100 \times \frac{2 \times u_s + 15 \%}{100 + 2 \times u_s + 15 \%} = -U \quad (D.10)$$

où

u_s est l'incertitude type du système en % à $k = 1$ telle que déterminée à l'Article 8; et
15 % (c'est-à-dire u_{sa} en D.4.5) est l'incertitude élargie maximale pour $k = 2$ de la cible numérique des antennes de validation comme cela est indiqué dans le Tableau D.3 et le Tableau D.4.

NOTE 2 La Formule (D.9) limite le degré de surestimation du système, la Formule (D.10) limitant le degré de sous-estimation du système. La limite de 15 % est l'incertitude cible maximale des antennes de validation ($k = 2$). Compte tenu des raisons prudentes en faveur des systèmes matriciels, ces incertitudes sont considérées comme linéairement additives. Si l'incertitude du système est de 15 %, $+O = 45 \%$ et $-U = -31 \%$.

Si tout résultat de mesure ne satisfait pas aux conditions définies en (D.9) et (D.10), les mesurages correspondant aux points concernés doivent être répétés au moins 10 fois pour exclure les valeurs de mesure aberrantes. Calculer la moyenne μ_{sj} et l'écart type σ_{sj} à partir des 10 valeurs r_{sj} . Si $\mu_{sj} > 1$, remplacer r_{sj} par $(\mu_{sj} + 2 \sigma_{sj})$. Si $\mu_{sj} < 1$, remplacer r_{sj} par $(\mu_{sj} - 2 \sigma_{sj})$.

Tous les résultats mesurés doivent être consignés dans un rapport. Si toutes les conditions définies en (D.9) et (D.10) sont satisfaites, le système est conforme aux exigences du présent document, et les valeurs mpe (+ O , – U) obtenues à partir de la procédure de *validation du système* doivent être consignées dans tous les certificats de mesure, ainsi que l'estimation de l'incertitude pour les résultats qui peuvent être obtenus avec le système de mesure.

NOTE 3 Cette répétition supplémentaire permet de vérifier que 95 % des valeurs se situent dans les limites des critères d'acceptation et que la conformité de ces critères ne relevait pas du hasard.

Annexe E (informative)

Comparaisons interlaboratoires

E.1 Objet

Une comparaison interlaboratoires a pour objet de comparer les résultats de plusieurs laboratoires afin d'évaluer les performances des systèmes de mesure du DAS, leurs incertitudes de mesure consignées et les protocoles de mesure spécifiés dans le présent document. Le principe consiste à utiliser les dispositifs de référence et les systèmes de mesure totalement validés conformes aux exigences du présent document. Les protocoles d'évaluation du DAS décrits à l'Article 7 sont utilisés.

Les données mesurées provenant de tous les laboratoires participants sont comparées. De même, chaque laboratoire participant soumet un bilan complet d'incertitudes de mesure conformément à l'Article 8. Si les écarts entre les données mesurées entre les laboratoires peuvent être attribués aux incertitudes de mesure (voir E.5), la comparaison interlaboratoires est jugée satisfaisante. Dans le cas contraire, toutes les sources d'incertitude doivent être réévaluées selon les recommandations de l'Article 8. De plus, d'autres sources possibles d'incertitudes différentes de celles spécifiées à l'Article 8 peuvent être prises en compte.

E.2 Laboratoire de contrôle

Un laboratoire de contrôle est désigné pour assurer la maintenance des dispositifs de référence (c'est-à-dire vérifier qu'ils satisfont aux exigences données en E.3, E.4 et E.5) et la circulation des dispositifs jusqu'aux laboratoires participants. Le laboratoire de contrôle est également chargé de collecter les données de mesure.

Si cela est jugé nécessaire, il convient de renvoyer régulièrement les dispositifs de référence au laboratoire de contrôle pendant la campagne de comparaison pour vérifier le niveau de DAS, la puissance de sortie (voir E.5), la fréquence et l'état de la batterie.

NOTE Des lignes directrices générales relatives à la réalisation des essais de comparaison interlaboratoires sont données à titre d'exemple dans l'ISO/IEC 17043.

E.3 Montage du fantôme

Les fantômes et supports de dispositif exigés sont spécifiés dans le présent document. Les pièces métalliques situées à moins de 50 cm de la structure doivent être évitées. Le fantôme doit être exposé en utilisant un dispositif de référence monté selon les positions d'essai décrites à l'Article 7.

E.4 Dispositifs de référence

Les dispositifs de référence sont des dispositifs sans fil disponibles dans le commerce dont la distribution et la maintenance sont conformes à l'ISO/IEC 17043. L'ensemble de dispositifs de référence peut également être élargi pour inclure des sources non commerciales. Chaque dispositif de référence doit présenter des valeurs de DAS cibles évaluées avec des incertitudes de mesure associées inférieures à 30 % pour $k = 2$. La désignation du fournisseur des dispositifs de référence fait l'objet d'un accord entre les parties prenantes.

E.5 Réglage de la puissance

Si le dispositif de référence est équipé d'un accès d'antenne accessible, il convient que la puissance directe de l'antenne soit mesurée par le laboratoire de contrôle et chaque laboratoire participant. Le réglage de la puissance dépend de l'exactitude de mesure de la puissance de sortie du dispositif de référence utilisé pour la comparaison interlaboratoires. Chaque dispositif est contrôlé par le laboratoire participant de sorte que la puissance de sortie conduite de chaque dispositif de référence se situe dans la plage de $\pm 0,3$ dB par rapport à la valeur de référence indiquée par le laboratoire de contrôle. La puissance de sortie mesurée doit être notifiée au laboratoire de contrôle. La batterie du dispositif doit être totalement chargée.

E.6 Comparaison interlaboratoires – Procédure

Les procédures de mesure pour l'évaluation du DAS utilisées pour la comparaison interlaboratoires sont les mêmes que celles utilisées pour les essais de conformité conformément à l'Article 7. Chaque laboratoire participant doit fournir un rapport d'essai complet conformément aux exigences de l'Article 9 comprenant le *contrôle du système* (voir 7.1.2), la *validation du système* (voir l'Annexe D), les propriétés des milieux équivalents aux tissus (voir l'Article 6 et 7.1.1), les données d'incertitude du système (voir l'Article 8) et les données de puissance de sortie mesurées (voir E.5).

Les résultats de la comparaison interlaboratoires doivent être comparés à leurs valeurs cibles respectives. Chaque résultat doit relever des limites de l'incertitude élargie composée de la valeur mesurée et de la valeur cible, c'est-à-dire la somme quadratique de l'incertitude de mesure élargie ($k = 2$) et de l'incertitude de la valeur cible élargie ($k = 2$). Les rapports des différents laboratoires doivent être évalués et comparés par le laboratoire de contrôle désigné.