

CONSOLIDATED VERSION

VERSION CONSOLIDÉE



**Metallic communication cable test methods –
Part 4-7: Electromagnetic compatibility (EMC) – Test method for measuring of
transfer impedance Z_T and screening attenuation a_s or coupling attenuation a_c
of connectors and assemblies up to and above 3 GHz – Triaxial tube in tube
method**

**Méthodes d'essai des câbles métalliques de communication –
Partie 4-7: Compatibilité électromagnétique (CEM) – Méthode d'essai pour
mesurer l'impédance de transfert Z_T et l'affaiblissement d'écrantage a_s ou
l'affaiblissement de couplage a_c des connecteurs et des cordons jusqu'à 3 GHz
et au-dessus – Méthode triaxiale en tubes concentriques**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2018 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 corrigenda or an amendment might have been published.

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

The stand-alone application for consulting the entire bibliographical information on IEC International Standards, Technical Specifications, Technical Reports and other documents. Available for PC, Mac OS, Android Tablets and iPad.

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 also once a month by email.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing 21 000 terms and definitions 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.

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.

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.

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

Application autonome pour consulter tous les renseignements bibliographiques sur les Normes internationales, Spécifications techniques, Rapports techniques et autres documents de l'IEC. Disponible pour PC, Mac OS, tablettes Android et iPad.

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 aussi une fois par mois par email.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient 21 000 termes et définitions 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.

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.

CONSOLIDATED VERSION

VERSION CONSOLIDÉE



**Metallic communication cable test methods –
Part 4-7: Electromagnetic compatibility (EMC) – Test method for measuring of
transfer impedance Z_T and screening attenuation a_s or coupling attenuation a_c
of connectors and assemblies up to and above 3 GHz – Triaxial tube in tube
method**

**Méthodes d'essai des câbles métalliques de communication –
Partie 4-7: Compatibilité électromagnétique (CEM) – Méthode d'essai pour
mesurer l'impédance de transfert Z_T et l'affaiblissement d'écrantage a_s ou
l'affaiblissement de couplage a_c des connecteurs et des cordons jusqu'à 3 GHz
et au-dessus – Méthode triaxiale en tubes concentriques**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 33.100.10; 33.120.10

ISBN 978-2-8322-5701-2

**Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.
Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62153-4-7:2015+AMD1:2018 CSV

REDLINE VERSION

VERSION REDLINE



**Metallic communication cable test methods –
Part 4-7: Electromagnetic compatibility (EMC) – Test method for measuring of
transfer impedance Z_T and screening attenuation a_s or coupling attenuation a_c
of connectors and assemblies up to and above 3 GHz – Triaxial tube in tube
method**

**Méthodes d'essai des câbles métalliques de communication –
Partie 4-7: Compatibilité électromagnétique (CEM) – Méthode d'essai pour
mesurer l'impédance de transfert Z_T et l'affaiblissement d'écrantage a_s ou
l'affaiblissement de couplage a_c des connecteurs et des cordons jusqu'à 3 GHz
et au-dessus – Méthode triaxiale en tubes concentriques**

CONTENTS

FOREWORD.....	5
INTRODUCTION.....	7
1 Scope.....	8
2 Normative references	8
3 Terms and definitions	8
4 Physical background.....	10
5 Principle of the test methods	10
5.1 General.....	10
5.2 Transfer impedance	12
5.3 Screening attenuation	12
5.4 Coupling attenuation	12
6 Test procedure	13
6.1 General.....	13
6.2 Tube in tube procedure	13
6.3 Test equipment	14
6.4 Calibration procedure.....	15
6.5 Connection between extension tube and device under test	15
6.6 Dynamic range respectively noise floor	15
6.7 Impedance matching.....	16
6.8 Influence of Adapters	16
7 Sample preparation	17
7.1 Coaxial connector or device	17
7.2 Balanced or multiconductor device.....	17
7.3 Cable assembly	19
8 Measurement of transfer impedance	19
8.1 General.....	19
8.2 Principle block diagram of transfer impedance	19
8.3 Measuring procedure – Influence of connecting cables	19
8.4 Measuring	20
8.5 Evaluation of test results.....	20
8.6 Test report	20
9 Screening attenuation.....	21
9.1 General.....	21
9.2 Impedance matching.....	21
9.2.1 General	21
9.2.2 Evaluation of test results with matched conditions	21
9.2.3 Measuring with mismatch.....	22
9.2.4 Evaluation of test results	22
9.3 Test report	23
10 Coupling attenuation.....	23
10.1 Procedure	23
10.2 Expression of results	23
10.3 Test report	24
10.4 Balunless procedure	25

Annex A (normative) Determination of the impedance of the inner circuit	26
Annex B (informative) Example of a self-made impedance matching adapter	27
Annex C (informative) Measurements of the screening effectiveness of connectors and cable assemblies	29
C.1 General.....	29
C.2 Physical basics	29
C.2.1 General coupling equation	29
C.2.2 Coupling transfer function.....	31
C.3 Triaxial test set-up	33
C.3.1 General	33
C.3.2 Measurement of cable assemblies	34
C.3.3 Measurement of connectors.....	35
C.4 Conclusion.....	38
Annex D (informative) Influence of contact resistances	39
Annex E (informative) Direct measurement of screening effectiveness of connectors	41
E.1 General.....	41
E.2 Test set-up	41
E.3 Construction details of test set-up.....	42
Bibliography.....	44
Figure 1 – Definition of Z_T	9
Figure 2 – Principle of the test set-up to measure transfer impedance and screening or coupling attenuation of connectors with tube in tube	11
Figure 3 – Principle of the test set-up to measure transfer impedance and screening attenuation of a cable assembly.....	14
Figure 4 – Principle set-up for verification test	16
Figure 5 – Preparation of balanced or multiconductor connectors	18
Figure 6 – Test set-up (principle) for transfer impedance measurement according to test method B of IEC 62153-4-3.....	19
Figure 7 – Measuring the screening attenuation with tube in tube with impedance matching device.....	21
Figure 8 – Measuring the coupling attenuation with tube in tube and balun	23
Figure 9 – Typical measurement of a connector of 0,04 m length with 1 m extension tube.....	24
Figure 10 – Measuring the coupling attenuation with multiport VNA (balunless procedure is under consideration).....	25
Figure B.1 – Attenuation and return loss of a 50 Ω to 5 Ω impedance matching adapter, log scale	27
Figure B.2 – Attenuation and return loss of a 50 Ω to 5 Ω impedance matching adapter, lin scale	28
Figure C.1 – Equivalent circuit of coupled transmission lines	30
Figure C.2 – Summing function S	31
Figure C.3 – Calculated coupling transfer function ($l = 1$ m; $e_{r1} = 2,3$; $e_{r2} = 1$; $Z_F = 0$).....	32
Figure C.4 – Triaxial set-up for the measurement of the screening attenuation a_S and the transfer impedance Z_T	33
Figure C.5 – Simulation of a cable assembly (logarithmic scale)	35
Figure C.6 – Simulation of a cable assembly (linear scale)	35

Figure C.7 – Triaxial set-up with extension tube for short cable assemblies	36
Figure C.8 – Triaxial set-up with extension tube for connectors.....	36
Figure C.9 – Simulation, logarithmic frequency scale	37
Figure C.10 – Measurement, logarithmic frequency scale	37
Figure C.11 – Simulation, linear frequency scale.....	37
Figure C.12 – Measurement, linear frequency scale.....	37
Figure C.13 – Simulation, logarithmic frequency scale	38
Figure C.14 – simulation, linear frequency scale	38
Figure D.1 – Contact resistances of the test set-up.....	39
Figure D.2 – Equivalent circuit of the test set-up.....	39
Figure E.1 – Principle of the test set-up to measure transfer impedance and screening attenuation of a connector	41
Figure E.2 – Principle of the test set-up to measure transfer impedance and screening attenuation of a cable assembly.....	42
Figure E.3 – Example of sample preparing.....	42
Figure E.4 – Screening tube with separate nut.....	43
Figure E.5 – Screening fixed with associated nut	43
Table 1 – IEC 62153, Metallic communication cable test methods – Test procedures with triaxial test set-up	11

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62153-4-7:2015+AMD1:2018 CSV

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

METALLIC COMMUNICATION CABLE TEST METHODS –

Part 4-7: Electromagnetic compatibility (EMC) – Test method for measuring of transfer impedance Z_T and screening attenuation a_s or coupling attenuation a_c of connectors and assemblies up to and above 3 GHz – Triaxial tube in tube method

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.

DISCLAIMER

This Consolidated version is not an official IEC Standard and has been prepared for user convenience. Only the current versions of the standard and its amendment(s) are to be considered the official documents.

This Consolidated version of IEC 62153-4-7 bears the edition number 2.1. It consists of the second edition (2015-12) [documents 46/572/FDIS and 46/585/RVD], its corrigendum 1 (2016-04) and its amendment 1 (2018-05) [documents 46/679/FDIS and 46/682/RVD]. The technical content is identical to the base edition and its amendment.

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

International Standard IEC 62153-4-7 has been prepared by IEC technical committee 46: Cables, wires, waveguides, R.F. connectors, R.F. and microwave passive components and accessories.

This second edition constitutes a technical revision.

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

The document is revised and updated. The changes of the revised IEC 62153-4-3:2013, and IEC 62153-4-4:2015, are included.

Measurements can be achieved now with mismatch at the generator site, impedance matching devices are not necessary.

This bilingual version (2016-03) corresponds to the monolingual English version, published in 2015-12.

The French version of this standard has not been voted upon.

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

A list of all parts of the IEC 62153 series, under the general title: *Metallic communication cable test methods*, can be found on the IEC website.

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

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

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

INTRODUCTION

The shielded screening attenuation test set-up according to IEC 62153-4-3 and IEC 62153-4-4 have been extended to take into account the particularities of electrically short elements like connectors and cable assemblies. Due to the concentric outer tube of the triaxial set-up, measurements are independent of irregularities on the circumference and outer electromagnetic fields.

With the use of an additional resonator tube (inner tube respectively tube in tube), a system is created where the screening effectiveness of an electrically short device is measured in realistic and controlled conditions. Also a lower cut off frequency for the transition between electrically short (transfer impedance Z_T) and electrically long (screening attenuation a_s) can be achieved.

A wide dynamic and frequency range can be applied to test even super screened connectors and assemblies with normal instrumentation from low frequencies up to the limit of defined transversal waves in the outer circuit at approximately 4 GHz.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62153-4-7:2015+AMD1:2018 CSV

METALLIC COMMUNICATION CABLE TEST METHODS –

Part 4-7: Electromagnetic compatibility (EMC) – Test method for measuring of transfer impedance Z_T and screening attenuation a_s or coupling attenuation a_c of connectors and assemblies up to and above 3 GHz – Triaxial tube in tube method

1 Scope

This triaxial method is suitable to determine the surface transfer impedance and/or screening attenuation and coupling attenuation of mated screened connectors (including the connection between cable and connector) and cable assemblies. This method could also be extended to determine the transfer impedance, coupling or screening attenuation of balanced or multipin connectors and multicore cable assemblies. For the measurement of transfer impedance and screening- or coupling attenuation, only one test set-up is needed.

2 Normative references

The following documents, in whole or in part, are normatively referenced in this document and are indispensable for its application. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC TS 62153-4-1, *Metallic communication cable test methods – Part 4-1: Electromagnetic compatibility (EMC) – Introduction to electromagnetic screening measurements*

IEC 62153-4-3, *Metallic communication cable test methods – Part 4-3: Electromagnetic Compatibility (EMC) – Surface transfer impedance – Triaxial method*

IEC 62153-4-4, *Metallic communication cable test methods – Part 4-4: Electromagnetic compatibility (EMC) – Shielded screening attenuation, test method for measuring of the screening attenuation as up to and above 3 GHz*

IEC 62153-4-15, *Metallic communication cable test methods – Part 4-15: Electromagnetic compatibility (EMC) – Test method for measuring transfer impedance and screening attenuation – or coupling attenuation with Triaxial Cell*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply.

3.1

surface transfer impedance

Z_T

for an electrically short screen, quotient of the longitudinal voltage U_1 induced to the inner circuit by the current I_2 fed into the outer circuit or vice versa, see figure 1

Note 1 to entry: The surface transfer impedance is expressed in ohms.

Note 2 to entry: The value Z_T of an electrically short screen is expressed in ohms [Ω] or decibels in relation to 1 Ω .

Note 3 to entry: See Figure 1.

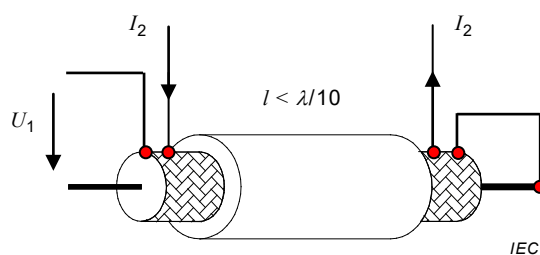


Figure 1 – Definition of Z_T

$$Z_T = \frac{U_1}{I_2} \quad (1)$$

$$Z_T \text{ dB}(\Omega) = +20 \times \log_{10} \left(\frac{|Z_T|}{1 \Omega} \right) \quad (2)$$

3.2 effective transfer impedance

Z_{TE}

effective transfer impedance, defined as:

$$Z_{TE} = \max |Z_F \pm Z_T| \quad (3)$$

where

Z_F is the capacitive coupling impedance.

3.3 screening attenuation

a_s

for electrically long devices, i.e. above the cut-off frequency, logarithmic ratio of the feeding power P_1 and the periodic maximum values of the coupled power $P_{r,\max}$ in the outer circuit

$$a_s = -10 \log_{10} \left(\text{Env} \left| \frac{P_{r,\max}}{P_1} \right| \right) \quad (4)$$

where

Env is the minimum envelope curve of the measured values in dB

Note 1 to entry: The screening attenuation of an electrically short device is defined as:

$$a_s = -20 \log_{10} \frac{150 \Omega}{Z_{TE}} \quad (5)$$

where

150 Ω is the standardized impedance of the outer circuit.

3.4 coupling attenuation

a_C

for a screened balanced device, the sum of the unbalance attenuation a_U of the symmetric pair and the screening attenuation a_S of the screen of the device under test

Note 1 to entry: For electrically long devices, i.e. above the cut-off frequency, the coupling attenuation a_C is defined as the logarithmic ratio of the feeding power P_1 and the periodic maximum values of the coupled power $P_{r,max}$ in the outer circuit.

3.5 coupling length

length of cable inside the test jig between the end of the extension tube and the screening cap (see Figure 2)

Note 1 to entry: the coupling length is electrically short, if

$$\lambda_o/l > 10 \cdot \sqrt{\varepsilon_{r1}} \text{ or } f < \frac{c_o}{10 \cdot l \cdot \sqrt{\varepsilon_{r1}}} \quad (6)$$

or electrically long, if

$$\lambda_o/l \leq 2 \cdot \left| \sqrt{\varepsilon_{r1}} - \sqrt{\varepsilon_{r2}} \right| \text{ or } f > \frac{c_o}{2 \cdot l \cdot \left| \sqrt{\varepsilon_{r1}} - \sqrt{\varepsilon_{r2}} \right|} \quad (7)$$

where

- l is the effective coupling length in m;
- λ_o is the free space wave length in m;
- ε_{r1} is the resulting relative permittivity of the dielectric of the cable;
- ε_{r2} is the resulting relative permittivity of the dielectric of the secondary circuit;
- f is the frequency in Hz;
- c_o is the velocity of light in free space.

3.6 device under test

device consisting of the mated connectors with their attached cables

4 Physical background

See respective clauses of IEC TS 62153-4-1, IEC 62153-4-3, IEC 62153-4-4 and Annexes C and D.

5 Principle of the test methods

5.1 General

The IEC 62153-4-x series describes different test procedures to measure screening effectiveness on communication cables, connectors and components with triaxial test set-up.

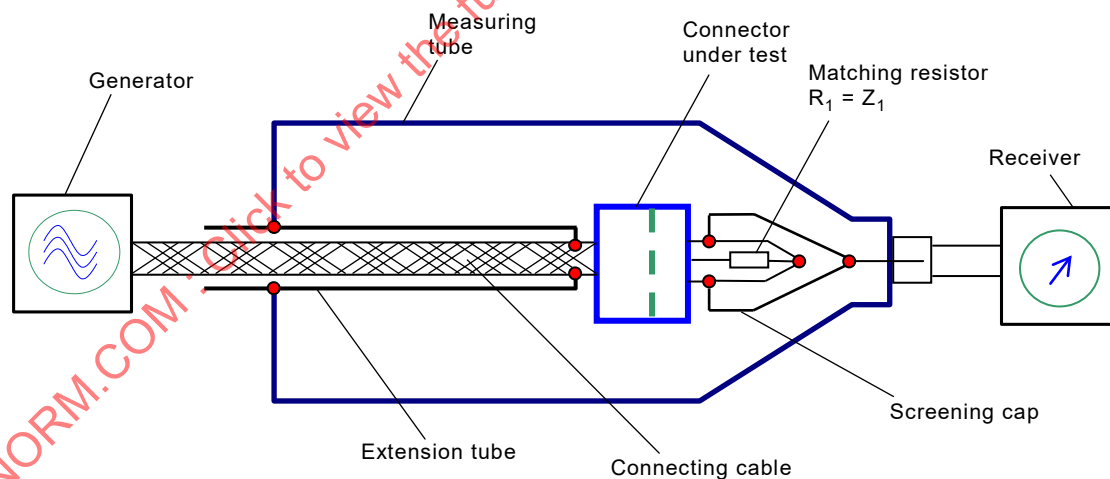
Table 1 gives an overview about IEC 62153-4-x test procedures with triaxial test set-up.

**Table 1 – IEC 62153, Metallic communication cable test methods –
Test procedures with triaxial test set-up**

	Metallic Communication Cable test methods – Electromagnetic compatibility (EMC)
IEC TR 62153-4-1 Ed.3	Introduction to electromagnetic (EMC) screening measurements
IEC 62153-4-3 Ed.2	Surface transfer impedance – Triaxial method
IEC 62153-4-4Ed.2	Shielded screening attenuation, test method for measuring of the screening attenuation a_s up to and above 3 GHz
IEC 62153-4-7	Shielded screening attenuation test method for measuring the transfer impedance Z_T and the screening attenuation a_s or the coupling attenuation a_c of RF-connectors and assemblies up to and above 3 GHz, tube in tube method
IEC 62153-4-9	Coupling attenuation of screened balanced cables, triaxial method
IEC 62153-4-10	Shielded screening attenuation test method for measuring the screening effectiveness of feedtroughs and electromagnetic gaskets double coaxial method
IEC 62153-4-15	Test method for measuring transfer impedance and screening attenuation – or coupling attenuation with triaxial cell (under consideration)
IEC 62153-4-16	Technical report on the relationship between transfer impedance and screening attenuation (under consideration)

Usually RF connectors have mechanical dimensions in the longitudinal axis in the range of 20 mm to maximum 50 mm. With the definition of electrical short elements we get cut off or corner frequencies for the transition between electrically short and long elements of about 1 GHz or higher for usual RF-connectors.

To measure the screening attenuation instead of transfer impedance also in the lower frequency range, the tube in tube procedure was designed. The electrically length of the RF-connector is extended by a RF-tightly closed metallic extension tube (tube in tube). See Figure 2.



IEC

**Figure 2 – Principle of the test set-up to measure transfer impedance
and screening or coupling attenuation of connectors with tube in tube**

The tube in tube test set up is based on the triaxial system according to IEC 62153-4-3 and IEC 62153-4-4 consisting of the DUT, a solid metallic tube and (optional) a RF-tight extension tube. The matched device under test, DUT, which is fed by a generator, forms the disturbing circuit which may also be designated as the inner or the primary circuit. The connecting cables to the DUT are additionally screened by the tube in tube.

The disturbed circuit, which may also be designated as the outer or the second circuit, is formed by the outer conductor of the device under test (and the extension tube), connected to the connecting cable and a solid metallic tube, having the DUT under test in its axis.

5.2 Transfer impedance

The test determines the screening effectiveness of a shielded cable by applying a well-defined current and voltage to the screen of the cable, the assembly or the device under test and measuring the induced voltage in secondary circuit in order to determine the surface transfer impedance. This test measures only the magnetic component of the transfer impedance. To measure the electrostatic component (the capacitance coupling impedance), the method described in IEC 62153-4-8 should be used.

The triaxial method of the measurement is in general suitable in the frequency range up to 30 MHz for a 1 m sample length and 100 MHz for a 0,3 m sample length, which corresponds to an electrical length less than 1/6 of the wavelength in the sample. A detailed description is found in Clause 9 of IEC TS 62153-4-1:2014 as well as in IEC 62153-4-3.

5.3 Screening attenuation

The disturbing or primary circuit is the matched cable, assembly or device under test. The disturbed or secondary circuit consists of the outer conductor (or the outermost layer in the case of multiscreen cables or devices) of the cable or the assembly or the device under test and a solid metallic housing, having the device under test in its axis (see Figure 3).

The voltage peaks at the far end of the secondary circuit have to be measured. The near end of the secondary circuit is short-circuited. For this measurement, a matched receiver is not necessary. The expected voltage peaks at the far end are not dependent on the input impedance of the receiver, provided that it is lower than the characteristic impedance of the secondary circuit. However, it is an advantage to have a low mismatch, for example, by selecting of housings of sufficient size. A detailed description could be found in Clause 10 of IEC TS 62153-4-1:2014 as well as in IEC 62153-4-4.

5.4 Coupling attenuation

Balanced cables, connectors, assemblies or devices which are driven in the differential mode may radiate a small part of the input power, due to irregularities in the symmetry. For unscreened balanced cables, connectors, assemblies or devices, this radiation is related to the unbalance attenuation a_u . For screened balanced cables, connectors or assemblies, the unbalance causes a current in the screen which is then coupled by the transfer impedance and capacitive coupling impedance into the outer circuit. The radiation is attenuated by the screen of the component and is related to the screening attenuation a_s .

Consequently the effectiveness against electromagnetic disturbances of shielded balanced cables, connectors or assemblies is the sum of the unbalance attenuation a_u of the pair and the screening attenuation a_s of the screen. Since both quantities usually are given in a logarithmic ratio, they may simply be added to form the coupling attenuation a_c :

$$a_c = a_u + a_s \quad (8)$$

Coupling attenuation a_c is determined from the logarithmic ratio of the feeding power P_1 and the periodic maximum values of the power $P_{r,max}$ (which may be radiated due to the peaks of voltage U_2 in the outer circuit):

$$a_c = -10 \log_{10} \left(\text{Env} \left| \frac{P_{r,max}}{P_1} \right| \right) \quad (9)$$

where

Env is the minimum envelope curve of the measured values in dB.

The relationship of the radiated power P_r to the measured power P_2 received on the input impedance R is:

$$\frac{P_s}{P_2} = \frac{P_{S\max}}{P_{2\max}} = \frac{R}{2 \cdot Z_s} \quad (10)$$

There will be a variation of the voltage U_2 on the far end, caused by the electromagnetic coupling through the screen and superposition of the partial waves caused by the surface transfer impedance Z_T , the capacitive coupling impedance Z_F (travelling to the far and near end) and the totally reflected waves from the near end.

To feed the balanced device under test, a differential mode signal is necessary. This can be achieved with a two-port network analyser (generator and receiver) and a balun or a multiport network analyser. The procedure to measure coupling attenuation with a multiport network analyser is under consideration.

6 Test procedure

6.1 General

The measurements shall be carried out at the temperature of $(23 \pm 3) ^\circ\text{C}$. The test method determines the transfer impedance or the screening attenuation or the coupling attenuation of a DUT by measuring in a triaxial test set-up according to IEC 62153-4-3 and IEC 62153-4-4.

6.2 Tube in tube procedure

Usually RF connectors have mechanical dimensions in the longitudinal axis in the range of 20 mm to maximum 50 mm. With the definition of electrically short elements, we get cut off or corner frequencies or corner for the transition between electrically short and long elements of about 1 GHz or higher for usual RF-connectors.

In the frequency range up to the cut off frequency, where the device under test (DUT) is electrically short, the transfer impedance of the DUT can be measured. For frequencies above the cut-off frequency, where the DUT is electrically long, the screening attenuation can be measured.

By extending the electrically length of the RF-connector by a RF-tightly closed metallic extension tube (tube in tube), the tested combination becomes electrically long and the cut-off frequency is moved towards the lower frequency range. In this way, also in the lower frequency range, the screening attenuation may be measured and the effective transfer impedance of electrical short devices calculated.

The test set up is a triaxial system consisting of the DUT, a solid metallic tube and a RF-tight extension tube. The matched device under test, DUT, which is fed by a generator forms the disturbing circuit which may also be designated as the inner or the primary circuit.

The disturbed circuit, which may also be designated as the outer or the second circuit, is formed by the outer conductor of the device under test, connected to the extension tube and a solid metallic tube having the DUT under test in its axis.

The principle of the test set-up is shown in Figure 2 and Figure 3. The set-up is the same for measuring the transfer impedance and the screening- or the coupling attenuation, whereas the length of the inner and the outer tube may vary.

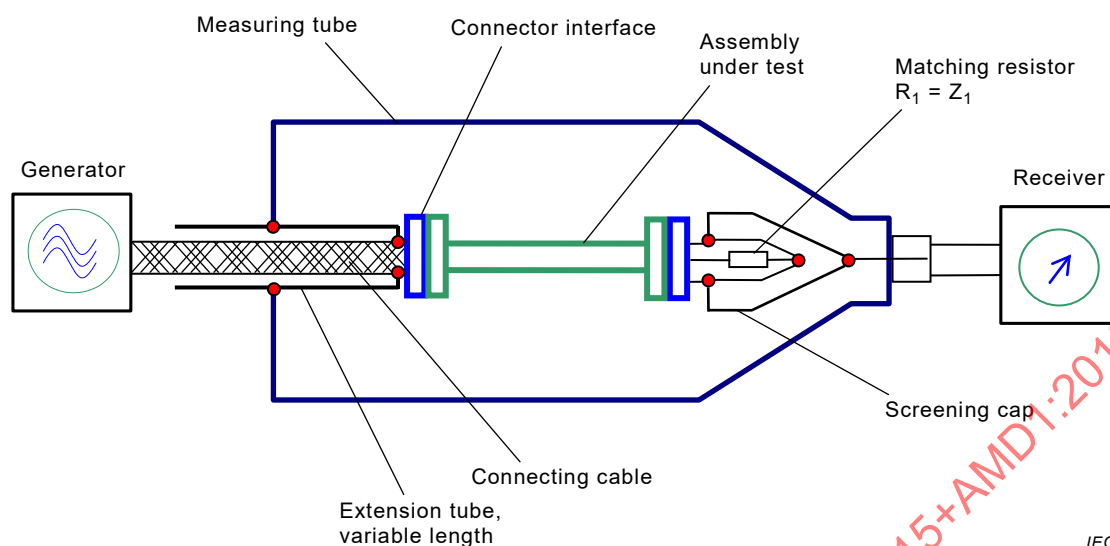


Figure 3 – Principle of the test set-up to measure transfer impedance and screening attenuation of a cable assembly

The voltage ratio of the voltage at the near end (U_1) of the inner circuit (generator) and the voltage at the far end (U_2) of the secondary circuit (receiver) shall be measured (U_1/U_2). The near end of the secondary circuit is short-circuited.

Depending on the electrical length of the tested combination, the DUT and the extension tube, the result may be expressed either by the transfer impedance, the effective transfer impedance or the screening attenuation (or the coupling attenuation).

For this measurement, a matched receiver is not necessary. The likely voltage peaks at the far end are not dependant on the input impedance of the receiver, provided that it is lower than the characteristic impedance of the secondary circuit. However, it is an advantage to have a low mismatch, for example by selecting a range of tube diameters for several sizes of coaxial cables.

6.3 Test equipment

The principle of the test set-up is shown in Figure 2 and 3 and consists of:

- an apparatus of a triple coaxial form with a length sufficient to produce a superimposition of waves in narrow frequency bands which enable the envelope curve to be drawn,
- tubes with variable lengths, e.g. by different parts of the tubes and/or by a movable tube in tube. In case of larger connectors or components, the triaxial tubes may be replaced by a triaxial cell according to IEC 62153-15.
- a RF-tight extension tube (tube in tube), variable in length, which should preferably have a diameter such that the characteristic impedance to the outer tube is 50Ω or equal to the nominal characteristic wave impedance of the network analyser or the generator and receiver. The material of the extension tube shall be non ferromagnetic and well conductive (copper or brass) and shall have a thickness ≥ 1 mm such that the transfer impedance is negligible compared to the transfer impedance of the device under test,
- a signal generator and a receiver with a calibrated step attenuator and a power amplifier if necessary for very high screening attenuation. The generator and the receiver may be included in a network analyser.
- a balun for impedance matching of the unbalanced generator output signal to the characteristic wave impedance of balanced cables for measuring the coupling attenuation. Requirements for the balun are given in IEC 62153-4-9:2008, 6.2. Alternatively to a balun, a VNA with mixed mode option may be used (procedures with mixed mode VNAs are under consideration).

Optional equipment is:

- time domain reflectometer (TDR) with a rise time of less than 200 ps or network analyser with maximum frequency up to 5 GHz and time domain capability.

6.4 Calibration procedure

The calibration shall be established at the same frequency points at which the measurement is done, i.e. in a logarithmic frequency sweep over the whole frequency range, which is specified for the transfer impedance.

When using a vector network analyser with S-parameter test-set, a full two port calibration shall be established including the connecting cables used to connect the test set-up to the test equipment. The reference planes for the calibration are the connector interface of the connecting cables.

When using a (vector) network analyser without S-parameter test-set, i.e. by using a power splitter, a THRU calibration shall be established including the test leads used to connect the test set-up to the test equipment.

When using a separate signal generator and receiver, the composite loss of the test leads shall be measured and the calibration data shall be saved, so that the results may be corrected.

$$a_{\text{cal}} = 10 \log_{10} \left(\frac{P_1}{P_2} \right) = -20 \log_{10} (S_{21}) \quad (11)$$

where

P_1 is the power fed during calibration procedure;

P_2 is the power at the receiver during calibration procedure.

If amplifiers are used, their gain shall be measured over the above-mentioned frequency range and the data shall be saved.

If an impedance matching adapter is used, the attenuation shall be measured over the above-mentioned frequency range and the data shall be saved. This can be achieved e.g. by connecting two impedance matching adapters of the same type and the same manufacturer “back to back” together and measure:

$$2 \cdot a_{\text{imd}} = 10 \log_{10} \left(\frac{P_1}{P_2} \right) = -20 \log_{10} (S_{21}) \quad (12)$$

6.5 Connection between extension tube and device under test

The connection between the extension tube and the attached cables of the device under test shall be such that the contact resistance is negligible. A possible connection technique as well as a description of the influence of contact resistances is given in Annex D.

6.6 Dynamic range respectively noise floor

With the verification test, the residual transfer impedance respectively the noise floor due to the connection of the feeding cable to the extension tube shall be determined.

The feeding cable is matched with its characteristic impedance and connected to the test head. The extension tube shall then be connected to the feeding cable (without DUT), using

the same connection technique as during the test. The piece of cable between the connection points shall be as short as possible (see Figure 4).

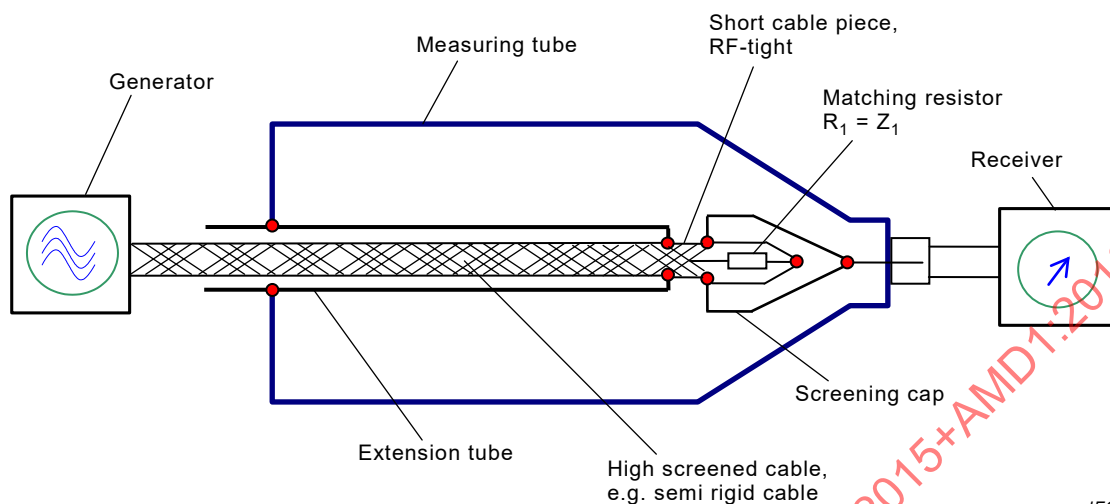


Figure 4 – Principle set-up for verification test

The voltage ratio U_1/U_2 shall be measured with the VNA.

The noise floor a_n of the connection of the extension tube to the feeding cable is then given by:

$$a_n = 20 \log_{10} (U_1/U_2) \quad (13)$$

The noise floor shall be at least 10 dB better than the measured value.

The residual transfer impedance of the connection of the extension tube to the feeding cable is given by:

$$Z_{Tr} = Z_1 \left| \frac{U_2}{U_1} \right| \quad (14)$$

6.7 Impedance matching

If unknown, the nominal characteristic impedance of the (quasi-)coaxial system can either be measured by using a TDR with maximum 200 ps rise time or using the method described in Annex A. An impedance matching adapter to match the impedance of the generator and the impedance of the (quasi-)coaxial system is not recommended as it reduces the dynamic range of the test set-up and may have sufficient matching (return loss) only up to 100 MHz when using self-made adapters which are necessary for impedances other than 60 Ω or 75 Ω (see Annex B).

6.8 Influence of Adapters

When measuring transfer impedance and screening attenuation or coupling attenuation on connectors or cable assemblies, test adapters are required if no mating connectors to the connectors of the DUT are available.

Test adapters and/or mating connectors may limit the sensitivity of the test set up and may influence the measurement.

The type and/or the design of the test adapter shall be stated in the test report.

A more detailed description on the design and the influence of test adapters is under consideration.

7 Sample preparation

7.1 Coaxial connector or device

A feeding cable shall be mounted to the connector under test and its mating part according to the specification of the manufacturer. One end shall be connected to the test head where the feeding cable is matched with the nominal characteristic impedance of the device under test. It may be short circuited, when measuring the transfer impedance with method C: (Mismatched)-short-short without damping resistor according to IEC 62153-4-3.

The other end of the connecting cable shall be passed through the extension tube and connected to the generator. On the side of the device under test, the screen of the feeding cable shall be connected to the extension tube with low contact resistance (see 6.2 and Annex B). On the generator side, the screen of the feeding cable shall not be connected to the extension tube.

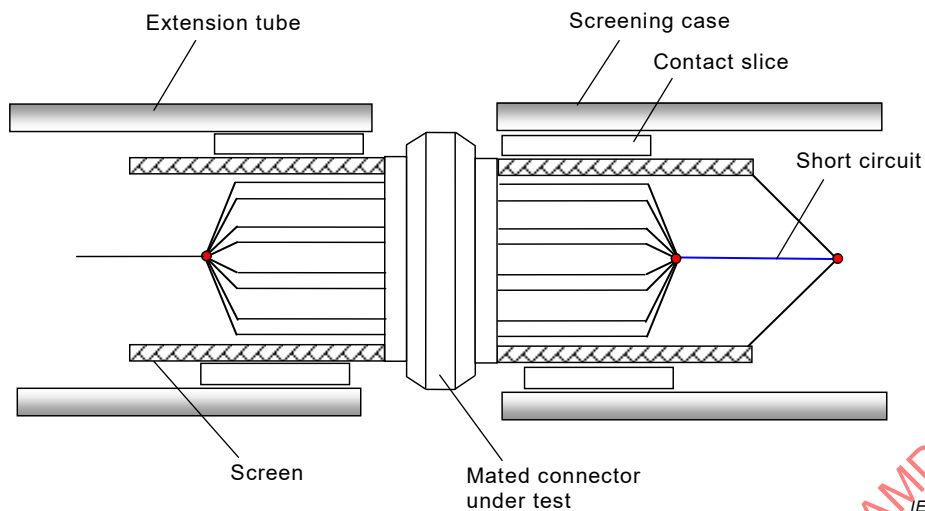
7.2 Balanced or multiconductor device

A balanced or multiconductor cable which is usually used with the connector under test shall be mounted each to the connector under test and its mating part according to the specification of the manufacturer.

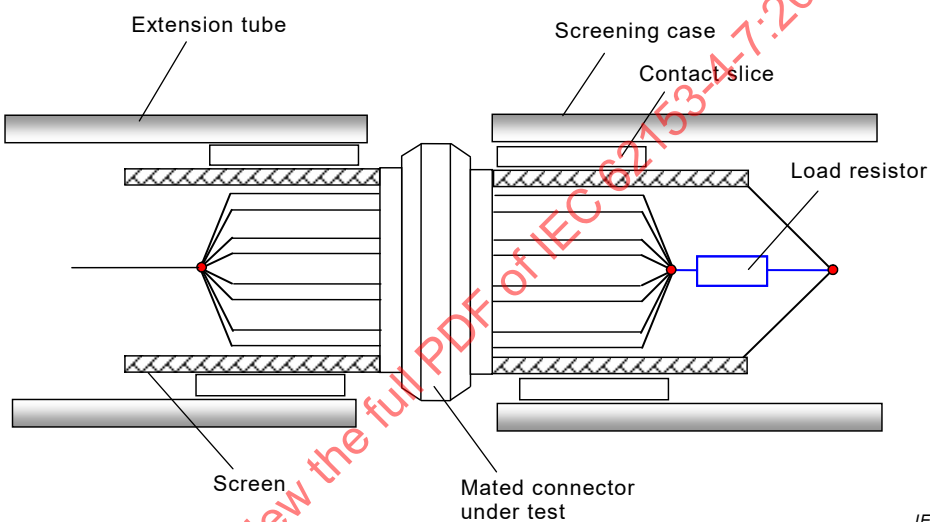
When measuring transfer impedance or screening attenuation, screened balanced or multiconductor cables are treated as a quasi-coaxial system. Therefore, at the open ends of the feeding cable, all conductors of all pairs shall be connected together. All screens, including those of individually screened pairs or quads, shall be connected together at both ends. All screens shall be connected over the whole circumference (see Figures 5a and 5b).

One end shall then be connected to the test head where the feeding cable is matched with the characteristic impedance (screening attenuation and transfer impedance with short/matched procedure) or with a short circuit (transfer impedance with short/short procedure).

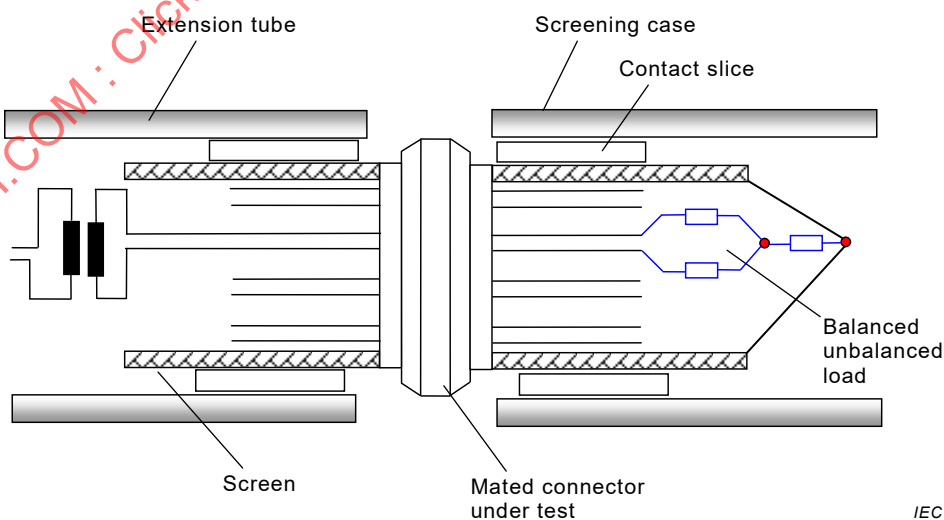
One end of the connecting cable shall then be connected to the test head where the connecting cable is matched with the characteristic impedance of the DUT.



a) Principle preparation of balanced or multiconductor connectors for transfer impedance (short/short)



b) Principle preparation of balanced or multiconductor connectors for transfer impedance (short/matched) and screening attenuation



c) Principle preparation of balanced or multiconductor connectors for coupling attenuation

Figure 5 – Preparation of balanced or multiconductor connectors

7.3 Cable assembly

If the cable assembly fits into the tube, it shall be measured according to Figure 3. Longer cable assemblies can be cut and each site measured separately.

8 Measurement of transfer impedance

8.1 General

IEC 62153-4-3 describes three different triaxial test procedures:

- Test method A: Matched inner circuit with damping resistor in outer circuit
- Test method B: Inner circuit with load resistor and outer circuit without damping resistor
- Test method C: (Mismatched)-short-short without damping resistor

The procedure described herein is in principle the same as test method B of IEC 62153-4-3: Matched inner circuit without the use of the impedance matching adapter and without the damping resistor R_2 . It has a higher dynamic range than test method A of IEC 62153-4-3.

The load resistor R_1 could be either equal to the impedance of the inner circuit or be equal to the generator impedance. The latter case is of interest when using a network analyser with power splitter instead of S-parameter test set.

NOTE Other procedures of 62153-4-3 may be applied accordingly if required.

8.2 Principle block diagram of transfer impedance

A block diagram of the test set-up to measure transfer impedance according to test method B of IEC 62153-4-3 is shown in Figure 6.

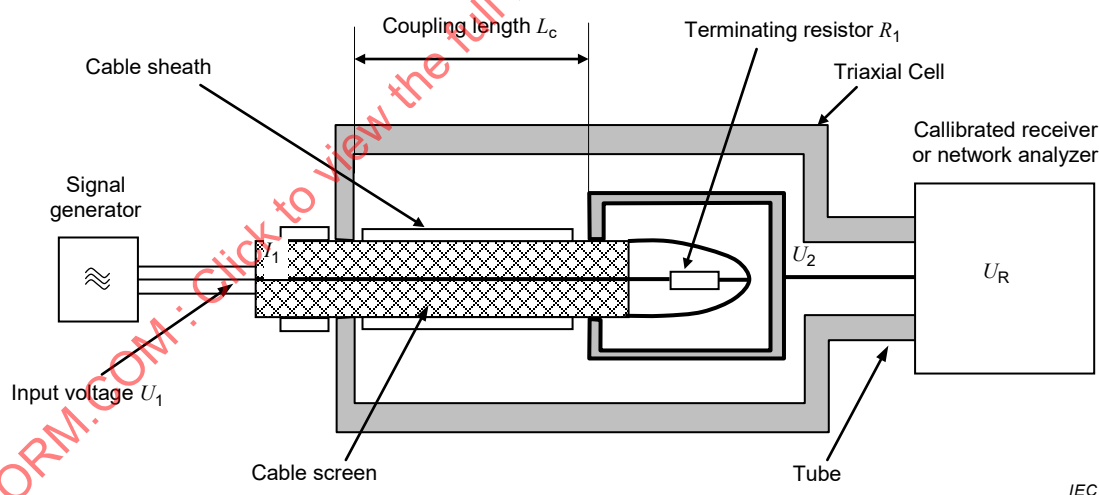


Figure 6 – Test set-up (principle) for transfer impedance measurement according to test method B of IEC 62153-4-3

8.3 Measuring procedure – Influence of connecting cables

When measuring a connector or a component without tube in tube, the transfer impedance of the connecting cables inside the tube to connect the DUT shall be measured.

The transfer impedance of the connecting cables which connects the DUT shall be measured according to IEC 62153-4-3. The measured value shall be related to the length of the connecting cables inside the test set-up to connect the DUT, the result is the transfer impedance of the connecting cables, Z_{con} .

8.4 Measuring

The DUT shall be connected to the generator and the outer circuit (tube) to the receiver.

The attenuation, a_{meas} , shall be preferably measured in a logarithmic frequency sweep over the whole frequency range, which is specified for the transfer impedance and at the same frequency points as for the calibration procedure:

$$a_{\text{meas}} = 10 \log_{10} \left(\frac{P_1}{P_2} \right) = -20 \log_{10} (S_{21}) \quad (15)$$

where

P_1 is the power fed to inner circuit;

P_2 is the power in the outer circuit.

8.5 Evaluation of test results

The conversion from the measured attenuation to the transfer impedance is given by following formula:

$$Z_T = \frac{R_1 + Z_0}{2} \cdot 10^{-\left(\frac{a_{\text{meas}} - a_{\text{cal}}}{20}\right)} - Z_{\text{con}} \quad (16)$$

or

$$Z_T = \frac{R_1 + Z_0}{2} \cdot 10^{-\left(\frac{a_{\text{meas}} - a_{\text{cal}}}{20}\right)} - Z_{\text{Tr}} \quad (17)$$

when using the tube in tube method.

where

Z_T is the transfer impedance;

Z_0 is the system impedance (in general 50 Ω);

a_{meas} is the attenuation measured at measuring procedure;

a_{cal} is the attenuation of the connection cables if not eliminated by the calibration procedure of the test equipment;

R_1 is the terminating resistor in inner circuit (either equal to the impedance of the inner circuit or the impedance of the generator);

Z_{con} is the transfer impedance of connecting cables;

Z_{Tr} is the residual transfer impedance, see 6.6.

NOTE Contrary to the measurement of the transfer impedance of cable screens, the transfer impedance of connectors or assemblies is not related to length.

8.6 Test report

The test report shall record the test results and shall conclude if requirements of the relevant detail specification are met.

The use and the design of test adapters (if any) shall be described.

9 Screening attenuation

9.1 General

This method is in principle the same as described in IEC 62153-4-4.

9.2 Impedance matching

9.2.1 General

Measuring of screening attenuation can be achieved with or without impedance matching.

If the characteristic impedance of the DUT is unknown, the nominal characteristic impedance of the quasi-coaxial system can either be measured by using a TDR with maximum 200 ps rise time or using the method described in Annex A of IEC 62153-4-4.

An impedance matching adapter to match the impedance of the generator and the impedance of the system device under test (see figure 7) is not recommended as it reduces the dynamic range of the test set-up and may have sufficient matching (return loss) only up to 100 MHz when using self-made adapters which are necessary for impedances other than 50 Ω or 75 Ω (see Annex B of IEC 62153-4-4).

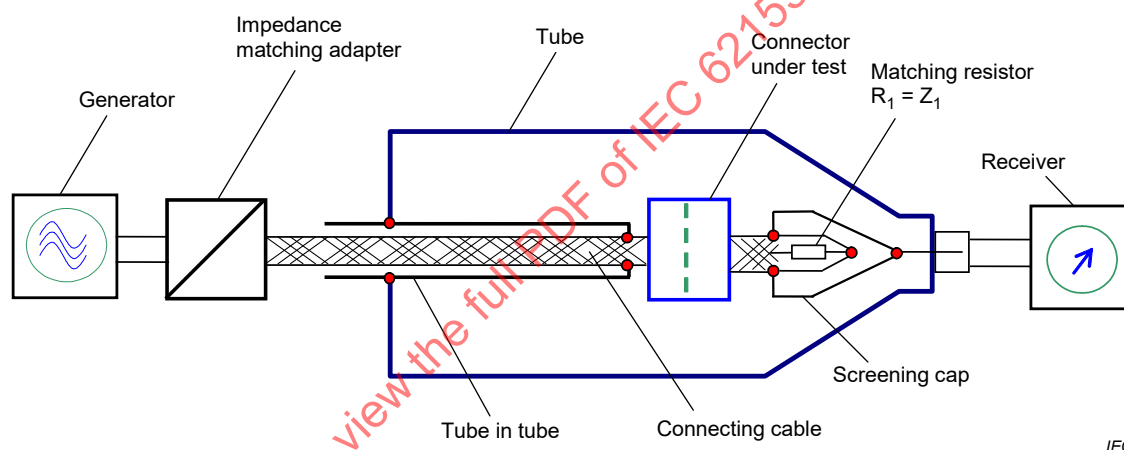


Figure 7 – Measuring the screening attenuation with tube in tube with impedance matching device

The DUT with the connected extension tube shall be installed in the measuring tube. The extension tube shall be short circuited to the measuring tube at the near end of the generator. The feeding cable shall be connected to the generator (via an impedance matching device if necessary) and the output of the measuring tube shall be connected to the receiver.

The scattering parameter S_{21} shall be measured.

Only the peak values of the obtained screening attenuation graph are used to determine the envelope curve.

9.2.2 Evaluation of test results with matched conditions

The screening attenuation a_s shall be calculated with the arbitrary determined normalised value $Z_s = 150 \Omega^1$.

¹ Z_s is the normalised value of the characteristic impedance of the environment of a typical cable installation. It is not in relation to the impedance of the outer circuit of the test set-up.

$$a_S = 10 \times \log_{10} \left| \frac{P_1}{P_{r,\max}} \right| = 10 \times \log_{10} \left| \frac{P_1}{P_{2,\max}} \times \frac{2 \times Z_S}{R} \right| - a_{imd} \quad (18)$$

$$= Env \left\{ -20 \times \log_{10} |S_{21}| + 10 \times \log_{10} \left| \frac{300\Omega}{Z_1} \right| - a_{imd} \right\} \quad (19)$$

where

- a_S is the screening attenuation related to the radiating impedance of 150 Ω in dB;
- a_{imd} is the attenuation of the impedance matching device (if appropriate);
- Env is the minimum envelope curve of the measured values in dB;
- S_{21} is the scattering parameter S_{21} (complex quantity) of the set-up where the primary side of the two port is the DUT and the secondary side is the tube;
- Z_1 is the characteristic impedance of the cable under test, in Ω .

At frequencies lower than the limit of the electrically long coupling length, the measurement will be similar to that for surface transfer impedance.

9.2.3 Measuring with mismatch

The DUT shall be connected to port 1 and the test head of the set-up shall be connected to port 2 of the vector network analyser.

If not known, the characteristic impedance Z_1 of the DUT shall be measured (see 9.2).

The scattering parameter S_{21} shall be measured.

Only the peak values of the obtained screening attenuation graph are used to determine the envelope curve.

9.2.4 Evaluation of test results

The screening attenuation a_S which is comparable to the results of the absorbing clamp method shall be calculated with the arbitrary determined normalised value $Z_S = 150 \Omega^1$.

$$a_S = 10 \log_{10} \left| \frac{P_1}{P_{r,\max}} \right| = 10 \log_{10} \left| \frac{P_1}{P_{2,\max}} \cdot \frac{2 \times Z_S}{R} \right| \quad (20)$$

$$= Env \left\{ -20 \log_{10} |S_{21}| + 10 \log_{10} |1 - r^2| + 10 \log_{10} \left| \frac{300\Omega}{Z_1} \right| \right\} \quad (21)$$

where

- a_S is the screening attenuation related to the radiating impedance of 150 Ω in dB;
- Env is the minimum envelope curve of the measured values in dB;
- S_{21} is the scattering parameter S_{21} (complex quantity) of the set-up where the primary side of the two port is the DUT and the secondary side is the tube;
- r is the reflection coefficient $= \left| \frac{Z_0 - Z_1}{Z_0 + Z_1} \right|$;
- Z_0 is the characteristic impedance of system in Ω , (usually 50 Ω);
- Z_1 is the characteristic impedance (in complex form) of the device under test in Ω .

9.3 Test report

The test report shall record the test results and shall conclude if requirements of the relevant detail specification are met.

The use and the design of test adapters (if any) shall be described.

10 Coupling attenuation

10.1 Procedure

The DUT is connected to the connecting cables according to the instructions of the manufacturer and terminated at the far end by differential and common mode terminations according to Figure 5c. The sample is then centred in the tube and fed by a generator in the differential mode via a balun, see Figure 8. Alternatively, the DUT may be fed by a multiport VNA, see Figure 10 (procedure is under consideration).

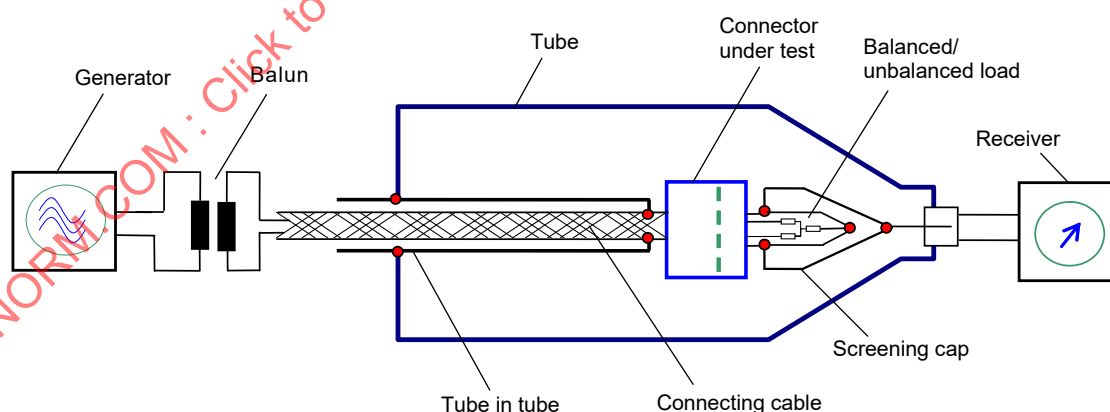
The quotient of the voltages at the output of the outer circuit and the input of the cable is measured, either directly by a network analyser or with a calibrated step attenuator [assuming that the receiver has the same input impedance as the output impedance of the signal generator ($R = Z_1$)] which is inserted as an alternative to the triaxial apparatus.

Only the peak values of the maximum of the voltage ratio or the minimum of the attenuation must be measured and recorded as a function of the frequency in order to determine the envelope curve.

Attenuation introduced by the inclusion of adapters, instead of direct connection, must be taken into account when calibrating the triaxial apparatus.

The voltage ratio measured is not dependent on the diameter of the outer tube of the triaxial test set-up or on the characteristic impedance Z_2 of the outer system, provided that Z_2 is larger than the input impedance of the receiver.

NOTE The procedure to measure with a VNA with mixed mode option instead of using a balun is under consideration.



IEC

Figure 8 – Measuring the coupling attenuation with tube in tube and balun

10.2 Expression of results

The attenuation of the balun shall be subtracted from the measuring results. The coupling attenuation a_c shall be calculated with the normalised value $Z_S = 150 \Omega$:

$$a_c = 10 \cdot \log_{10} \left| \frac{P_1}{P_{r,\max}} \right| = 10 \cdot \log_{10} \left| \frac{P_1}{P_{2,\max}} \cdot \frac{2 \cdot Z_S}{R} \right| \quad (22)$$

$$= 20 \cdot \log_{10} \left| \frac{U_1}{U_{2\max}} \right| + 10 \cdot \log_{10} \left| \frac{300 \, \Omega}{Z_1} \right| \quad (23)$$

$$= a_{m,\min} - a_z + 10 \cdot \log_{10} \left| \frac{300 \, \Omega}{Z_1} \right| \quad (24)$$

where

- a_c is the coupling attenuation related to the normalised radiating impedance of 150 Ω in dB;
- $a_{m,\min}$ is the attenuation recorded as minimum envelope curve of the measured values in dB;
- a_z is the additional attenuation of an inserted balun, if not otherwise eliminated e.g. by the calibration, in dB;
- U_1 is the input voltage of the primary circuit formed by the cable in V;
- U_2 is the output voltage of the secondary circuit in V;
- Z_1 is the (differential mode) characteristic impedance of the cable under test in Ω .

10.3 Test report

The test report shall indicate whether the results of minimum coupling attenuation comply with the value indicated in the relevant cable specification.

If a limiting value of the radiating power is specified for a cable system operating with a defined power level, the difference between the power level and the limit of radiating power shall not be greater than the coupling attenuation of the cable provided for the system.

The use and the design of test adapters (if any) shall be described.

A typical measurement graph of a connector is given in Figure 9.

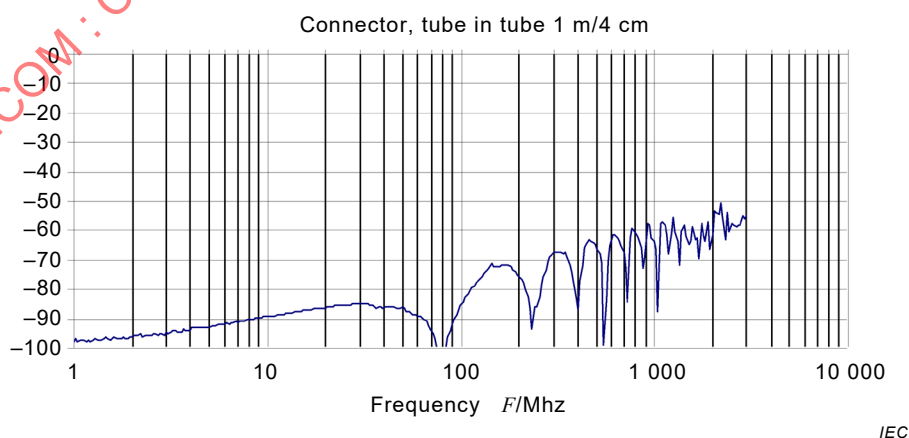


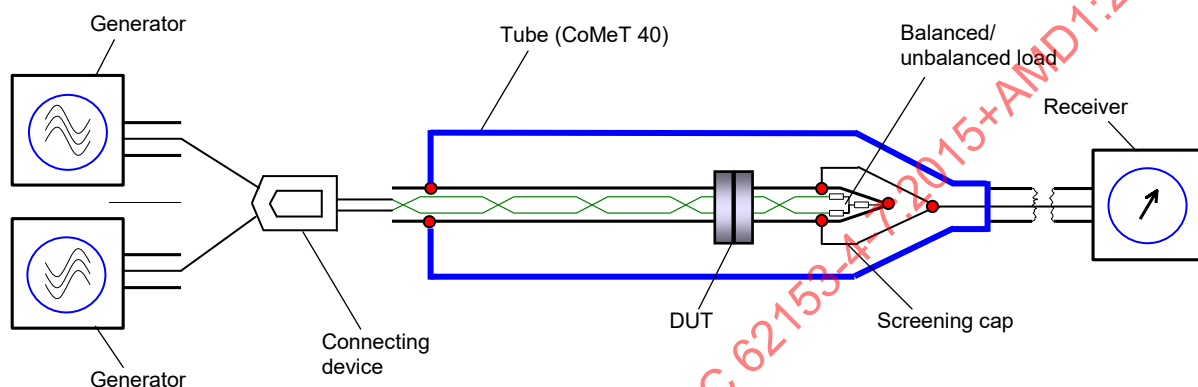
Figure 9 – Typical measurement of a connector of 0,04 m length with 1 m extension tube

10.4 Balunless procedure

To measure the coupling attenuation as well as to measure the unbalance attenuation a differential signal is required. This can, for example, be generated using a balun which converts the unbalanced signal of a 50 Ω network analyser into a balanced signal. Commercial baluns, however, are available up to 1,2 GHz only.

Alternatively, a balanced signal may be obtained with a network analyser having two generators with a phase shift of 180°. Another alternative is to measure with a multi-port VNA (virtual balun).

The balunless test procedure is under consideration.



IEC

**Figure 10 – Measuring the coupling attenuation with multiport VNA
(balunless procedure is under consideration)**

Annex A (normative)

Determination of the impedance of the inner circuit

If the impedance Z_1 of the inner circuit is not known, it may be determined using a TDR with maximum 200 ps rise time or using the following method with a (vector) network analyser (VNA).

One end of the prepared sample is connected to the VNA, which is calibrated for impedance measurements at the connector interface reference plane. The test frequency shall be approximately the frequency for which the length of the sample is $1/8 \lambda$, where λ is the wavelength.

$$f_{\text{test}} \approx \frac{c_0}{8 \cdot L_{\text{sample}} \cdot \sqrt{\epsilon_{r1}}} \quad (\text{A.1})$$

where

f_{test} is the test frequency;

c is the speed of light 3×10^8 m/s;

L_{sample} is the length of sample.

The sample is short-circuited at the far end. The impedance Z_{short} is measured.

The sample is left open at the same point where it was shorted. The impedance Z_{open} is measured.

Z_1 is calculated as:

$$Z_1 = \sqrt{Z_{\text{short}} \cdot Z_{\text{open}}} \quad (\text{A.2})$$

Annex B (informative)

Example of a self-made impedance matching adapter

Figure B.1 and B.2 show the attenuation and return loss of a 50 Ω to 5 Ω impedance matching adapter. A DUT impedance of 5 Ω is typical when measuring multipair cables with individually screened pairs or when measuring high voltage cables for electrical vehicles.

The attenuation and return loss were obtained from an open/short measurement. One can obtain that the matching adapter only works up to 10 MHz.

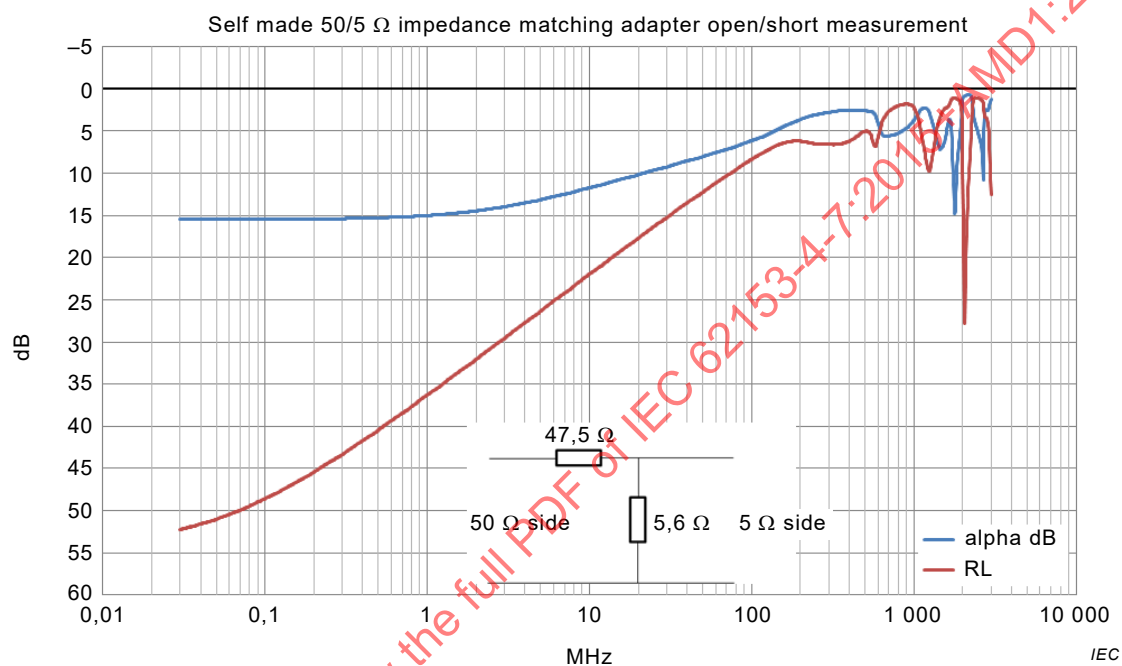


Figure B.1 – Attenuation and return loss of a 50 Ω to 5 Ω impedance matching adapter, log scale

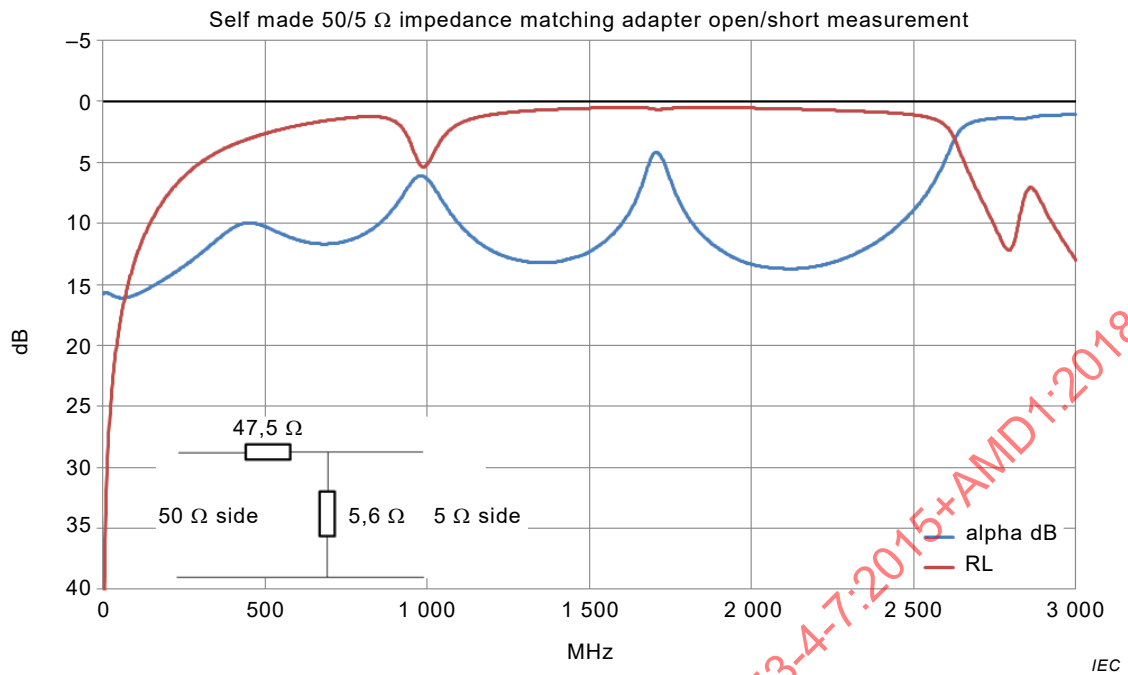


Figure B.2 – Attenuation and return loss of a 50 Ω to 5 Ω impedance matching adapter, lin scale

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62153-4-7:2015+AMD1:2018 CSV

Annex C (informative)

Measurements of the screening effectiveness of connectors and cable assemblies

C.1 General

Due to the increasing use of all kind of electric or electronic equipment, electromagnetic pollution is on the increase. To reduce this electromagnetic pollution, all components of a system, especially the connecting cables (assemblies) shall be screened. It is obvious that one needs standardised measuring procedures to compare the screening effectiveness of different screen designs. The basic screening parameters are the transfer impedance Z_T and the screening attenuation a_S or coupling attenuation a_C . Either the triaxial or the line injection method can be used to obtain the transfer impedance Z_T of cables, connectors and cable assemblies. However, for the measurement of the screening a_S or coupling a_C attenuation of connectors and cable assemblies, an easy and cost effective method does not exist.

The following new method, which fills this gap, is described hereafter. It is based on the recently introduced shielded screening attenuation (long triaxial) test method for the measurement of the screening or coupling attenuation of cables [1][2]².

C.2 Physical basics

C.2.1 General coupling equation

For the measurement of the coupling, it is expedient to use the concept of operational attenuation with the square root of power waves, as in the definition of scattering parameters [3][4]. The general coupling transfer function is then defined as:

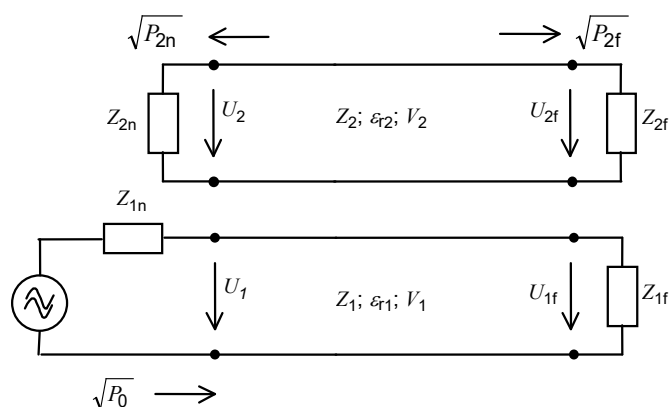
$$T_{n,f} = \frac{U_{-2n,f} / \sqrt{Z_2}}{U_{-1} / \sqrt{Z_1}} = \frac{\sqrt{P_{-2n,f}}}{\sqrt{P_{-0}}} \quad (C.1)$$

The electromagnetic influence between the sample under test and the surrounding is in principle the crosstalk between two lines and is caused by capacitive and magnetic coupling. At the near end, the magnetic and capacitive coupling adds whereas at the far end they subtract [4][5]. The coupling along the sample length is obtained by integrating the infinitesimal coupling distribution along the sample with the correct phase. The phase effect, when summing up the infinitesimal couplings along the line is expressed by the summing function S [4]. When the sample attenuation is neglected, then S could be expressed by the following equation, where $\beta_{1,2}$ are the phase velocities of the primary respectively the secondary circuit and l the coupling length. The indices n and f denote the near respectively the far end.

The equivalent circuit for two coupled lines is given in Figure C.1.

$$S_{n,f}(lf) = \frac{\sin[(\beta_2 \pm \beta_1) \cdot l/2]}{(\beta_2 \pm \beta_1) \cdot l/2} \exp(-j(\beta_2 + \beta_1) \cdot l/2) \quad (C.2)$$

² Figures in square brackets refer to the bibliography.



IEC

Key

$\sqrt{P_0}$	square root of the feeding power
$\sqrt{P_{2n}}$	square root of the coupled power, near end
$\sqrt{P_{2f}}$	square root of the coupled power, far end
Z_{nm}	matching resistors, 1 = primary circuit, 2 = secondary circuit
n	= near end, f = far end
Z_n	characteristic impedance, 1 = primary circuit, 2 = secondary circuit
ϵ_{rn}	dielectric constant, 1 = primary circuit, 2 = secondary circuit
v_n	velocity of propagation, 1 = primary circuit, 2 = secondary circuit

Figure C.1 – Equivalent circuit of coupled transmission lines

Figure C.2 shows the summing function which is in principle a $\sin(x)/x$ function. For high frequencies, the asymptotic value becomes:

$$\left| S_{nf} \right| \rightarrow \frac{2}{(\beta_1 \pm \beta_2) \cdot l} \quad (C.3)$$

And for low frequencies the summing function be-comes:

$$\left| S_{nf} \right| \rightarrow 1 \quad (C.4)$$

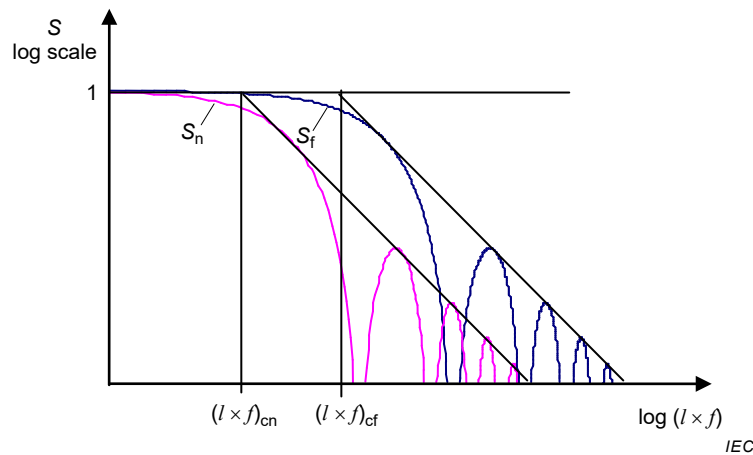


Figure C.2 – Summing function S

The point of intersection between the asymptotic values for low and high frequencies is the so called cut-off frequency f_c . This frequency gives the condition for electrical long samples:

$$f_{c,n} \cdot l \geq \frac{c_0}{\pi \cdot \sqrt{e_{r1} \pm \sqrt{e_{r2}}}} \quad (\text{C.5})$$

where

- e_{r1} is the relative dielectric permittivity of the inner system;
- e_{r2} is the relative dielectric permittivity of the outer system;
- l is the cable length.

C.2.2 Coupling transfer function

C.2.2.1 Homogenous screens

The primary screening quantities of a screen are the surface transfer impedance Z_T and the capacitive coupling impedance Z_F or the effective transfer impedance Z_{TE} . For homogeneous screens such as for connectors or cables, they can be assumed to be constant along the length. The integration could then be easily solved. The coupling between the sample and the surrounding could be expressed by the following coupling transfer function. For matched lines it is [3][4]:

$$T_{s,n} = (Z_F \pm Z_T) \cdot \frac{1}{\sqrt{Z_1 \cdot Z_2}} \cdot \frac{l}{2} \cdot S_n \quad (\text{C.6})$$

For low frequencies, when $S = 1$, the coupling transfer function corresponds to the frequency behaviour of the surface transfer impedance and capacitive coupling impedance. After a rise with 20 dB per decade, the coupling transfer function shows different cut-off frequencies $f_{cn,f}$ for the near and far end. Above these cut-off frequencies, the samples are considered as electrically long.

The calculated coupling transfer function of a coaxial cable is given in Figure C.3. The principle set-up of the triaxial test procedure is given in Figure C.4.

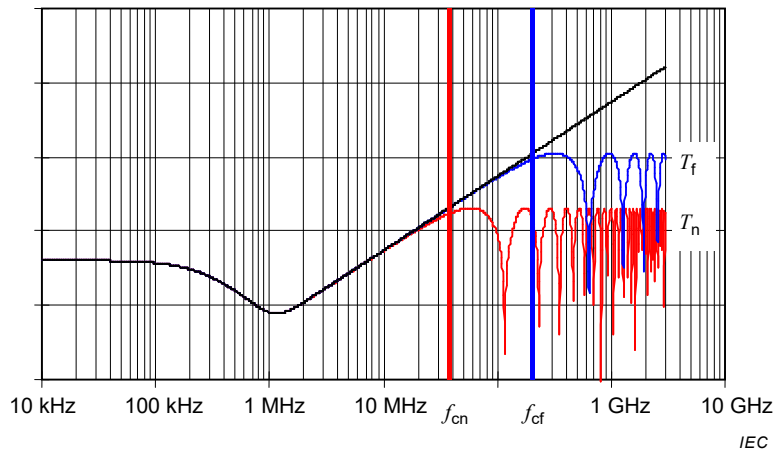


Figure C.3 – Calculated coupling transfer function ($l = 1$ m; $\epsilon_{r1} = 2,3$; $\epsilon_{r2} = 1$; $Z_F = 0$)

Below the cut-off frequencies, the surface transfer impedance Z_T is the measure of the screening effectiveness. The value of the transfer impedance Z_T increases with the sample length.

Above the cut-off frequencies in the range of wave propagation, respectively in the range where the samples are electrically long, the screening attenuation a_S is the parameter for the screening effectiveness. The screening attenuation is a length-independent quantity.

C.2.2.2 Cable assembly screens

Cable assemblies are composed by the cable itself and a connector at each end. In addition to the coupling of the components itself, the coupling of the transition between cable and connector also should be taken into account. Mounting a good connector to a good cable will not automatically lead to a good assembly because the connection between the cable and the connector may be worse.

Each part of it has a different coupling, thus one has to integrate in sections along the sample, i.e. one section for each component (connector A, transition, cable, transition, connector B). In a first approach, the velocity in each section could be assumed to be equal. The coupling transfer function for matched lines is then expressed by:

$$T_n = \frac{1}{\gamma_1 + \gamma_2} \cdot \sum_{i=1}^n \left[\frac{Z_{F,i} + Z_{T,i}}{2\sqrt{Z_1 \cdot Z_2}} \cdot e^{-(\gamma_1 + \gamma_2) \cdot \sum_{k=1}^{i-1} L_k} \cdot (1 - e^{-(\gamma_1 + \gamma_2) L_i}) \right] \quad (C.7)$$

$$T_f = \frac{e^{-\gamma_2 L_c}}{\gamma_1 - \gamma_2} \cdot \sum_{i=1}^n \left[\frac{Z_{F,i} - Z_{T,i}}{2\sqrt{Z_1 \cdot Z_2}} \cdot e^{-(\gamma_1 - \gamma_2) \cdot \sum_{k=1}^{i-1} L_k} \cdot (1 - e^{-(\gamma_1 - \gamma_2) L_i}) \right] \quad (C.8)$$

where

$\gamma_{1,2}$ is the complex wave propagation constant of inner, respectively outer circuit;

L_c is the whole coupling length (sum of the segment lengths);

L_i is the length of segment i ;

n is the number of segments (for cable assemblies, 3);

$T_{n,f}$ is the coupling transfer function at the near respectively far end;

$Z_{1,2}$ is the characteristic impedance of inner, respectively outer circuit;
 Z_F is the capacitive coupling impedance;
 Z_T is the surface transfer impedance;
 γ is the propagation constant
 $= (\alpha + j\beta)$, where α is the attenuation constant and β is the phase constant.

C.2.2.3 Coupling in the triaxial set-up

The above-mentioned coupling transfer functions are valid if the primary and secondary circuit are matched. However, in the triaxial set-up, the secondary system (outer circuit) is mismatched (see also the following section). At the near end, one has the short circuit between the sample screen. At the far end, one has the mismatch between the impedance of the outer circuit and the receiver input impedance resulting in the reflection coefficient $r_{2,f}$. In this case, the resulting coupling transfer function (at the receiver end) is obtained by:

$$T^* = \left(T_f - T_n \cdot e^{-\gamma_2 L_C} \right) \cdot \frac{1 + r_{2,f}}{1 + r_{2,f} \cdot e^{-2\gamma_2 L_C}} \quad (\text{C.9})$$

where

γ_2 is the complex wave propagation constant of outer circuit;
 L_C is the whole coupling length (sum of the segment lengths);
 $r_{2,f}$ is the reflection coefficient;
 $T_{n,f}$ is the coupling transfer function at the near respectively far end.

C.3 Triaxial test set-up

C.3.1 General

The triaxial test set-up is one of the classical methods to measure the transfer impedance and has been recently extended for the measurement of the screening attenuation of cable screens [1]. The triaxial set-up is described in IEC 62153-4-3 and IEC 62153-4-4 and consists of a tube of brass or aluminium with an inner diameter of about 40 mm.

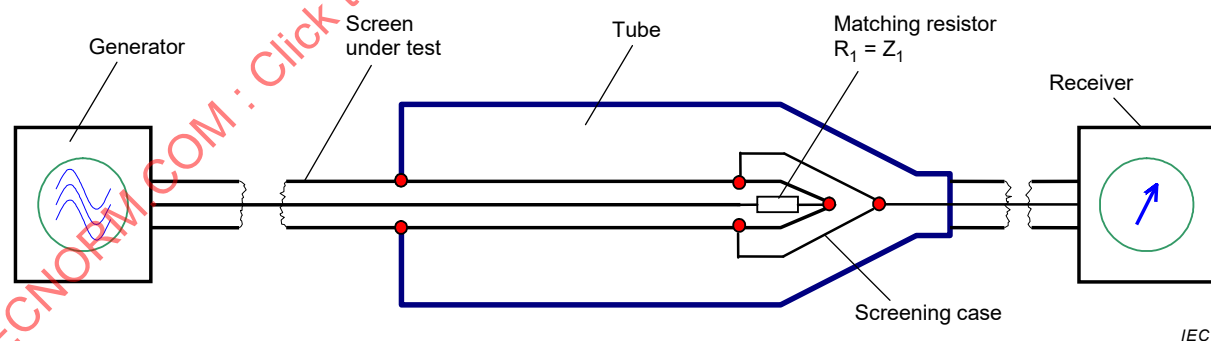


Figure C.4 – Triaxial set-up for the measurement of the screening attenuation a_s and the transfer impedance Z_T

For the measurement of the transfer impedance (electrically short coupling length), the tube length is 0,5 m to 1 m. For the measurement of the screening attenuation (electrically long coupling length), the measuring tube is extended to a length of 2 m to 3 m. (See also the above theoretical explanation).

In the outer circuit, at the near end, the screen under test is short circuited with the measuring tube. The electrical waves, which are coupled over the whole cable length from the inner

system into the outer system, propagate in both directions, to the near and to the far end. At the short circuited end, they are totally reflected, so that at the measuring receiver, the superposition of near and far end coupling can be measured as the disturbance voltage ratio U_2/U_1 . The screening attenuation as a power ratio is then related to a standardised characteristic impedance of the outer system $Z_s = 150 \Omega$.

$$a_s = 20 \log \left(\left| \frac{U_2}{U_1} \right|_{\max} \right) + 10 \log \left(\frac{2 \cdot Z_s}{Z_1} \right) \quad (\text{C.10})$$

where

Z_1 is the characteristic impedance of the sample under test and Z_s is 150 Ω .

C.3.2 Measurement of cable assemblies

C.3.2.1 General

When measuring cable assemblies in the triaxial test set-up, there is the problem in that their lengths differ widely and are either shorter or longer than the commonly used measuring tube of 2 m or 3 m. However, the investigations of the above-given coupling functions show that:

- for assemblies longer than the measuring tube, it is sufficient enough to measure just both accessible assembly ends;
- for assemblies shorter than the measuring tube, one can extend the assembly by a well-screened cable inside a closed copper tube. This is the so called tube in tube method.

C.3.2.2 Assembly longer than the measuring tube

In screening attenuation measurements of cable assemblies, it is evident that the result is characterised by the weakest part. Either the cable or the connector or the transition between cable and connector. Thus, for cable assemblies which are longer than the measuring tube, it is sufficient enough to measure the assembly from both ends (provided that the cable screen is homogenous). The worst case of both measurements is then the screening attenuation of the whole assembly. The simulated graphs given in Figures C.5 and C.6 underline that evidence.

The simulation parameters are:

- cable screen

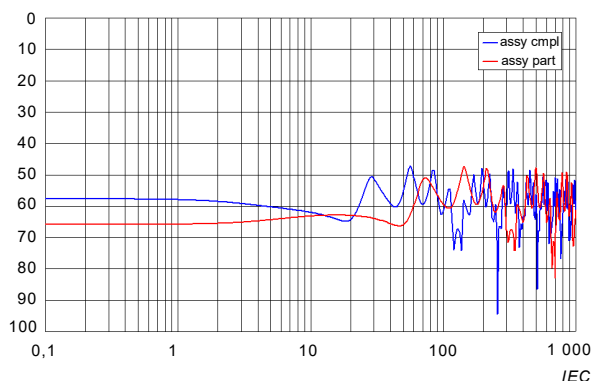
length:	500 cm
d.c. resistance:	13 m Ω /m
magnetic coupling:	0,04 mH/m
capacitive coupling:	0,02 pF/m
- connector screen including transition from cable to connector

length:	5 cm
d.c. resistance:	2 m Ω /m
magnetic coupling:	0,002 mH
capacitive coupling:	0 pF/m
- outer circuit (secondary system)

impedance:	150 Ω
dielectric permittivity:	1,1
- inner circuit (primary system)

impedance:	50 Ω
------------	-------------

dielectric permittivity:



2,3

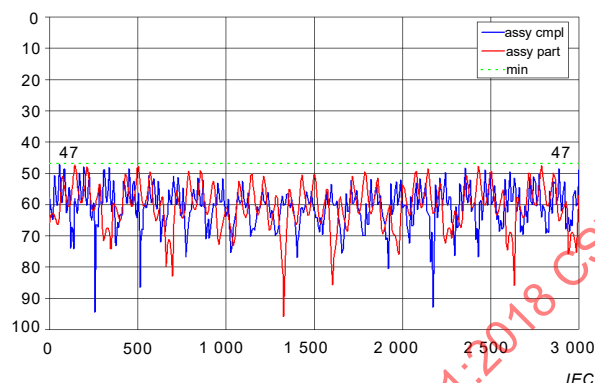


Figure C.5 – Simulation of a cable assembly (logarithmic scale)

Figure C.6 – Simulation of a cable assembly (linear scale)

The blue line shows the result of the complete cable assembly, i.e. 500 cm cable and both connectors. The red line shows the result for just one part of the assembly, i.e. 195 cm of the cable and one connector. In the lower frequency range, where the samples are electrically short, one gets a length dependent result. However in the higher frequency range, where the samples are electrically long, one gets the same minimum value, i.e. the same screening attenuation of 47 dB.

C.3.2.3 Assembly shorter than the measuring tube

When the assembly is shorter than the measuring tube, the assembly can be extended by a well screened connecting cable inside a closed copper tube. The so called tube in tube method (see also Figures C.7 and C.8).

The extension tube then acts as a resonator. The same principle is also used for the measurement of connectors. Further details can be obtained from the following explanation of the measurement of connectors.

C.3.3 Measurement of connectors

C.3.3.1 General

Usual RF connectors have mechanical dimensions in the longitudinal axis in the range of 10 mm to 50 mm. With the definition of electrical long elements, we get cut-off frequencies of about 3 GHz or higher for standard RF-connectors. Above that frequency, they are considered to be electrically long.

The screening attenuation is by definition only valid in the frequency range above the cut-off frequency, where the elements are electrically long. Thus the screening attenuation of a RF connector itself can only be measured at frequencies above 3 GHz.

However, by extending the RF-connector by a RF-tight closed metallic tube, a cable assembly which is electrically long is built. Thus, the cut-off frequency, respectively the lower frequency limit, to measure the screening attenuation is extended towards lower frequencies. If one connects this extension tube directly to the connector under test, one is measuring the screening attenuation of the connector (and it's mated adapter). If one connects the extension tube to the connecting cable close to the connector, one measures the screening attenuation of the combination of the connector (and its mated adapter) and the transition between cable and connector (see also figures below).

NOTE Although the connector itself stays electrically short, the combination of the connector and the extension tube shows the behaviour (the screening attenuation) of the connector when connected to a well screened cable,

which has a screening effectiveness better than the one of the connector (or the transition between cable and connector). See also the explanation in C.3.3.2.

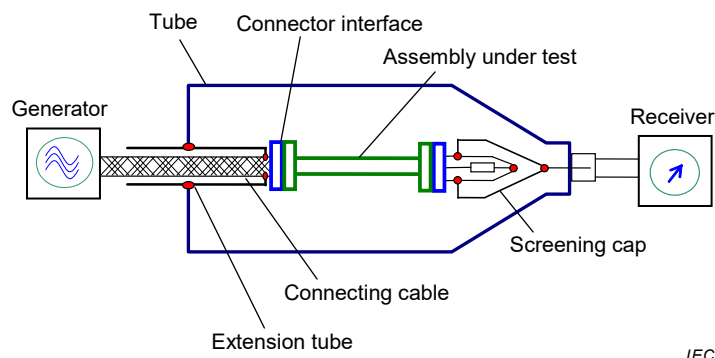


Figure C.7 – Triaxial set-up with extension tube for short cable assemblies

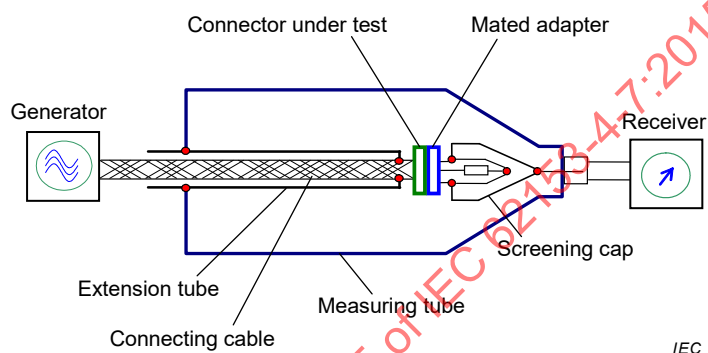


Figure C.8 – Triaxial set-up with extension tube for connectors

C.3.3.2 Measurement set-up

For the measurement of RF connectors, the triaxial set-up according to IEC 62153-4-3 respectively IEC 62153-4-4 has been extended by a RF-tight closed metallic tube (see Figure 8). The extension tube is either connected to the connector under test or to the screen of the connecting cable of the connector under test. At the far end, the connector under test is connected to the screening cap of the triaxial test set-up via its mated adapter.

The measurement of the screening attenuation itself is the same as the measurement of cable screens according to IEC 62153-4-4.

C.3.3.3 Measurement results and simulations

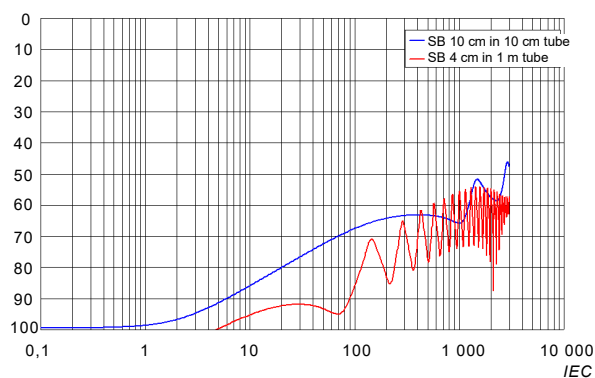
In a first approach, one has measured short cable pieces instead of a connector. The advantage is that the results are not influenced by a mating adapter or the transition between cable and connector. The cable is a coaxial cable with an impedance of 75Ω , foam PE dielectric and a single braid screen (not optimised, i.e. under-braided). The simulations have been done with the equations (C.7), (C.8) and (C.9) where the number of sections is 2. The first section is the connecting cable with the RF-tight extension tube.

Thus, the transfer impedance and capacitive coupling impedance of that section is neglected. The second section is the cable under test with following parameter:

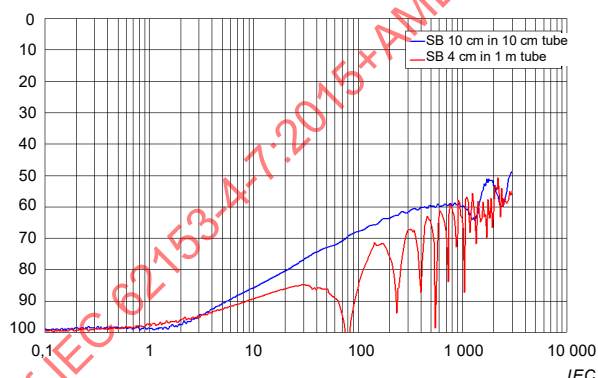
d.c. resistance:	$8 \text{ m}\Omega/\text{m}$
magnetic coupling:	$0,6 \text{ mH}/\text{m}$
capacitive coupling:	$0,02 \text{ pF}/\text{m}$
impedance:	75Ω

dielectric permittivity: 1,35

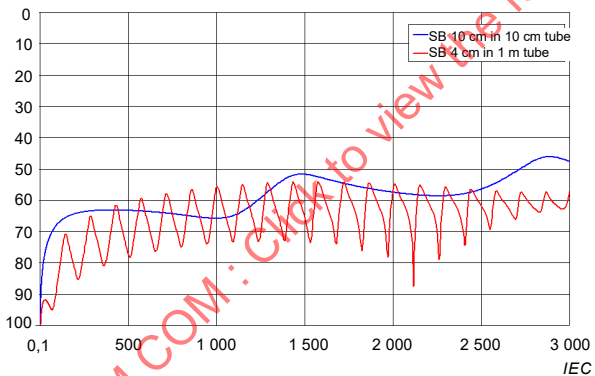
The comparison of the simulation (Figures C.9, C.11) with the measurement results (Figures C.10, C.12) show a good correspondence. In the lower frequency range, when the samples are electrically short, one gets the same results. However in the higher frequency range, one can see the influence of the extension tube. The 10 cm sample is electrically short over the whole frequency range, as the cut-off frequency is 5,9 GHz. Thus, the coupled power increases with increasing frequency. However, the quasi cable assembly composed of the connector and the extension tube is electrically long above 590 MHz, which results in a constant maximum coupled power. One characteristic of an electrically long object is also that the maximum coupled power is independent of the sample length (see C.2.1). This is underlined in Figures C.13 and C.14, where the simulated results of a 4 cm sample in a 1 m respectively 2 m tube, i.e. with a 96 cm, respectively 196 cm extension tube, are shown. The envelope of both curves is identical.



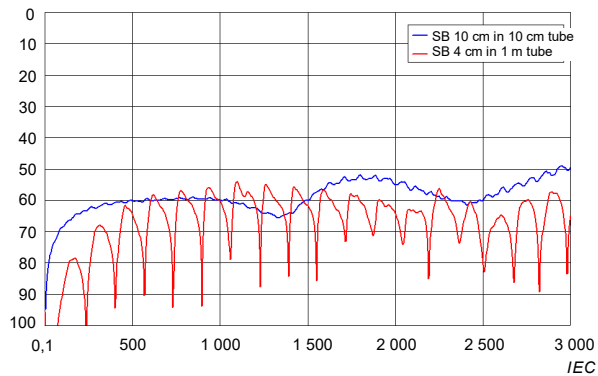
**Figure C.9 – Simulation,
logarithmic frequency scale**



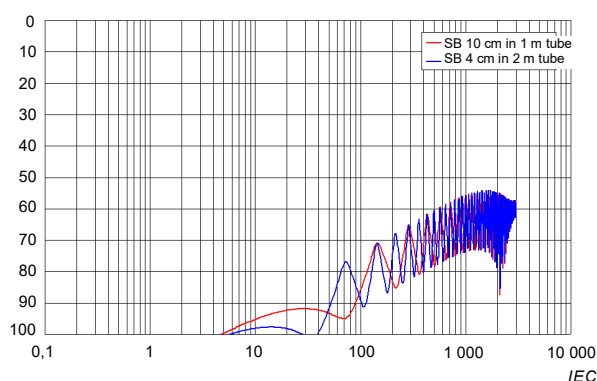
**Figure C.10 – Measurement,
logarithmic frequency scale**



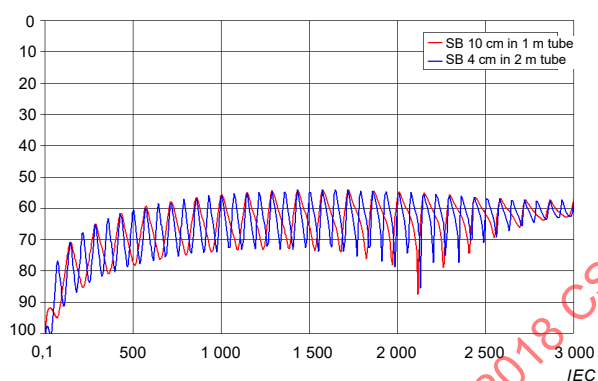
**Figure C.11 – Simulation,
linear frequency scale**



**Figure C.12 – Measurement,
linear frequency scale**



**Figure C.13 – Simulation,
logarithmic frequency scale**



**Figure C.14 – simulation,
linear frequency scale**

C.4 Conclusion

Customers and users of RF cables, cable assemblies and connectors ask more often for screening effectiveness values in decibels (dB) instead of transfer impedance values in mW respectively mW/m. The tube in tube method reply to that need since it offers a simple and reliable method to measure the screening attenuation in dB of connectors and cable assemblies. That method is an extension of the shielded screening attenuation (long triaxial) test set-up according to IEC 62153-4-4.

The comparison of the measured and the calculated curves show good concordance.

The advantages of the tube in tube method for connectors and assemblies are the same as for the measurement of the screening attenuation of cable screens in the tube:

- simple and easy test set-up;
- insensitive against electromagnetic disturbances from outside;
- high dynamic range >130 dB;
- good reproducibility.

Annex D (informative)

Influence of contact resistances

Contact resistances between the feeding cable and the extension tube or the screening case in the test head may influence the test result. Contacts shall be prepared carefully with low resistance or with low impedance. Contacts shall be achieved over the complete circumference of the screen. Critical contacts are shown in Figure D.1.

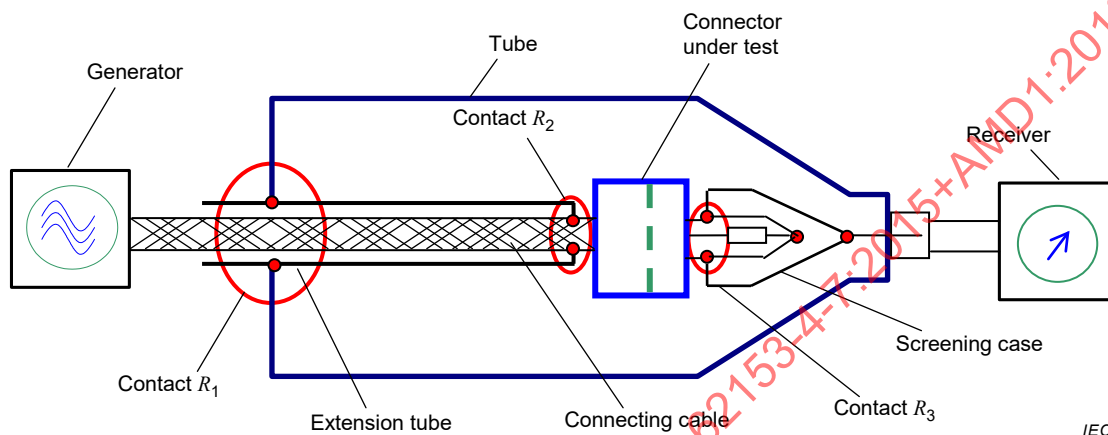
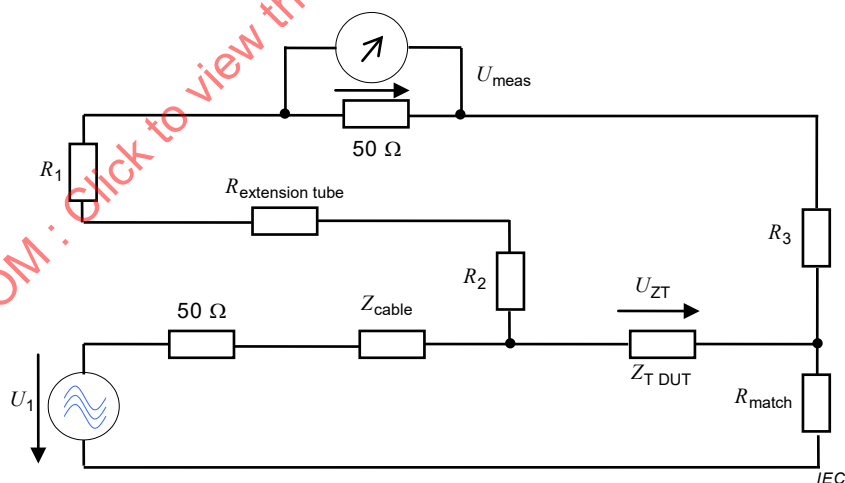


Figure D.1 – Contact resistances of the test set-up

The equivalent circuit of the complete test set up including the contact resistances is given in Figure D.2. The test set-up shall be designed such that contact resistances of the extension tube are in series with the input impedance of the receiver and the contact resistance of the screening case including the matching load of the DUT is in series with the generator.



Key

- R_1 , R_2 and R_3 contact resistances depicted in Figure D.1.
- Z_{cable} characteristic impedance of the connecting cable (see Figure B.1).
- Z_{DUT} transfer impedance of the DUT.

Figure D.2 – Equivalent circuit of the test set-up

In this case, contact resistances of a few $\text{m}\Omega$ in series with the $50\ \Omega$ input resistance of the generator or the receiver are negligible.

The test set-up should be designed such that contact resistances are not in series with the transfer impedance of the DUT. If contact resistances are in series with the transfer impedance of the DUT, they will influence the result considerably.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62153-4-7:2015+AMD1:2018 CSV

Annex E (informative)

Direct measurement of screening effectiveness of connectors

E.1 General

IEC 62153-4-7 describes the measurement of transfer impedance and screening or coupling attenuation of connectors and cable assemblies with the tube in tube procedure. According to IEC 62153-4-7, connectors usually are measured with a short piece of connecting cable, see for example Figure 2.

In different cases it may be required to measure the screening effectiveness direct on the connector or without connecting cable, e.g. to evaluate the EMC of the interface of the mated connectors. The following describes the test set-up for direct connector measurement.

E.2 Test set-up

The test set-up and measurements are in principle the same than in Clauses 8 to 10 of this document.

Contrary to the set-ups in Clauses 8 to 10 of this document, the RF-tight tube in tube and the screening cap are direct connected to the connector under test (CUT), see Figure E.1; e.g. by a screwing joint of the connector under test to the extension tube and the screening cap. The torque of this screwing joint shall be specified by the connector manufacturer.

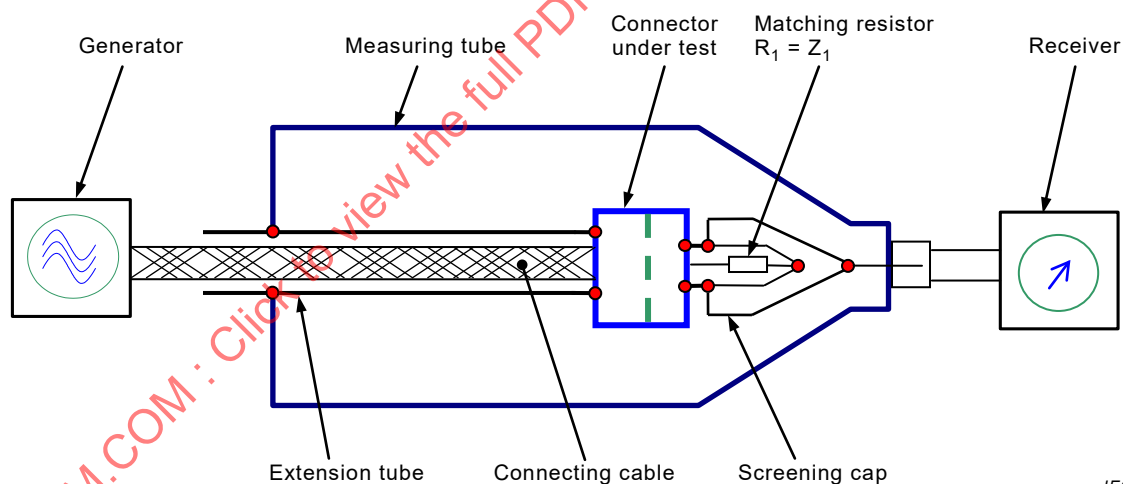


Figure E.1 – Principle of the test set-up to measure transfer impedance and screening attenuation of a connector

The same applies in principle to the set-up for measuring cable assemblies, see Figure E.2.

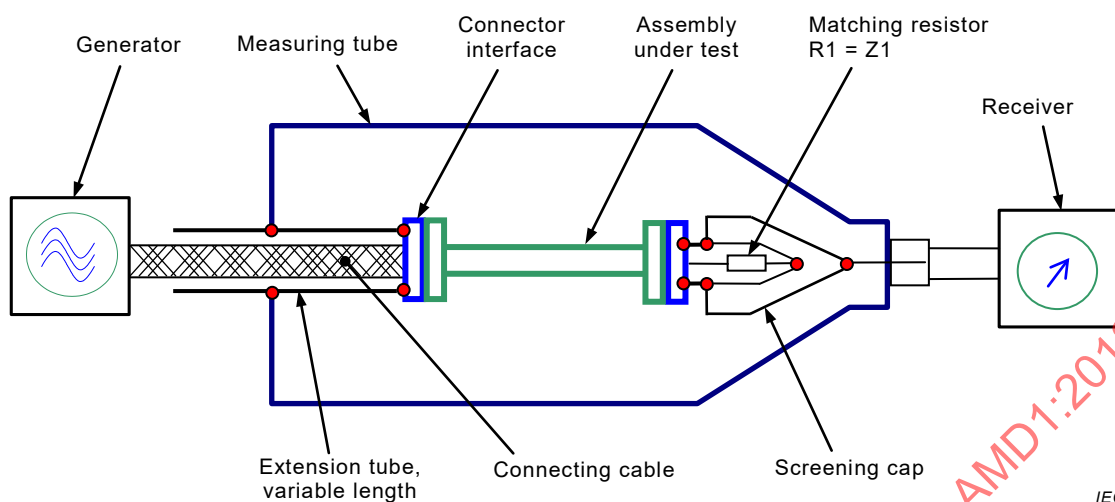
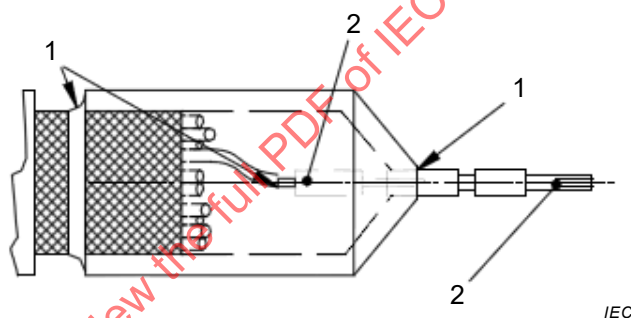


Figure E.2 – Principle of the test set-up to measure transfer impedance and screening attenuation of a cable assembly

If a multi conductor cable is tested instead of a single-conductor cable, a combination of inner conductors (cores) shall be selected such that their impedance to the screen is closest to the internal impedance of the test receiver, see Figure E.3 (e.g. determined by means of a reflectometer).



Key

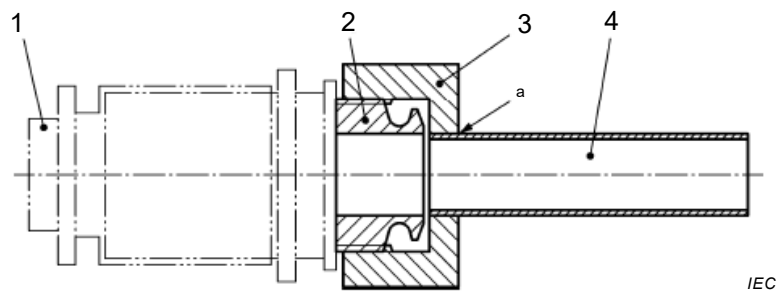
- 1 connection
- 2 terminating impedance 50 Ω
- 3 inner contact from RF connector connected to the shielded tube

Figure E.3 – Example of sample preparing

E.3 Construction details of test set-up

The connection of the RF-tight tube as well as the RF-tight connection of the screening cap may influence the test results considerably. Worse mounted connections may lead to leakages and to poor test results.

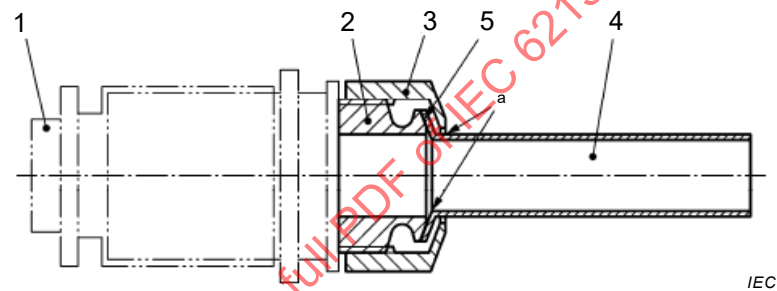
Figures E.4 and E.5 give examples of how to connect the tube in tube and the screening cap to the CUT.



Key

- 1 mating connector
- 2 coupling
- 3 bush (Cu-material)
- 4 copper tube
- ^a RF-density connection (soldered for example)

Figure E.4 – Screening tube with separate nut



Key

- 1 mating connector
- 2 coupling
- 3 nut
- 4 copper tube
- 5 cone
- ^a Matching edge raised or chamfered

Figure E.5 – Screening fixed with associated nut

Bibliography

- [1] IEC 62153-4-8, *Metallic communication cable test methods – Part 4-8: Electromagnetic compatibility (EMC) – Capacitive coupling admittance*
- [2] IEC 62153-4-9, *Metallic communication cable test methods – Part 4-8: Electromagnetic compatibility (EMC) -Coupling attenuation of screened balanced cables, triaxial method*
- [3] IEC 62153-4-10, *Metallic communication cable test methods – Part 4-10: Shielded screening attenuation test method for measuring the Screening Effectiveness of Feedtroughs and Electromagnetic Gaskets*
- [4] IEC TR 62153-4-16, *Metallic communication cable test methods – Part 4-16: Technical report on the relationship between transfer impedance and screening attenuation (under consideration).*
- [5] BREITENBACH O., HÄHNER T., MUND B., "Screening of cables in the MHz to GHz frequency range extended application of a simple measuring method", Colloquium on screening effective-ness measurements, Savoy Place London, 6 May 1998, Reference No:1998/452
- [6] HÄHNER T., MUND B., "Test methods for screening and balance of communication cables", 13th international Zurich EMC Symposium, February 16-18 1999
- [7] HALME L., KYTÖNEN R., "Background and introduction to EM screening (shielding) behaviours and measurements of coaxial and symmetrical cables, cable assemblies and connectors", Colloquium on screening effectiveness measurements, Savoy Place London, 6 May 1998, Reference No:1998/452.
- [8] HALME L., SZENTKUTI, B., "The background for electromagnetic screening measurements of cylindrical screens", Tech. Rep. PTT(1988) Nr. 3
- [9] KLEIN W., "Die Theorie des Nebensprechens auf Leitungen", (German), Springer Verlag 1955
- [10] MUND B., "Measuring the EMC on RF-connectors and connecting hardware, Tube in tube test procedure", Proceedings of the 53rd IWCS/Focus 2004, Philadelphia, USA
- [11] VG 95214-12, *Test of components – Part 12: Measuring methods for transfer impedance and screening attenuation, – transfer impedance of screened components (triaxial method, KS 12 B) and conductive gaskets (triaxial method, KS 22 B)*
- [12] VG 95214-13, *Test of components – Part 13: Measuring methods for transfer impedance and screening attenuation, screening attenuation of screened components (triaxial method, KS 13 B)*
- [13] VG 95319-2, *Electrical connectors and plug-and-socket devices – Part 2: Generic specification*
- [14] VG 95377-15, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Measuring devices and measuring equipment – Part 15: Auxiliary measuring devices*

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62153-4-7:2015+AMD1:2018 CSV

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	49
INTRODUCTION	51
1 Domaine d'application	52
2 Références normatives	52
3 Termes et définitions	52
4 Contexte physique	54
5 Principe de la méthode d'essai	54
5.1 Généralités	54
5.2 Impédance de transfert	56
5.3 Affaiblissement d'écrantage	56
5.4 Affaiblissement de couplage	56
6 Procédure d'essai	57
6.1 Généralités	57
6.2 Procédure en tubes concentriques	57
6.3 Équipement d'essai	59
6.4 Procédure d'étalonnage	59
6.5 Raccordement entre le tube d'extension et le dispositif en essai	60
6.6 Plage dynamique ou bruit de fond	60
6.7 Adaptation d'impédance	61
6.8 Influence des adaptateurs	61
7 Préparation d'échantillon	61
7.1 Connecteur ou dispositif coaxial	61
7.2 Dispositif symétrique ou multiconducteur	61
7.3 Cordon	63
8 Mesurage de l'impédance de transfert	63
8.1 Généralités	63
8.2 Diagramme de principe de l'impédance de transfert	63
8.3 Procédure de mesurage – Influence des câbles de connexion	64
8.4 Mesurage	64
8.5 Interprétation des résultats d'essais	64
8.6 Rapport d'essai	65
9 Affaiblissement d'écrantage	65
9.1 Généralités	65
9.2 Adaptation d'impédance	65
9.2.1 Généralités	65
9.2.2 Evaluation des résultats d'essais avec les conditions adaptées	66
9.2.3 Mesurage avec désadaptation	67
9.2.4 Interprétation des résultats d'essais	67
9.3 Rapport d'essai	67
10 Affaiblissement de couplage	67
10.1 Procédure	67
10.2 Expression des résultats	68
10.3 Rapport d'essai	69
10.4 Procédure sans symétriseur	69

Annexe A (normative) Détermination de l'impédance du circuit interne.....	71
Annexe B (informative) Exemple d'adaptateur d'impédance maison	72
Annexe C (informative) Mesurages de l'efficacité d'écrantage des connecteurs et des cordons.....	74
C.1 Généralités	74
C.2 Principes physiques	74
C.2.1 Équation générale de couplage.....	74
C.2.2 Fonction de transfert de couplage.....	76
C.3 Montage d'essai triaxial	78
C.3.1 Généralités	78
C.3.2 Mesurage des cordons	79
C.3.3 Mesurage des connecteurs	81
C.4 Conclusion.....	83
Annexe D (informative) Influence des résistances de contact	85
Annexe E (informative) Mesurage direct de l'efficacité d'écrantage des connecteurs.....	87
E.1 Généralités	87
E.2 Montage d'essai.....	87
E.3 Informations détaillées concernant la construction du montage d'essai	88
Bibliographie.....	90
Figure 1 – Définition de Z_T	53
Figure 2 – Principe du montage d'essai pour mesurer l'impédance de transfert et l'affaiblissement d'écrantage ou l'affaiblissement de couplage de connecteurs par tubes concentriques	55
Figure 3 – Principe du montage d'essai pour mesurer l'impédance de transfert et l'affaiblissement d'écrantage d'un cordon.....	58
Figure 4 – Principe de montage pour l'essai de vérification	60
Figure 5 – Préparation de connecteurs symétriques ou multiconducteurs.....	63
Figure 6 – Montage d'essai (principe) pour le mesurage de l'impédance de transfert selon la méthode d'essai B de l'IEC 62153-4-3	64
Figure 7 – Mesurage de l'affaiblissement d'écrantage en tubes concentriques et avec un dispositif d'adaptation d'impédance	66
Figure 8 – Mesurage de l'affaiblissement de couplage en tubes concentriques et un symétriseur	68
Figure 9 – Mesurage type d'un connecteur de 0,04 m de long avec un tube d'extension de 1 m	69
Figure 10 – Mesurage de l'affaiblissement de couplage avec un analyseur de réseau à plusieurs ports (une procédure sans symétriseur est à l'étude)	70
Figure B.1 – Affaiblissement et affaiblissement de réflexion d'un adaptateur d'impédance 50 Ω vers 5 Ω , échelle logarithmique	72
Figure B.2 – Affaiblissement et affaiblissement de réflexion d'un adaptateur d'impédance 50 Ω vers 5 Ω , échelle linéaire	73
Figure C.1 – Circuit équivalent des lignes de transmission couplées	75
Figure C.2 – Fonction somme S	76
Figure C.3 – Fonction de transfert de couplage calculée ($l = 1$ m; $e_{r1} = 2,3$; $e_{r2} = 1$; $Z_F = 0$).....	77
Figure C.4 – Montage triaxial pour le mesurage de l'affaiblissement d'écrantage a_S et de l'impédance de transfert Z_T	79

Figure C.5 – Simulation d'un cordon (échelle logarithmique)	80
Figure C.6 – Simulation d'un cordon (échelle linéaire)	80
Figure C.7 – Montage triaxial avec tube d'extension pour les cordons courts	81
Figure C.8 – Montage triaxial avec tube d'extension pour les connecteurs	82
Figure C.9 – Simulation, échelle de fréquence logarithmique	83
Figure C.10 – Mesurage, échelle de fréquence logarithmique	83
Figure C.11 – Simulation, échelle de fréquence linéaire	83
Figure C.12 – Mesurage, échelle de fréquence linéaire	83
Figure C.13 – Simulation, échelle de fréquence logarithmique	83
Figure C.14 – Simulation, échelle de fréquence linéaire	83
Figure D.1 – Résistances de contact du montage d'essai	85
Figure D.2 – Circuit équivalent du montage d'essai	85
Figure E.1 – Principe du montage d'essai pour mesurer l'impédance de transfert et l'affaiblissement d'écrantage d'un connecteur	87
Figure E.2 – Principe du montage d'essai pour mesurer l'impédance de transfert et l'affaiblissement d'écrantage d'un cordon	88
Figure E.3 – Exemple de préparation d'échantillon	88
Figure E.4 – Tube d'écrantage avec écrou séparé	89
Figure E.5 – Ecrantage fixé avec écrou associé	89
Tableau 1 – IEC 62153, Méthodes d'essai des câbles métalliques de communication – Procédures d'essais avec montage d'essai triaxial	55

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MÉTHODES D'ESSAI DES CÂBLES MÉTALLIQUES DE COMMUNICATION –

Partie 4-7: Compatibilité électromagnétique (CEM) – Méthode d'essai pour mesurer l'impédance de transfert Z_T et l'affaiblissement d'écrantage a_s ou l'affaiblissement de couplage a_c des connecteurs et des cordons jusqu'à 3 GHz et au-dessus – Méthode triaxiale en tubes concentriques

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. A cet effet, l'IEC – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de l'IEC"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à l'IEC, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de l'IEC, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

DÉGAGEMENT DE RESPONSABILITÉ

Cette version consolidée n'est pas une Norme IEC officielle, elle a été préparée par commodité pour l'utilisateur. Seules les versions courantes de cette norme et de son(ses) amendement(s) doivent être considérées comme les documents officiels.

Cette version consolidée de l'IEC 62153-4-7 porte le numéro d'édition 2.1. Elle comprend la deuxième édition (2015-12) [documents 46/572/FDIS et 46/585/RVD], son corrigendum 1 (2016-04) et son amendement 1 (2018-05) [documents 46/679/FDIS et 46/682/RVD]. Le contenu technique est identique à celui de l'édition de base et à son amendement.

Dans cette version Redline, une ligne verticale dans la marge indique où le contenu technique est modifié par l'amendement 1. Les ajouts sont en vert, les suppressions sont en rouge, barrées. Une version Finale avec toutes les modifications acceptées est disponible dans cette publication.

La Norme internationale IEC 62153-4-7 a été établie par le comité d'études 46 de l'IEC: Câbles, fils, guides d'ondes, connecteurs, composants passifs pour micro-onde et accessoires.

Cette deuxième édition constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente:

Le document a été révisé et mis à jour. Les modifications de l'IEC 62153-4-3:2013 et de l'IEC 62153-4-4:2015 sont incluses.

Les mesurages peuvent à présent être effectués sans adaptation du côté du générateur, les dispositifs d'adaptation d'impédance ne sont pas nécessaires.

La présente version bilingue (2016-03) correspond à la version anglaise monolingue publiée en 2015-12.

La version française de cette norme n'a pas été soumise au vote.

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 62153, publiées sous le titre général: *Méthodes d'essai des câbles métalliques de communication*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

Le comité a décidé que le contenu de la publication de base et de son amendement ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

- reconduite,
- supprimée,
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

IMPORTANT – Le logo "colour inside" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante couleur.

INTRODUCTION

Le montage d'essai de l'affaiblissement d'écrantage blindé selon l'IEC 62153-4-3 et l'IEC 62153-4-4 a été étendu pour prendre en compte les particularités des éléments électriquement courts comme les connecteurs et les cordons. En raison du tube concentrique externe du montage triaxial, les mesures sont indépendantes des irrégularités de la circonférence et des champs électromagnétiques externes.

Avec un tube résonnant supplémentaire (le tube interne des tubes concentriques), un système est créé, dans lequel l'efficacité d'écrantage d'un dispositif électriquement court est mesurée dans des conditions proches de la réalité et contrôlées. En outre, une fréquence de coupure inférieure pour la transition entre électriquement court (impédance de transfert Z_T) et électriquement long (affaiblissement d'écrantage a_S) peut être obtenue.

Une plage de fréquences large et dynamique peut être appliquée pour soumettre à essai même des cordons et des connecteurs fortement écrantés avec des instruments normaux depuis les basses fréquences jusqu'à la limite des ondes transversales définies dans le circuit externe à environ 4 GHz.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62153-4-7:2015+AMD1:2018 CSV

MÉTHODES D'ESSAI DES CÂBLES MÉTALLIQUES DE COMMUNICATION –

Partie 4-7: Compatibilité électromagnétique (CEM) – Méthode d'essai pour mesurer l'impédance de transfert Z_T et l'affaiblissement d'écrantage a_s ou l'affaiblissement de couplage a_c des connecteurs et des cordons jusqu'à 3 GHz et au-dessus – Méthode triaxiale en tubes concentriques

1 Domaine d'application

Cette méthode triaxiale convient pour déterminer l'impédance surfacique de transfert et/ou l'affaiblissement d'écrantage et l'affaiblissement de couplage de connecteurs équipés d'un écran accouplés (y compris la connexion entre le câble et le connecteur) et de cordons. Cette méthode pourrait également être étendue pour déterminer l'impédance de transfert, l'affaiblissement d'écrantage ou l'affaiblissement de couplage de connecteurs symétriques ou à plusieurs broches et de cordons multiconducteurs. Pour le mesurage de l'impédance de transfert et de l'affaiblissement d'écrantage ou l'affaiblissement de couplage, un seul montage d'essai est nécessaire.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. 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 TS 62153-4-1, *Metallic communication cable test methods – Part 4-1: Electromagnetic compatibility (EMC) – Introduction to electromagnetic screening measurements* (disponible en anglais seulement)

IEC 62153-4-3, *Metallic communication cable test methods – Part 4-3: Electromagnetic Compatibility (EMC) – Surface transfer impedance – Triaxial method* (disponible en anglais seulement)

IEC 62153-4-4, *Metallic communication cable test methods – Part 4-4: Electromagnetic compatibility (EMC) – Shielded screening attenuation, test method for measuring of the screening attenuation a_s up to and above 3 GHz* (disponible en anglais seulement)

IEC 62153-4-15, *Metallic communication cable test methods – Part 4-15: Electromagnetic compatibility (EMC) – Test method for measuring transfer impedance and screening attenuation – or coupling attenuation with Triaxial Cell* (disponible en anglais seulement)

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

3.1

impédance surfacique de transfert

Z_T

pour un écran électriquement court, quotient de la tension longitudinale U_1 induite dans le circuit interne par le courant I_2 délivré au circuit externe ou vice versa (voir Figure 1)

Note 1 à l'article: L'impédance surfacique de transfert est exprimée en ohms.

Note 2 à l'article: L'impédance Z_T d'un écran électriquement court est exprimée en ohms [Ω] ou en décibels par rapport à 1 Ω .

Note 3 à l'article: Voir Figure 1.

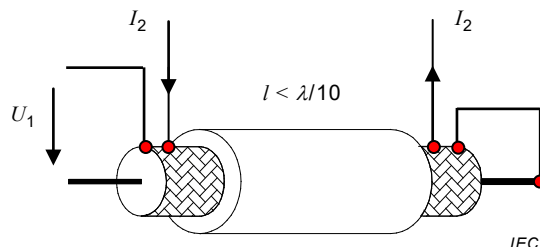


Figure 1 – Définition de Z_T

$$Z_T = \frac{U_1}{I_2} \quad (1)$$

$$Z_T \text{ dB}(\Omega) = +20 \times \log_{10} \left(\frac{|Z_T|}{1\Omega} \right) \quad (2)$$

3.2

impédance de transfert effective

Z_{TE}

impédance de transfert effective définie comme:

$$Z_{TE} = \max |Z_F \pm Z_T| \quad (3)$$

où

Z_F est l'impédance de couplage capacitif.

3.3

affaiblissement d'écrantage

a_s

pour les dispositifs électriquement longs, c'est-à-dire au-delà de la fréquence de coupure, le rapport logarithmique de la puissance d'alimentation P_1 et des valeurs maximales périodiques de la puissance couplée $P_{r,max}$ dans le circuit externe

$$a_s = -10 \log_{10} \left(\text{Env} \left| \frac{P_{r,max}}{P_1} \right| \right) \quad (4)$$

où

Env est la courbe d'enveloppe minimale des valeurs mesurées, en dB

Note 1 à l'article: L'affaiblissement d'écrantage d'un dispositif électriquement court est défini par:

$$a_s = -20 \log_{10} \frac{150\Omega}{Z_{TE}} \quad (5)$$

où

$150 \, \Omega$ est l'impédance normalisée du circuit externe.

3.4

affaiblissement de couplage

a_C

pour un dispositif symétrique équipé d'un écran, somme de l'affaiblissement asymétrique a_U de la paire symétrique et de l'affaiblissement d'écrantage a_S de l'écran du dispositif en essai

Note 1 à l'article: Pour les dispositifs électriquement longs, c'est-à-dire au-delà de la fréquence de coupure, l'affaiblissement de couplage a_C est défini comme le rapport logarithmique de la puissance d'alimentation P_1 et des valeurs maximales périodiques de la puissance couplée $P_{r,max}$ dans le circuit externe.

3.5

longueur de couplage

longueur du câble à l'intérieur du banc d'essai entre l'extrémité du tube d'extension et le capot d'écran (voir Figure 2)

Note 1 à l'article: la longueur de couplage est électriquement courte si

$$\lambda_o/l > 10 \cdot \sqrt{\varepsilon_{r1}} \text{ ou } f < \frac{c_o}{10 \cdot l \cdot \sqrt{\varepsilon_{r1}}} \quad (6)$$

ou électriquement longue si

$$\lambda_o/l \leq 2 \cdot \left| \sqrt{\varepsilon_{r1}} - \sqrt{\varepsilon_{r2}} \right| \text{ ou } f > \frac{c_o}{2 \cdot l \cdot \left| \sqrt{\varepsilon_{r1}} - \sqrt{\varepsilon_{r2}} \right|} \quad (7)$$

où

l est la longueur de couplage effective en m;

λ_o est la longueur d'onde de l'espace libre en m;

ε_{r1} est la permittivité relative résultante du diélectrique du câble;

ε_{r2} est la permittivité relative résultante du diélectrique du circuit secondaire;

f est la fréquence en Hz;

c_o est la vitesse de la lumière dans l'espace libre.

3.6

dispositif en essai

dispositif constitué de connecteurs accouplés avec leurs câbles attachés

4 Contexte physique

Voir les articles correspondants de l'IEC TS 62153-4-1, de l'IEC 62153-4-3 et de l'IEC 62153-4-4, ainsi que l'Annexe C et l'Annexe D.

5 Principe de la méthode d'essai

5.1 Généralités

La série IEC 62153-4-x décrit différentes procédures d'essais permettant de mesurer l'efficacité de la protection par écran sur les câbles de communication, les connecteurs et les composants au moyen du montage d'essai triaxial.

Le Tableau 1 donne une vue d'ensemble des procédures d'essais de l'IEC 62153-4-x réalisées avec le montage d'essai triaxial.

Tableau 1 – IEC 62153, Méthodes d'essai des câbles métalliques de communication – Procédures d'essais avec montage d'essai triaxial

	Méthodes d'essais des câbles métalliques de communication □ Compatibilité électromagnétique (CEM)
IEC TR 62153-4-1 Ed.3	Introduction to electromagnetic (EMC) screening measurements
IEC 62153-4-3 Ed.2	Surface transfer impedance – Triaxial method
IEC 62153-4-4 Ed.2	Shielded screening attenuation, test method for measuring of the screening attenuation a_s up to and above 3 GHz
IEC 62153-4-7	Méthode d'essai d'affaiblissement d'écrantage blindé pour mesurer l'impédance de transfert Z_T et l'affaiblissement d'écrantage a_s ou l'affaiblissement de couplage a_c des connecteurs RF et des cordons jusqu'à 3 GHz et au-dessus, méthode en tubes concentriques
IEC 62153-4-9	Coupling attenuation of screened balanced cables, triaxial method
IEC 62153-4-10	Shielded screening attenuation test method for measuring the screening effectiveness of feedthroughs and electromagnetic gaskets double coaxial method
IEC 62153-4-15	Test method for measuring transfer impedance and screening attenuation – or coupling attenuation with triaxial cell (à l'étude)
IEC 62153-4-16	Technical report on the relationship between transfer impedance and screening attenuation (à l'étude)

Généralement, les connecteurs RF ont des dimensions mécaniques selon l'axe longitudinal dans la plage comprise entre 20 mm et un maximum de 50 mm. La définition des éléments électriquement courts donne des fréquences de coupure ou de cassure pour la transition entre éléments électriquement courts et électriquement longs d'environ 1 GHz ou plus pour des connecteurs RF usuels.

Pour mesurer l'affaiblissement d'écrantage plutôt que l'impédance de transfert, également dans la plage des basses fréquences, la procédure en tubes concentriques a été conçue. La longueur électrique du connecteur RF est prolongée par un tube d'extension métallique ne laissant pas passer les radiofréquences (tubes concentriques). Voir Figure 2.

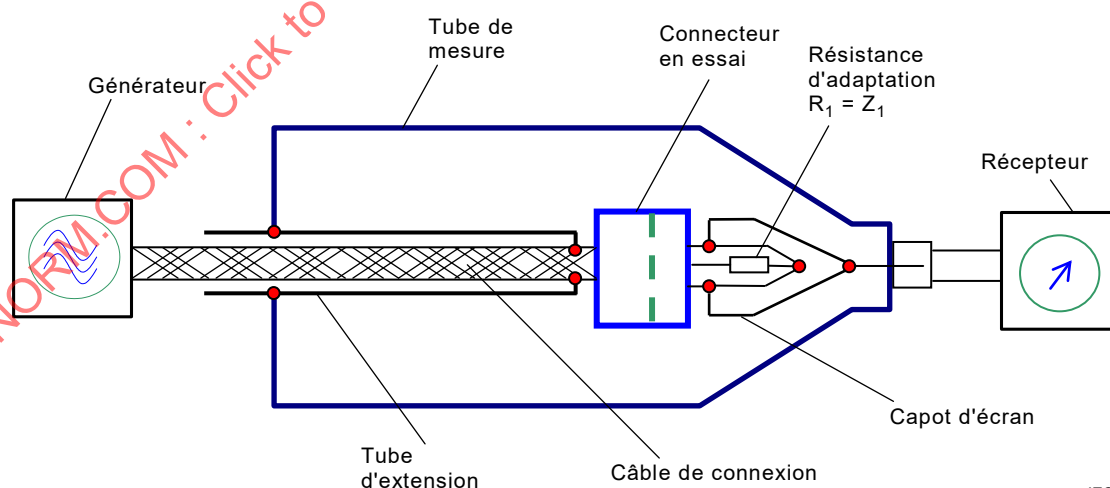


Figure 2 – Principe du montage d'essai pour mesurer l'impédance de transfert et l'affaiblissement d'écrantage ou l'affaiblissement de couplage de connecteurs par tubes concentriques

Le montage d'essai en tubes concentriques repose sur le système triaxial de l'IEC 62153-4-3 et de l'IEC 62153-4-4, comprenant le DUT¹ (dispositif en essai), un tube métallique massif et (en option) un tube d'extension ne laissant pas passer les radiofréquences. Le dispositif en essai (DUT) adapté, qui est alimenté par un générateur, forme le circuit perturbant, qui peut également être appelé circuit primaire ou interne. Les câbles de connexion du DUT sont de plus protégés par les tubes concentriques.

Le circuit perturbé, qui peut également être appelé circuit secondaire ou externe, est formé par le conducteur externe du dispositif en essai (et du tube d'extension), relié au câble de connexion et à un tube métallique massif dans l'axe duquel se trouve le dispositif en essai.

5.2 Impédance de transfert

L'essai détermine l'efficacité d'écrantage d'un câble blindé en appliquant un courant et une tension bien définis à l'écran du câble, de l'ensemble ou du dispositif en essai, et en mesurant la tension induite dans le circuit secondaire afin de déterminer l'impédance surfacique de transfert. Cet essai mesure uniquement la composante magnétique de l'impédance de transfert. Pour mesurer la composante électrostatique (l'impédance de couplage capacitif), il convient d'utiliser la méthode décrite dans l'IEC 62153-4-8.

La méthode triaxiale de mesurage est en général appropriée dans la plage de fréquences allant jusqu'à 30 MHz pour un échantillon de 1 m de long et jusqu'à 100 MHz pour un échantillon de 0,3 m de long, ce qui correspond à une longueur électrique inférieure à 1/6 de la longueur d'onde dans l'échantillon. Une description détaillée est présentée à l'Article 9 de l'IEC TS 62153-4-1:2014, ainsi que dans l'IEC 62153-4-3.

5.3 Affaiblissement d'écrantage

Le circuit perturbant ou primaire est le câble, cordon ou dispositif en essai adapté. Le circuit perturbé ou secondaire comprend le conducteur externe (ou la couche la plus extérieure dans le cas de câbles ou de dispositifs à plusieurs écrans) du câble, du cordon ou du dispositif en essai et un boîtier métallique massif, ayant le dispositif en essai dans son axe (voir Figure 3).

Les pointes de tension à l'extrémité éloignée du circuit secondaire doivent être mesurées. L'extrémité la plus proche du circuit secondaire est en court-circuit. Pour ce mesurage, un récepteur adapté n'est pas nécessaire. Les crêtes de tension attendues au niveau de l'extrémité la plus éloignée ne sont pas dépendantes de l'impédance d'entrée du récepteur, à condition que cette dernière soit inférieure à l'impédance caractéristique du circuit secondaire. Toutefois, il est préférable d'avoir un faible défaut d'adaptation, par exemple en choisissant des boîtiers de taille suffisante. Une description détaillée pourrait être consultée à l'Article 10 de l'IEC TS 62153-4-1:2014, ainsi que dans l'IEC 62153-4-4.

5.4 Affaiblissement de couplage

Les câbles, connecteurs, cordons ou dispositifs symétriques qui sont alimentés en mode différentiel peuvent rayonner une faible partie de la puissance d'entrée, du fait des irrégularités dans la symétrie. Pour les câbles, connecteurs, cordons ou dispositifs symétriques sans écran, ce rayonnement est lié à l'affaiblissement asymétrique a_u . Pour les câbles, connecteurs ou cordons symétriques écrantés, l'asymétrie produit un courant dans l'écran, qui est ensuite couplé par l'impédance de transfert et l'impédance de couplage capacitif dans le circuit externe. Le rayonnement est atténué par l'écran du composant et est lié à l'affaiblissement d'écrantage a_s .

Par conséquent, l'efficacité contre les perturbations électromagnétiques des câbles, connecteurs ou cordons symétriques blindés est la somme de l'affaiblissement asymétrique a_u de la paire et de l'affaiblissement d'écrantage a_s de l'écran. Les deux grandeurs étant en

¹ DUT = device under test.

général données sous la forme d'un rapport logarithmique, elles peuvent être simplement additionnées afin d'obtenir l'affaiblissement de couplage a_c :

$$a_c = a_u + a_s \quad (8)$$

L'affaiblissement de couplage a_c est déterminé par le rapport logarithmique de la puissance d'alimentation P_1 et des valeurs maximales périodiques de la puissance $P_{r,\max}$ (qui peuvent être rayonnées du fait des pointes de la tension U_2 dans le circuit externe):

$$a_c = -10 \log_{10} \left(\text{Env} \left| \frac{P_{r,\max}}{P_1} \right| \right) \quad (9)$$

où

Env est la courbe d'enveloppe minimale des valeurs mesurées, en dB,

La relation entre la puissance rayonnée P_r et la puissance mesurée P_2 reçue sur l'impédance d'entrée R est:

$$\frac{P_s}{P_2} = \frac{P_{s\max}}{P_{2\max}} = \frac{R}{2 \cdot Z_s} \quad (10)$$

Il y a une variation de la tension U_2 sur l'extrémité éloignée, due au couplage électromagnétique à travers l'écran et à la superposition des ondes partielles dues à l'impédance surfacique de transfert Z_T , à l'impédance de couplage capacitif Z_F (allant vers l'extrémité éloignée et l'extrémité proche) et aux ondes totalement réfléchies provenant de l'extrémité proche.

Pour alimenter le dispositif en essai symétrique, un signal en mode différentiel est nécessaire. Pour ce faire, un analyseur de réseau à deux ports (générateur et récepteur) et un symétriseur ou un analyseur de réseau à plusieurs ports peuvent être utilisés. La procédure de mesurage de l'affaiblissement de couplage avec un analyseur de réseau à plusieurs ports est à l'étude.

6 Procédure d'essai

6.1 Généralités

Les mesurages doivent être réalisés à une température de $(23 \pm 3)^\circ\text{C}$. La méthode d'essai détermine l'impédance de transfert, l'affaiblissement d'écrantage ou l'affaiblissement de couplage d'un DUT en les mesurant dans un montage d'essai triaxial selon l'IEC 62153-4-3 et l'IEC 62153-4-4.

6.2 Procédure en tubes concentriques

En règle générale, les dimensions mécaniques des connecteurs RF dans l'axe longitudinal sont comprises entre 20 mm et 50 mm au maximum. La définition des éléments électriquement courts donne des fréquences de coupure ou de cassure pour la transition entre éléments électriquement courts et électriquement longs d'environ 1 GHz ou plus pour des connecteurs RF usuels.

Dans la plage de fréquences allant jusqu'à la fréquence de coupure, auxquelles le dispositif en essai est électriquement court, l'impédance de transfert du dispositif en essai peut être

mesurée. Pour les fréquences supérieures à la fréquence de coupure, auxquelles le DUT est électriquement long, l'affaiblissement d'écrantage peut être mesuré.

Si la longueur électrique du connecteur RF est augmentée au moyen d'un tube d'extension métallique fermé ne laissant pas passer les radiofréquences (tubes concentriques), la combinaison soumise à essai devient électriquement longue et la fréquence de coupure se déplace vers une plage de fréquences inférieure. De cette manière, même dans la plage de fréquences inférieure, l'affaiblissement d'écrantage peut être mesuré, et l'impédance de transfert effective sur les dispositifs de longueur électrique courte peut être calculée.

Le montage d'essai est un système triaxial constitué du DUT, d'un tube métallique massif et d'un tube d'extension ne laissant pas passer les radiofréquences. Le dispositif en essai (DUT) adapté, alimenté par un générateur, forme le circuit perturbant, qui peut également être appelé circuit primaire ou circuit interne.

Le circuit perturbé, pouvant également être appelé circuit secondaire ou circuit externe, est formé par le conducteur externe du dispositif en essai, relié au tube d'extension et à un tube métallique massif dans l'axe duquel se trouve le DUT.

Le principe du montage d'essai est présenté à la Figure 2 et à la Figure 3. Le montage d'essai est le même, qu'il s'agisse de mesurer l'impédance de transfert, l'affaiblissement d'écrantage ou l'affaiblissement de couplage, mais la longueur du tube interne et du tube externe peuvent varier.

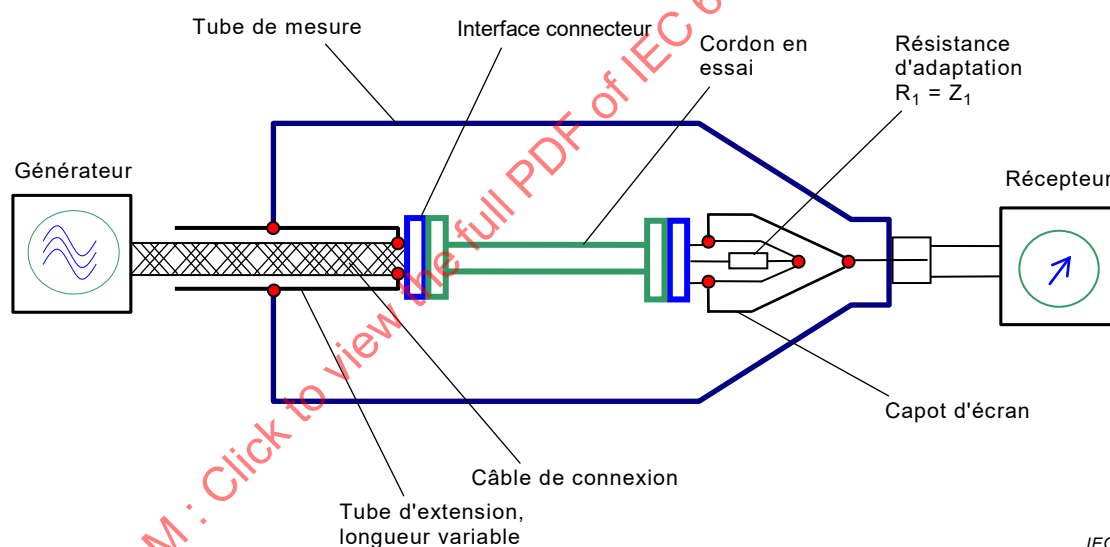


Figure 3 – Principe du montage d'essai pour mesurer l'impédance de transfert et l'affaiblissement d'écrantage d'un cordon

Le rapport de tensions entre la tension à l'extrémité la plus proche (U_1) du circuit interne (générateur) et la tension à l'extrémité la plus éloignée (U_2) du circuit secondaire (récepteur) doit être mesuré (U_1/U_2). L'extrémité la plus proche du circuit secondaire est en court-circuit.

Selon la longueur électrique de la combinaison soumise à essai, du DUT et du tube d'extension, le résultat peut être exprimé par l'impédance de transfert, l'impédance de transfert effective ou l'affaiblissement d'écrantage (ou l'affaiblissement de couplage).

Pour ce mesurage, un récepteur adapté n'est pas nécessaire. Les éventuelles crêtes de tension à l'extrémité la plus éloignée ne dépendent pas de l'impédance d'entrée du récepteur, à condition que cette dernière soit inférieure à l'impédance caractéristique du circuit secondaire. Toutefois, il est préférable d'avoir un faible défaut d'adaptation, par exemple en choisissant une plage de diamètres de tube pour plusieurs tailles de câbles coaxiaux.

6.3 Équipement d'essai

Le principe du montage d'essai est représenté à la Figure 2 et à la Figure 3, ce montage comprenant:

- un appareillage de forme coaxiale triple de longueur suffisante pour produire une superposition des ondes dans des bandes de fréquences étroites, ce qui permet de dessiner la courbe de l'enveloppe,
- des tubes de longueurs variables, par exemple différentes parties de tube et/ou des tubes concentriques mobiles. Dans le cas de connecteurs ou de composants plus gros, les tubes triaxiaux peuvent être remplacés par une cellule triaxiale selon l'IEC 62153-15.
- un tube d'extension (concentrique) ne laissant pas passer les radiofréquences, de longueur variable. Il convient, de préférence, que le diamètre de ce tube soit tel que l'impédance caractéristique par rapport au tube externe soit égale à $50\ \Omega$ ou à l'impédance d'onde caractéristique nominale de l'analyseur de réseau ou du générateur et du récepteur. Le matériau du tube d'extension ne doit pas être ferromagnétique, doit être très conducteur (cuivre ou laiton) et doit avoir une épaisseur de $\geq 1\text{ mm}$, de sorte que l'impédance de transfert soit négligeable comparée à l'impédance de transfert du dispositif en essai,
- un générateur de signal et un récepteur muni d'un affaiblisseur à paliers étalonné et d'un amplificateur de puissance, le cas échéant, pour un affaiblissement d'écrantage très élevé. Le générateur et le récepteur peuvent être installés dans un analyseur de réseau.
- un symétriseur pour adapter l'impédance du signal de sortie de générateur asymétrique sur l'impédance d'onde caractéristique de câbles symétriques, pour le mesurage de l'affaiblissement de couplage. Les exigences relatives au symétriseur sont données dans l'IEC 62153-4-9:2008, 6.2. Outre un symétriseur, un analyseur de réseau avec option de mode mixte (les procédures avec l'analyseur de réseau avec option de mode mixte sont à l'étude) peut être utilisé.

L'équipement optionnel est le suivant:

- réflectomètre dans le domaine temporel (TDR) présentant un temps de montée inférieur à 200 ps ou un analyseur de réseau de fréquence maximale allant jusqu'à 5 GHz et capable de fonctionner dans le domaine temporel.

6.4 Procédure d'étalonnage

L'étalonnage doit être établi aux mêmes points de fréquence que ceux auxquels le mesurage est réalisé, c'est-à-dire selon un balayage en fréquence logarithmique sur l'ensemble de la plage de fréquences, spécifiée pour l'impédance de transfert.

Si un analyseur de réseau vectoriel est utilisé avec l'appareil d'essai de paramètres S, un étalonnage complet doit être établi sur deux ports, en y incluant les câbles de connexion utilisés pour raccorder le montage d'essai à l'équipement d'essai. Les plans de référence pour l'étalonnage sont les interfaces de connecteur des câbles de connexion.

Si un analyseur de réseau (vectoriel) est utilisé sans appareil d'essai de paramètres S, c'est-à-dire un répartiteur de puissance, un étalonnage THRU doit être établi, en y incluant les câbles d'essais utilisés pour raccorder le montage d'essai à l'équipement d'essai.

Si un générateur de signal et un récepteur séparés sont utilisés, l'affaiblissement composite des câbles d'essais doit être mesuré et les données d'étalonnage doivent être enregistrées, de façon à pouvoir corriger les résultats.

$$a_{\text{cal}} = 10 \log_{10} \left(\frac{P_1}{P_2} \right) = -20 \log_{10} (S_{21}) \quad (11)$$

où

P_1 est la puissance introduite lors la procédure d'étalonnage;
 P_2 est la puissance au niveau du récepteur lors la procédure d'étalonnage.

Si des amplificateurs sont utilisés, leur gain doit être mesuré sur la plage de fréquences mentionnée ci-dessus, et les données doivent être enregistrées.

Si un adaptateur d'impédance est utilisé, l'affaiblissement doit être mesuré sur la plage de fréquences mentionnée ci-dessus, et les données doivent être enregistrées. Pour ce faire, deux adaptateurs d'impédance du même type et du même fabricant peuvent être raccordés l'un à l'autre "dos à dos" et en mesurant:

$$2 \cdot a_{\text{imd}} = 10 \log_{10} \left(\frac{P_1}{P_2} \right) = -20 \log_{10} (S_{21}) \quad (12)$$

6.5 Raccordement entre le tube d'extension et le dispositif en essai

Le raccordement entre le tube d'extension et les câbles attachés du dispositif en essai doit être tel que la résistance de contact soit négligeable. Une technique de connexion possible ainsi qu'une description de l'influence des résistances de contact sont données à l'Annexe D.

6.6 Plage dynamique ou bruit de fond

Dans l'essai de vérification, l'impédance de transfert résiduelle et le bruit de fond généré par le raccordement du câble d'alimentation au tube d'extension doivent être déterminés.

Le câble d'alimentation est adapté sur son impédance caractéristique et relié à la tête d'essai. Le tube d'extension doit ensuite être relié au câble d'alimentation (sans le DUT) en utilisant la même technique de raccordement que pendant l'essai. Le câble entre les points de connexion doit être le plus court possible (voir Figure 4).

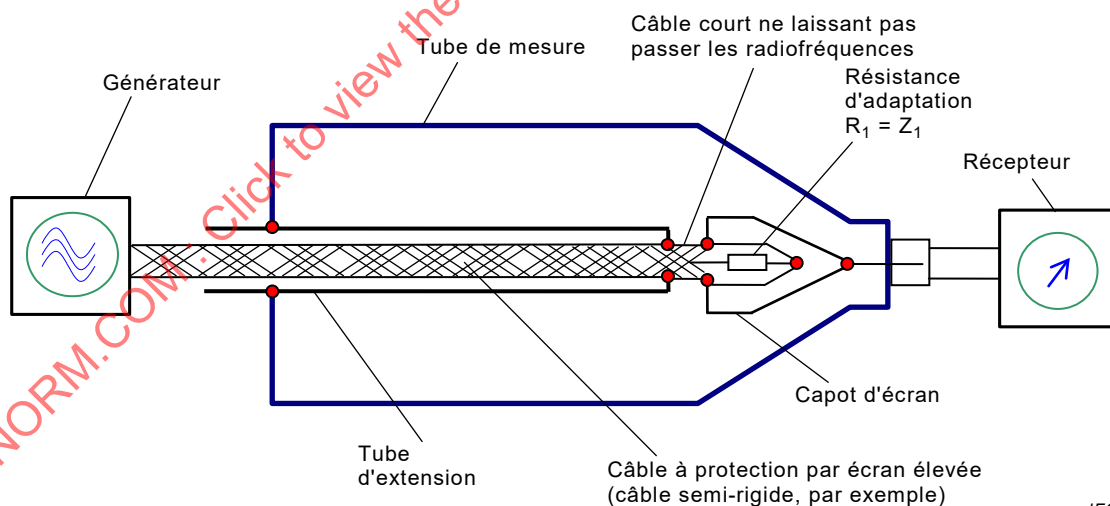


Figure 4 – Principe de montage pour l'essai de vérification

Le rapport de tension U_1/U_2 doit être mesuré avec l'analyseur de réseau.

Le bruit de fond a_n du raccordement du tube d'extension au câble d'alimentation est alors donné par:

$$a_n = 20 \log_{10} (U_1 / U_2) \quad (13)$$

Le bruit de fond doit être meilleur que la valeur mesurée d'au moins 10 dB.

L'impédance de transfert résiduelle du raccordement du tube d'extension au câble d'alimentation est donnée par:

$$Z_{Tr} = Z_1 \left| \frac{U_2}{U_1} \right| \quad (14)$$

6.7 Adaptation d'impédance

Si l'impédance caractéristique nominale du système (quasi) coaxial est inconnue, elle peut être mesurée soit en utilisant un TDR présentant un temps de montée maximal de 200 ps, soit en utilisant la méthode décrite à l'Annexe A. Il n'est pas recommandé d'utiliser un adaptateur d'impédance pour adapter l'impédance du générateur et celle du système (quasi) coaxial, car cela réduit la plage dynamique du montage d'essai et peut offrir une adaptation suffisante (affaiblissement de réflexion) seulement jusqu'à 100 MHz si les adaptateurs maison nécessaires pour les impédances autres que 60 Ω ou 75 Ω sont utilisés (voir l'Annexe B).

6.8 Influence des adaptateurs

Lors du mesurage de l'impédance de transfert, de l'affaiblissement d'écrantage ou de l'affaiblissement de couplage sur des connecteurs ou des cordons, des adaptateurs d'essais sont exigés si aucun connecteur d'accouplement du DUT n'est disponible.

Les adaptateurs d'essais et/ou les connecteurs d'accouplement peuvent limiter la sensibilité du montage d'essai et peuvent avoir un impact sur le mesurage.

Le type et/ou la conception de l'adaptateur d'essai doivent être précisés dans le rapport d'essai.

Une description plus détaillée de la conception et de l'impact des adaptateurs d'essais est à l'étude.

7 Préparation d'échantillon

7.1 Connecteur ou dispositif coaxial

Un câble d'alimentation doit être monté sur le connecteur en essai et sa partie accouplement conformément aux spécifications du fabricant. Une extrémité doit être reliée à la tête d'essai si le câble d'alimentation est adapté à l'impédance caractéristique nominale du dispositif en essai. Il peut être court-circuité si l'impédance de transfert est mesurée avec la méthode C: court-court (désadapté) sans résistance d'amortissement selon l'IEC 62153-4-3.

L'autre extrémité du câble de connexion doit passer à travers le tube d'extension et être reliée au générateur. Du côté du dispositif en essai, l'écran du câble d'alimentation doit être relié au tube d'extension avec une faible résistance de contact (voir 6.2 et l'Annexe B). Du côté du générateur, l'écran du câble d'alimentation ne doit pas être relié au tube d'extension.

7.2 Dispositif symétrique ou multiconducteur

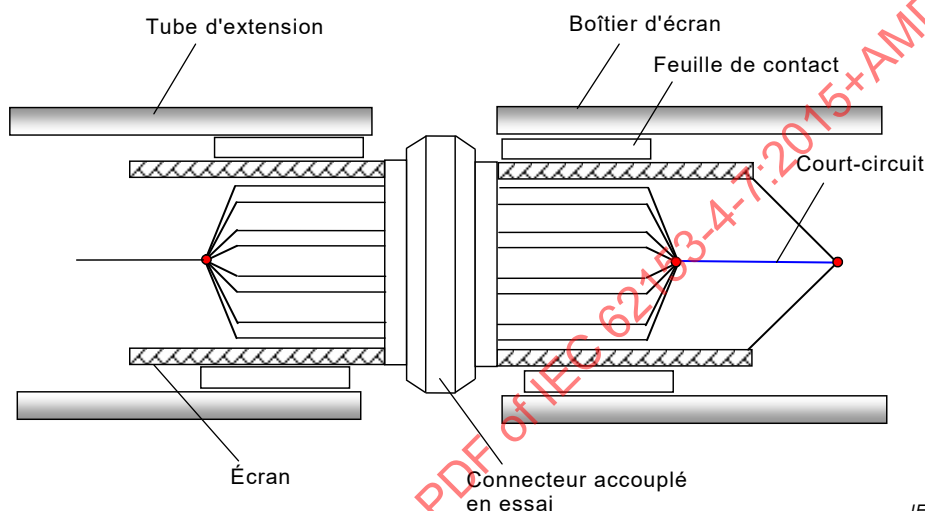
Un câble symétrique ou multiconducteur utilisé habituellement avec le connecteur en essai doit être monté sur le connecteur en essai et sa partie accouplement conformément aux spécifications du fabricant.

Lors du mesurage de l'impédance de transfert ou de l'affaiblissement d'écrantage, les câbles symétriques ou multiconducteurs équipés d'un écran sont traités comme un système quasi

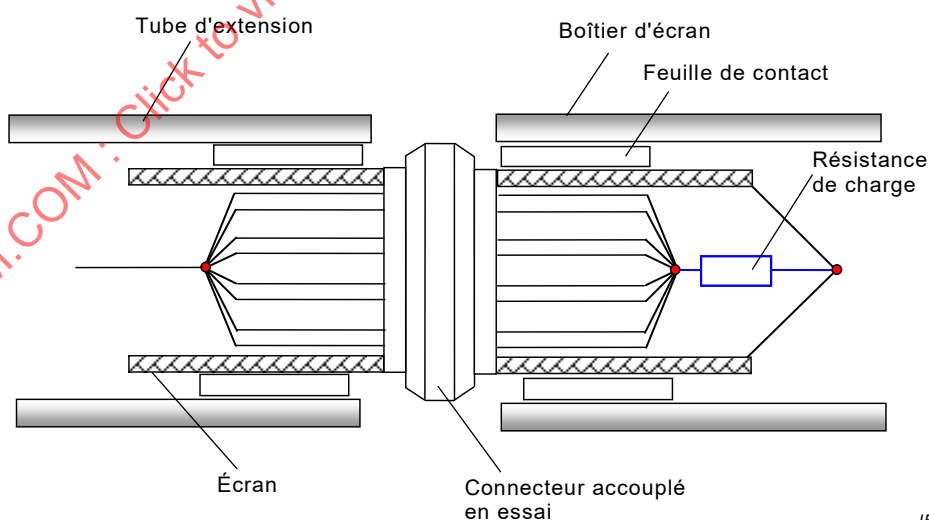
coaxial. Ainsi, au niveau des extrémités ouvertes du câble d'alimentation, tous les conducteurs de toutes les paires doivent être reliés les uns aux autres. Tous les écrans, y compris ceux des paires ou des quarts comportant un écran individuellement, doivent être reliés les uns aux autres aux deux extrémités. Tous les écrans doivent être reliés sur toute la circonférence (voir la Figure 5a et la Figure 5b).

Une extrémité doit alors être reliée à la tête d'essai si le câble d'alimentation est adapté à l'impédance caractéristique (affaiblissement d'écrantage et impédance de transfert avec procédure court-circuit/d'adaptation) ou avec un court-circuit (impédance de transfert avec procédure court-circuit/court-circuit).

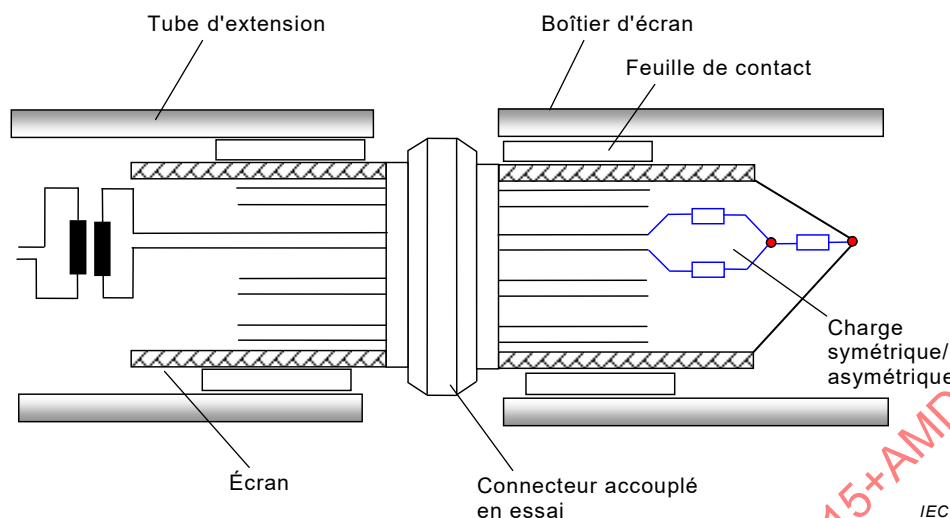
Une extrémité du câble de connexion doit ensuite être reliée à la tête d'essai si le câble de connexion est adapté à l'impédance caractéristique nominale du DUT.



a) Principe de préparation de connecteurs symétriques ou multiconducteurs pour l'impédance de transfert (court-circuit/court-circuit)



b) Principe de préparation de connecteurs symétriques ou multiconducteurs pour l'impédance de transfert (court-circuit/adaptation) et l'affaiblissement d'écrantage



c) Principe de préparation de connecteurs symétriques ou multiconducteurs pour l'affaiblissement de couplage

Figure 5 – Préparation de connecteurs symétriques ou multiconducteurs

7.3 Cordon

Si le cordon tient dans le tube, il doit être mesuré conformément à la Figure 3. Les cordons plus longs peuvent être coupés et chaque site mesuré séparément.

8 Mesurage de l'impédance de transfert

8.1 Généralités

L'IEC 62153-4-3 décrit trois procédures d'essais triaxiales différentes:

- Méthode d'essai A: Circuit interne adapté avec résistance d'amortissement dans le circuit externe
- Méthode d'essai B: Circuit interne avec résistance de charge et circuit externe sans résistance d'amortissement
- Méthode d'essai C: Court-circuit (désadapté) sans résistance d'amortissement

La procédure décrite ici est en principe la même que la méthode d'essai B de l'IEC 62153-4-3: Circuit interne adapté n'utilisant pas l'adaptateur d'impédance et ne présentant pas de résistance d'amortissement R_2 . Sa plage dynamique est plus élevée que le circuit de la méthode d'essai A de l'IEC 62153-4-3.

La résistance de charge R_1 pourrait soit être égale à l'impédance du circuit interne, soit être égale à l'impédance du générateur. Le deuxième cas est intéressant lorsqu'un analyseur de réseau est utilisé avec répartiteur de puissance plutôt qu'un appareil d'essai de paramètres S.

NOTE D'autres procédures de l'IEC 62153-4-3 peuvent par conséquent être appliquées si cela est exigé.

8.2 Diagramme de principe de l'impédance de transfert

Un diagramme du montage d'essai utilisé pour mesurer l'impédance de transfert selon la méthode d'essai B de l'IEC 62153-4-3 est présenté à la Figure 6.

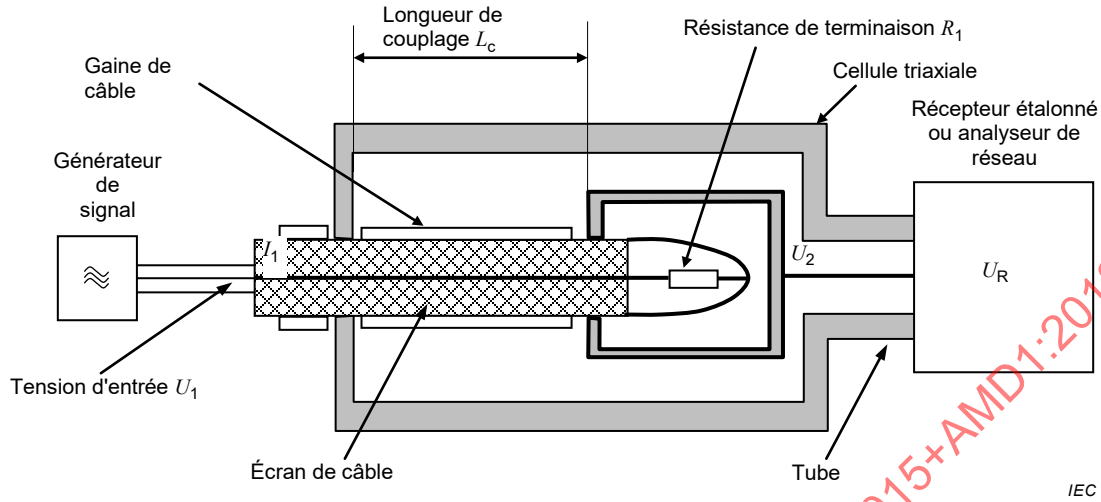


Figure 6 – Montage d'essai (principe) pour le mesurage de l'impédance de transfert selon la méthode d'essai B de l'IEC 62153-4-3

8.3 Procédure de mesurage – Influence des câbles de connexion

Lors du mesurage d'un connecteur ou d'un composant sans tube concentrique, l'impédance de transfert des câbles de connexion à l'intérieur du tube et servant à brancher le DUT doit être mesurée.

L'impédance de transfert des câbles de connexion qui permettent de brancher le DUT doit être mesurée conformément à l'IEC 62153-4-3. La valeur mesurée doit être rapportée à la longueur des câbles de connexion situés à l'intérieur du montage d'essai et servant à brancher le DUT, le résultat étant l'impédance de transfert des câbles de connexion, Z_{con} .

8.4 Mesurage

Le DUT doit être raccordé au générateur et le circuit externe (le tube) au récepteur.

L'affaiblissement, a_{meas} , doit de préférence être mesuré selon un balayage en fréquence logarithmique sur l'ensemble de la plage de fréquences, qui est spécifiée pour l'impédance de transfert et aux mêmes points de fréquence que pour la procédure d'étalonnage:

$$a_{\text{meas}} = 10 \log_{10} \left(\frac{P_1}{P_2} \right) = -20 \log_{10} (S_{21}) \quad (15)$$

ou

P_1 est la puissance entrant dans le circuit interne;

P_2 est la puissance dans le circuit externe.

8.5 Interprétation des résultats d'essais

La conversion entre l'affaiblissement mesuré et l'impédance de transfert est donnée par la formule suivante:

$$Z_T = \frac{R_1 + Z_0}{2} \cdot 10^{\left(\frac{a_{\text{meas}} - a_{\text{cal}}}{20} \right)} - Z_{\text{con}} \quad (16)$$

ou

$$Z_T = \frac{R_1 + Z_0}{2} \cdot 10^{\left(\frac{a_{\text{meas}} - a_{\text{cal}}}{20} \right)} - Z_{Tr} \quad (17)$$

si la méthode en tubes concentriques est utilisée.

où

Z_T est l'impédance de transfert;

Z_0 est l'impédance du système (en général 50 Ω);

a_{meas} est l'affaiblissement mesuré par la procédure de mesure;

a_{cal} est l'affaiblissement des câbles de connexion s'il n'a pas été éliminé par la procédure d'étalonnage de l'équipement d'essai;

R_1 est la résistance de terminaison dans le circuit interne (qui est soit égale à l'impédance du circuit interne, soit égale à l'impédance du générateur),

Z_{con} est l'impédance de transfert des câbles de connexion;

Z_{Tr} est l'impédance de transfert résiduelle (voir 6.6).

NOTE Contrairement au mesurage de l'impédance de transfert des écrans de câble, l'impédance de transfert des connecteurs ou des cordons n'est pas liée à la longueur.

8.6 Rapport d'essai

Le rapport d'essai doit consigner les résultats d'essais et doit indiquer si les exigences de la spécification particulière correspondante sont satisfaites.

L'utilisation et la conception des adaptateurs d'essais (le cas échéant) doivent être décrites.

9 Affaiblissement d'écrantage

9.1 Généralités

Cette méthode est en principe la même que celle décrite dans l'IEC 62153-4-4.

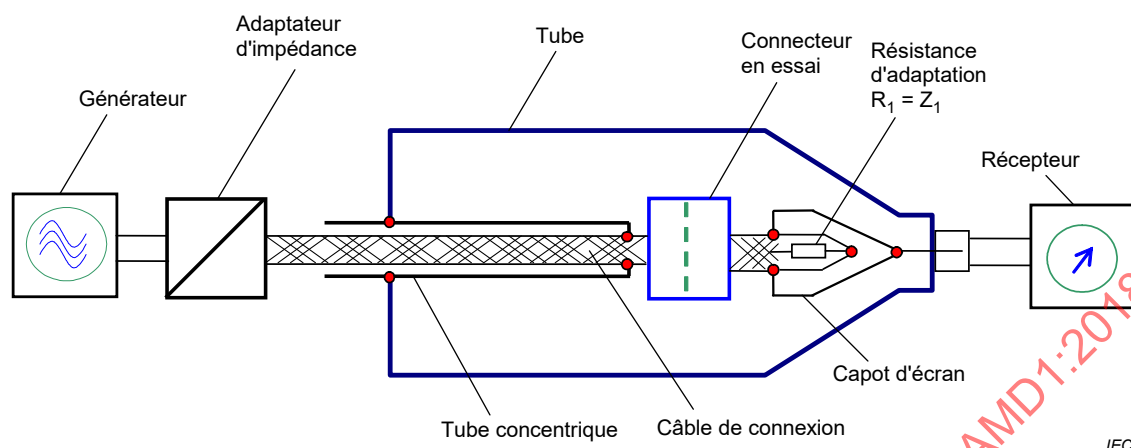
9.2 Adaptation d'impédance

9.2.1 Généralités

L'affaiblissement d'écrantage peut être mesuré avec ou sans adaptation d'impédance.

Si l'impédance caractéristique du DUT est inconnue, l'impédance caractéristique nominale du système quasi coaxial peut être mesurée soit en utilisant un TDR présentant un temps de montée maximal de 200 ps, soit en utilisant la méthode décrite à l'Annexe A de l'IEC 62153-4-4.

Il n'est pas recommandé d'utiliser un adaptateur d'impédance pour adapter l'impédance du générateur et celle du système en essai (voir la Figure 7) car cela réduit la plage dynamique du montage d'essai et peut offrir une adaptation suffisante (affaiblissement de réflexion) seulement jusqu'à 100 MHz si des adaptateurs maison nécessaires pour les impédances autres que 60 Ω ou 75 Ω sont utilisés (voir l'Annexe B de l'IEC 62153-4-4).



9.2.3 Mesurage avec désadaptation

Le DUT doit être relié au port 1 et la tête d'essai du montage doit être reliée au port 2 de l'analyseur de réseau vectoriel.

Si l'impédance caractéristique Z_1 du DUT n'est pas connue, elle doit être mesurée (voir 9.2).

Le facteur de répartition S_{21} doit être mesuré.

Seules les valeurs de crête du graphique d'affaiblissement d'écrantage obtenu sont utilisées pour déterminer la courbe de l'enveloppe.

9.2.4 Interprétation des résultats d'essais

L'affaiblissement d'écrantage a_s qui est comparable aux résultats de la méthode par pince absorbante doit être calculé avec la valeur normalisée déterminée arbitrairement $Z_s = 150 \Omega$.

$$a_s = 10 \log_{10} \left| \frac{P_1}{P_{r,\max}} \right| = 10 \log_{10} \left| \frac{P_1}{P_{2,\max}} \cdot \frac{2 \times Z_s}{R} \right| \quad (20)$$

$$= Env \left\{ -20 \log_{10} |S_{21}| + 10 \log_{10} |1 - r^2| + 10 \log_{10} \left| \frac{300 \Omega}{Z_1} \right| \right\} \quad (21)$$

où

a_s est l'affaiblissement d'écrantage lié à l'impédance rayonnante de 150Ω en dB;

Env est la courbe d'enveloppe minimale des valeurs mesurées, en dB;

S_{21} est le facteur de répartition S_{21} (grandeur complexe) du montage lorsque le côté primaire des deux ports est le DUT et le côté secondaire le tube;

r est le coefficient de réflexion $= \left(\frac{Z_0 - Z_1}{Z_0 + Z_1} \right)$;

Z_0 est l'impédance caractéristique du système en Ω , (en général 50Ω);

Z_1 est l'impédance caractéristique (sous forme complexe) du dispositif en essai, en Ω .

9.3 Rapport d'essai

Le rapport d'essai doit consigner les résultats d'essais et doit indiquer si les exigences de la spécification particulière correspondante sont satisfaites.

L'utilisation et la conception des adaptateurs d'essais (le cas échéant) doivent être décrites.

10 Affaiblissement de couplage

10.1 Procédure

Le DUT est relié aux câbles de connexion selon les instructions du fabricant et se termine à l'extrémité éloignée par des terminaisons différentielles et de mode commun selon la Figure 5c. L'échantillon est ensuite centré dans le tube, puis alimenté par un générateur en mode différentiel par l'intermédiaire d'un symétriseur, voir la Figure 8. D'autre part, le DUT peut être alimenté par un analyseur de réseau à plusieurs ports. Voir la Figure 10 (la procédure est à l'étude).

Le quotient des tensions en sortie du circuit externe et à l'entrée du câble est mesuré, soit directement à l'aide d'un analyseur de réseau, soit avec un affaiblisseur à paliers étalonné [en

partant du principe que l'impédance d'entrée du récepteur est égale à l'impédance de sortie du générateur de signal ($R = Z_1$) inséré en remplacement de l'appareil triaxial.

Seules les valeurs de crête du maximum du rapport des tensions ou du minimum de l'affaiblissement doivent être mesurées et consignées comme fonction de la fréquence pour déterminer la courbe de l'enveloppe.

L'affaiblissement introduit en incluant des adaptateurs au lieu de procéder à un raccordement direct doit être pris en compte lors de l'étalonnage de l'appareil triaxial.

Le rapport de tension mesuré ne dépend pas du diamètre du tube externe du montage d'essai triaxial ni de l'impédance caractéristique Z_2 du système externe, à condition que Z_2 soit supérieur à l'impédance d'entrée du récepteur.

NOTE La procédure pour effectuer le mesurage avec un analyseur de réseau à plusieurs ports avec l'option de mode mixte plutôt qu'avec un symétriseur est à l'étude.

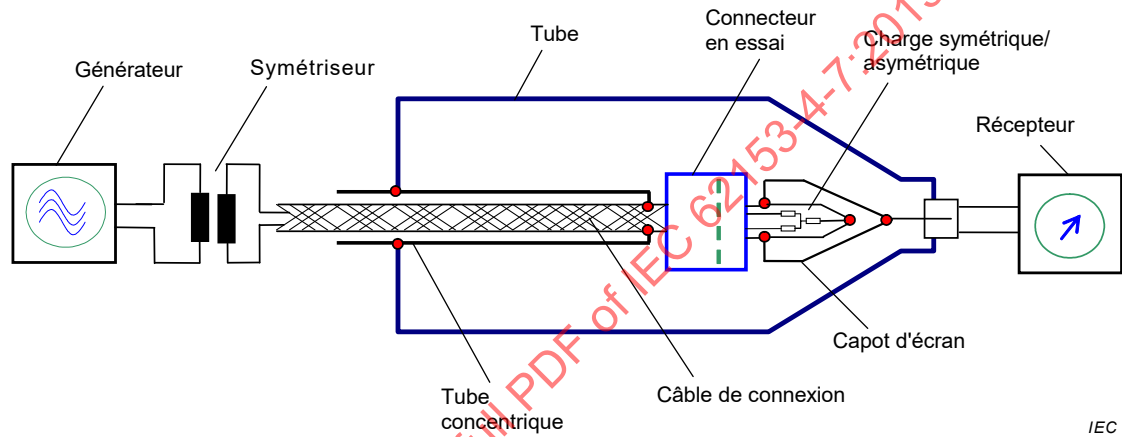


Figure 8 – Mesurage de l'affaiblissement de couplage en tubes concentriques et un symétriseur

10.2 Expression des résultats

L'affaiblissement du symétriseur doit être soustrait des résultats de mesurage. L'affaiblissement de couplage a_c doit être calculé avec la valeur normalisée $Z_S = 150 \Omega$:

$$a_c = 10 \cdot \log_{10} \left| \frac{P_1}{P_{r,\max}} \right| = 10 \cdot \log_{10} \left| \frac{P_1}{P_{2,\max}} \cdot \frac{2 \cdot Z_S}{R} \right| \quad (22)$$

$$= 20 \cdot \log_{10} \left| \frac{U_1}{U_{2\max}} \right| + 10 \cdot \log_{10} \left| \frac{300 \Omega}{Z_1} \right| \quad (23)$$

$$= a_{m,\min} - a_z + 10 \cdot \log_{10} \left| \frac{300 \cdot \Omega}{Z_1} \right| \quad (24)$$

où

- a_C est l'affaiblissement de couplage lié à l'impédance rayonnante normalisée de 150Ω en dB;
- $a_{m,min}$ est l'affaiblissement consigné comme étant la courbe d'enveloppe minimale des valeurs, en dB;
- a_z est l'affaiblissement supplémentaire d'un symétriseur inséré, s'il n'a pas été éliminé par exemple par l'étalonnage, en dB;
- U_1 est la tension d'entrée du circuit primaire formé par le câble, en V;
- U_2 est la tension de sortie du circuit secondaire, en V;
- Z_1 est l'impédance caractéristique (en mode différentiel) du câble en essai, en Ω

10.3 Rapport d'essai

Le rapport d'essai doit indiquer si les résultats de l'affaiblissement de couplage minimal sont conformes à la valeur indiquée dans la spécification de câble concernée.

Si une valeur de limitation de la puissance rayonnée est spécifiée pour un système de câbles fonctionnant à un niveau de puissance défini, la différence entre le niveau de puissance et la limite de la puissance rayonnée ne doit pas être supérieure à l'affaiblissement de couplage du câble fourni pour le système.

L'utilisation et la conception des adaptateurs d'essais (le cas échéant) doivent être décrites.

Un graphique de mesure type d'un connecteur est donné à la Figure 9.

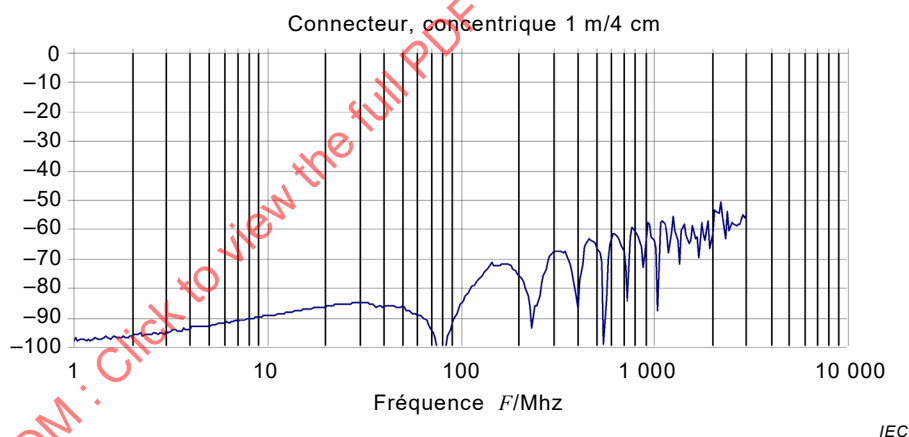


Figure 9 – Mesurage type d'un connecteur de 0,04 m de long avec un tube d'extension de 1 m

10.4 Procédure sans symétriseur

Pour mesurer l'affaiblissement de couplage et l'affaiblissement asymétrique, un signal différentiel est exigé. Il peut être par exemple généré à l'aide d'un symétriseur qui convertit le signal asymétrique d'un réseau de 50Ω en signal symétrique. Toutefois, dans le commerce, les symétriseurs ne sont disponibles qu'à 1,2 GHz au maximum.

Autrement, un signal symétrique peut être obtenu avec un analyseur de réseau muni de deux générateurs présentant un décalage de phase de 180° . Une autre approche consiste à procéder à des mesures avec un analyseur de réseau vectoriel à plusieurs ports (symétriseur virtuel).

La procédure d'essai sans symétriseur est à l'étude.

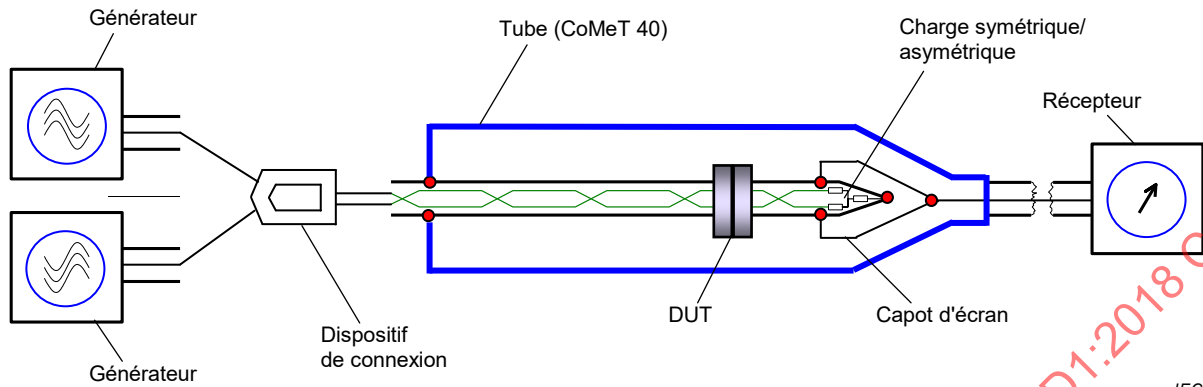


Figure 10 – Mesurage de l'affaiblissement de couplage avec un analyseur de réseau à plusieurs ports (une procédure sans symétriseur est à l'étude)

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62153-4-7:2015+AMD1:2018 CSV

Annexe A (normative)

Détermination de l'impédance du circuit interne

Si l'impédance Z_1 du circuit interne n'est pas connue, elle peut être déterminée au moyen d'un TDR présentant un temps de montée maximal de 200 ps ou par la méthode suivante qui utilise un analyseur de réseau (vectoriel) (VNA).

Une extrémité de l'échantillon préparé est reliée à l'analyseur de réseau vectoriel, qui est étalonné pour des mesurages d'impédance au niveau du plan de référence de l'interface connecteur. La fréquence d'essai doit être approximativement la fréquence à laquelle la longueur de l'échantillon est $1/8 \lambda$, où λ est la longueur d'onde.

$$f_{\text{test}} \approx \frac{c_0}{8 \cdot L_{\text{sample}} \cdot \sqrt{\epsilon_{r1}}} \quad (\text{A.1})$$

où

f_{test} est la fréquence d'essai;

c est la vitesse de la lumière 3×10^8 m/s;

L_{sample} est la longueur de l'échantillon.

L'échantillon est en court-circuit à l'extrémité la plus éloignée. L'impédance Z_{short} est mesurée.

L'échantillon est laissé ouvert à l'endroit où il était en court-circuit. L'impédance Z_{open} est mesurée.

Z_1 est calculé comme suit:

$$Z_1 = \sqrt{Z_{\text{short}} \cdot Z_{\text{open}}} \quad (\text{A.2})$$

Annexe B (informative)

Exemple d'adaptateur d'impédance maison

Les Figures B.1 et B.2 présentent l'affaiblissement et l'affaiblissement de réflexion d'un adaptateur d'impédance 50 Ω vers 5 Ω . Une impédance de 5 Ω est une valeur courante pour un DUT lorsque des câbles multipaires contenant des paires écrantées individuellement sont mesurés ou que des câbles haute tension de véhicules électriques sont mesurés.

L'affaiblissement et l'affaiblissement de réflexion ont été obtenus à partir d'un mesurage en circuit ouvert/court-circuit. Il peut être constaté que l'adaptateur d'impédance ne fonctionne que jusqu'à 10 MHz.

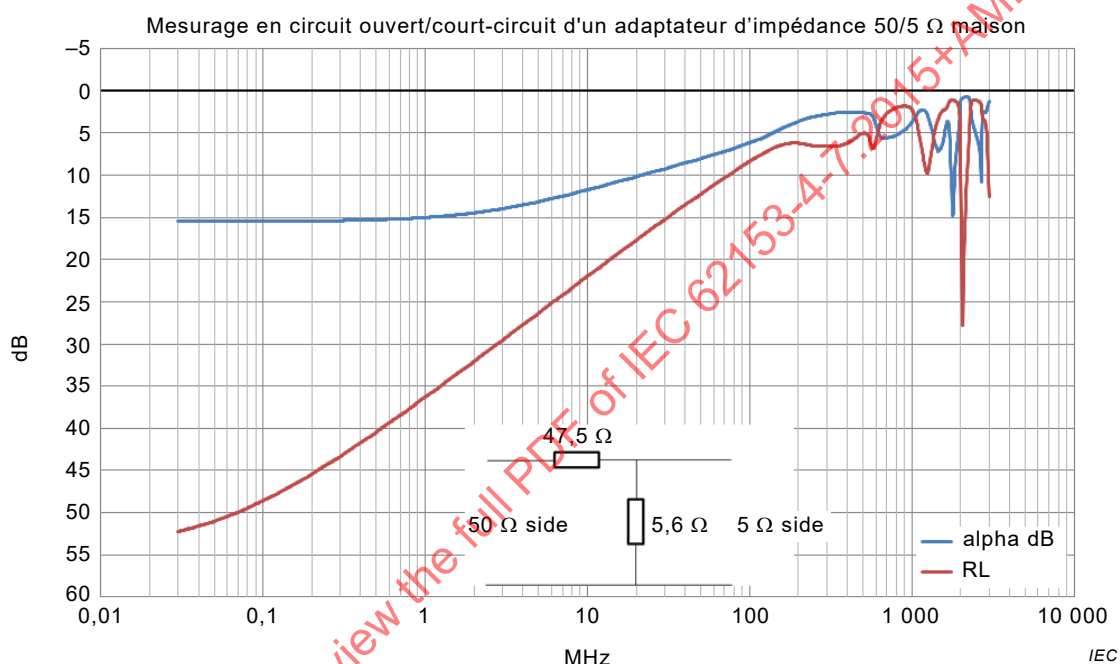


Figure B.1 – Affaiblissement et affaiblissement de réflexion d'un adaptateur d'impédance 50 Ω vers 5 Ω , échelle logarithmique

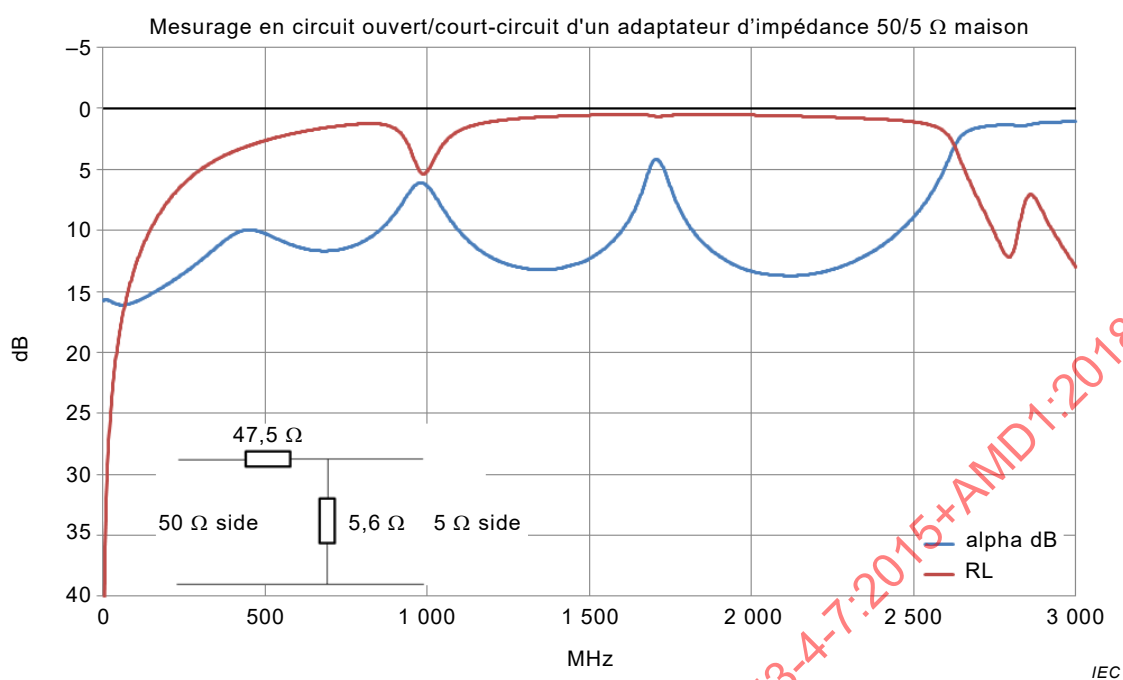


Figure B.2 – Affaiblissement et affaiblissement de réflexion d'un adaptateur d'impédance 50 Ω vers 5 Ω , échelle linéaire

Annexe C (informative)

Mesurages de l'efficacité d'écrantage des connecteurs et des cordons

C.1 Généralités

En raison de l'utilisation accrue de toutes sortes d'équipements électriques et électroniques, la pollution électromagnétique est en augmentation. Pour réduire cette pollution électromagnétique, tous les composants d'un système doivent comporter un écran, en particulier les câbles de connexion (cordons). Il est évident que des procédures de mesurages normalisées sont nécessaires pour comparer l'efficacité d'écrantage de différentes conceptions d'écrans. Les paramètres élémentaires du blindage sont l'impédance de transfert Z_T et l'affaiblissement d'écrantage a_S ou l'affaiblissement de couplage a_C . La méthode triaxiale ou la méthode d'injection de ligne peut être utilisée pour obtenir l'impédance de transfert Z_T des câbles, des connecteurs et des cordons. Toutefois, il n'existe pas de méthode simple et économique pour mesurer l'affaiblissement d'écrantage a_S ou l'affaiblissement de couplage a_C des connecteurs et des cordons.

Une nouvelle méthode qui comble cette lacune est décrite ci-après. Elle repose sur la méthode d'essai d'affaiblissement d'écrantage blindé (triaxial, long) récemment introduite pour le mesurage de l'affaiblissement d'écrantage ou de l'affaiblissement de couplage des câbles [1][2]³.

C.2 Principes physiques

C.2.1 Équation générale de couplage

Pour mesurer le couplage, il est opportun d'utiliser le concept d'affaiblissement fonctionnel avec la racine carrée des ondes de puissance, comme dans la définition du facteur de répartition [3][4]. La fonction de transfert de couplage générale est alors définie comme suit:

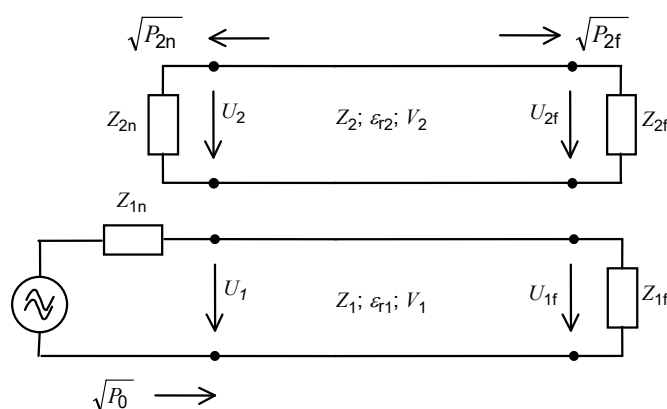
$$T_{n,f} = \frac{U_{-2n,f} / \sqrt{Z_2}}{U_{-1} / \sqrt{Z_1}} = \frac{\sqrt{P_{-2n,f}}}{\sqrt{P_{-0}}} \quad (C.1)$$

L'influence électromagnétique entre l'échantillon en essai et son entourage est en principe la diaphonie entre deux lignes et est causée par un couplage capacitif et magnétique. Au niveau de l'extrémité la plus proche, le couplage capacitif et le couplage magnétique s'ajoutent, tandis qu'ils se soustraient au niveau de l'extrémité la plus éloignée [4][5]. Le couplage sur la longueur de l'échantillon est obtenu en intégrant la distribution de couplage infinitésimale le long de l'échantillon avec la phase correcte. L'effet de phase, lors de la somme des couplages infinitésimaux le long de la ligne est exprimé par la fonction somme S [4]. Si l'affaiblissement des échantillons est ignoré, S pourrait être exprimé par l'équation suivante, où $\beta_{1,2}$ sont les vitesses de phase du circuit primaire et du circuit secondaire, respectivement, et l est la longueur de couplage. Les indices n et f représentent respectivement l'extrémité la plus proche et l'extrémité la plus éloignée.

Le circuit équivalent pour deux lignes couplées est donné à la Figure C.1.

³ Les chiffres entre crochets se réfèrent à la bibliographie.

$$S_{n,f}(lf) = \frac{\sin[(\beta_2 \pm \beta_1) \cdot l/2]}{(\beta_2 \pm \beta_1) \cdot l/2} \exp(-j(\beta_2 + \beta_1) \cdot l/2) \quad (C.2)$$



Légende

$\sqrt{P_0}$	racine carrée de la puissance d'alimentation
$\sqrt{P_{2n}}$	racine carrée de la puissance couplée, extrémité proche
$\sqrt{P_{2f}}$	racine carrée de la puissance couplée, extrémité éloignée
Z_{nm}	résistances d'adaptation, 1 = circuit primaire, 2 = circuit secondaire,
n	= extrémité proche, f = extrémité éloignée
Z_n	impédance caractéristique, 1 = circuit primaire, 2 = circuit secondaire
ϵ_{rn}	constante diélectrique, 1 = circuit primaire, 2 = circuit secondaire
v_n	vitesse de propagation, 1 = circuit primaire, 2 = circuit secondaire

Figure C.1 – Circuit équivalent des lignes de transmission couplées

La Figure C.2 présente la fonction somme qui est en principe une fonction de type $\sin(x)/x$. Pour les hautes fréquences, la valeur asymptotique devient:

$$\left| S_{nf} \right| \rightarrow \frac{2}{(\beta_1 \pm \beta_2) \cdot l} \quad (C.3)$$

Et pour les basses fréquences, la fonction somme devient:

$$\left| S_{nf} \right| \rightarrow 1 \quad (C.4)$$

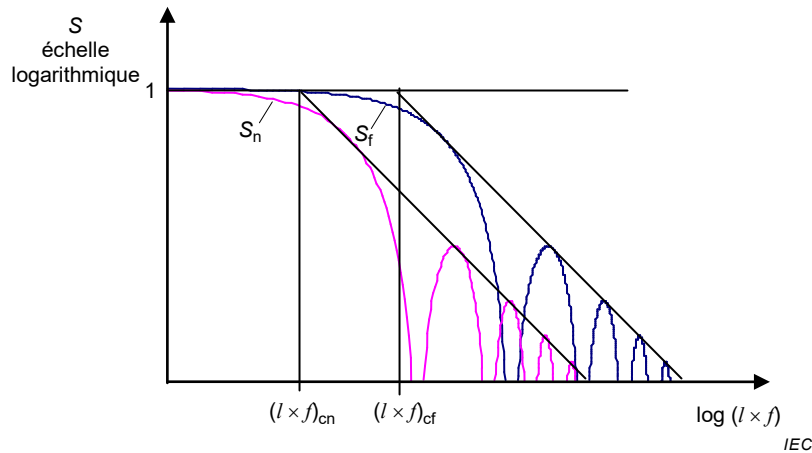


Figure C.2 – Fonction somme S

Le point d'intersection entre les valeurs asymptotiques pour les hautes et les basses fréquences est ladite fréquence de coupure f_c . Cette fréquence donne la condition pour les échantillons électriquement longs:

$$f_{c,n} \cdot l \geq \frac{c_0}{\pi \cdot \sqrt{e_{r1} \pm \sqrt{e_{r2}}}} \quad (\text{C.5})$$

où

e_{r1} est la permittivité diélectrique relative du système interne;

e_{r2} est la permittivité diélectrique relative du système externe;

l est la longueur du câble.

C.2.2 Fonction de transfert de couplage

C.2.2.1 Écrans homogènes

Les grandeurs de blindage primaire d'un écran sont l'impédance surfacique de transfert Z_T et l'impédance de couplage capacitif Z_F ou l'impédance de transfert effective Z_{TE} . Pour les écrans homogènes comme pour des connecteurs ou des câbles, elles peuvent être constantes sur toute la longueur. L'intégration est alors simple à résoudre. Le couplage entre l'échantillon et le voisinage pourrait être exprimé par la fonction de transfert de couplage suivante. Pour les lignes adaptées, voir [3][4]:

$$T_{s,n} = (Z_F \pm Z_T) \cdot \frac{1}{\sqrt{Z_1 \cdot Z_2}} \cdot \frac{l}{2} \cdot S_n \quad (\text{C.6})$$

Pour les basses fréquences, lorsque $S = 1$, la fonction de transfert de couplage correspond au comportement en fréquence de l'impédance surfacique de transfert et de l'impédance de couplage capacitif. Après une augmentation de 20 dB par décade, la fonction de transfert de couplage présente différentes fréquences de coupure $f_{cn,f}$ pour l'extrémité la plus proche et l'extrémité la plus éloignée. Au-delà de ces fréquences de coupure, les échantillons sont considérés comme étant électriquement longs.

La fonction de transfert de couplage calculée d'un câble coaxial est donnée à la Figure C.3. Le schéma de principe du montage pour la procédure d'essai triaxial est donné à la Figure C.4.

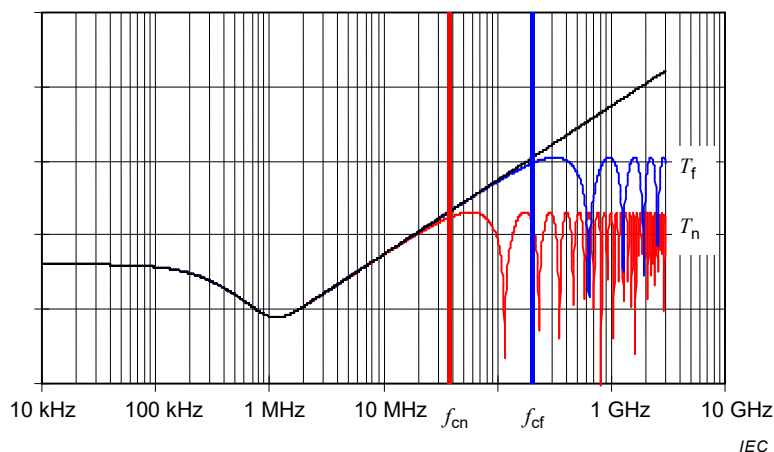


Figure C.3 – Fonction de transfert de couplage calculée ($l = 1$ m; $e_{r1} = 2,3$; $e_{r2} = 1$; $Z_F = 0$)

En dessous des fréquences de coupure, l'impédance surfacique de transfert Z_T est la mesure de l'efficacité d'écrantage. La valeur de l'impédance de transfert Z_T augmente avec la longueur de l'échantillon.

Au-delà des fréquences de coupure dans la plage de propagation des ondes ou dans la plage dans laquelle les échantillons sont électriquement longs, l'affaiblissement d'écrantage a_S est le paramètre pour l'efficacité d'écrantage. L'affaiblissement d'écrantage est une grandeur indépendante de la longueur.

C.2.2.2 Écrans des cordons

Les cordons sont composés du câble lui-même et d'un connecteur à chaque extrémité. Outre le couplage des composants, il convient de prendre en compte le couplage de la transition entre un câble et un connecteur. Le montage d'un bon connecteur sur un bon câble ne donne pas automatiquement un ensemble de bonne qualité, le raccordement du câble au connecteur pouvant ne pas être d'aussi bonne qualité.

Chaque partie de l'ensemble a un couplage différent et doit donc être intégrée par section le long de l'échantillon, c'est-à-dire une section pour chaque composant (connecteur A, transition, câble, transition, connecteur B). Dans une première approche, la vitesse est censée être la même dans chaque section. La fonction de transfert de couplage pour des lignes adaptées s'exprime alors comme suit:

$$T_n = \frac{1}{\gamma_1 + \gamma_2} \cdot \sum_{i=1}^n \left[\frac{Z_{F,i} + Z_{T,i}}{2\sqrt{Z_1 \cdot Z_2}} \cdot e^{-(\gamma_1 + \gamma_2) \cdot \sum_{k=1}^{i-1} L_k} \cdot (1 - e^{-(\gamma_1 + \gamma_2) L_i}) \right] \quad (C.7)$$

$$T_f = \frac{e^{-\gamma_2 L_c}}{\gamma_1 - \gamma_2} \cdot \sum_{i=1}^n \left[\frac{Z_{F,i} - Z_{T,i}}{2\sqrt{Z_1 \cdot Z_2}} \cdot e^{-(\gamma_1 - \gamma_2) \cdot \sum_{k=1}^{i-1} L_k} \cdot (1 - e^{-(\gamma_1 - \gamma_2) L_i}) \right] \quad (C.8)$$

où

- $\gamma_{1,2}$ est la constante complexe de propagation des ondes du circuit interne et du circuit externe respectivement;
- L_c est la longueur de couplage totale (somme des longueurs de segment);
- L_i est la longueur du segment i ;
- n est le nombre de segments (pour les cordons, 3);
- $T_{n,f}$ est la fonction de transfert de couplage au niveau de l'extrémité la plus proche et la plus éloignée, respectivement;
- $Z_{1,2}$ est l'impédance caractéristique du circuit interne, et du circuit externe, respectivement;
- Z_F est l'impédance de couplage capacitif;
- Z_T est l'impédance surfacique de transfert;
- γ est la constante de propagation
= $(\alpha + j\beta)$, où α est la constante d'affaiblissement et β est la constante de phase.

C.2.2.3 Couplage dans le montage triaxial

Les fonctions de transfert de couplage mentionnées ci-dessus sont valides si le circuit primaire et le circuit secondaire sont adaptés. Toutefois, dans le montage triaxial, le système secondaire (circuit externe) est désadapté (se reporter également à la section suivante). Au niveau de l'extrémité la plus proche, il y a un court-circuit avec l'écran de l'échantillon. A l'extrémité la plus éloignée, il existe une désadaptation entre l'impédance du circuit externe et l'impédance d'entrée du récepteur, donnant lieu au coefficient de réflexion $r_{2,f}$. Dans ce cas, la fonction de transfert de couplage résultante (à l'extrémité du récepteur) est obtenue par:

$$T^* = \left(T_f - T_n \cdot e^{-\gamma_2 L_c} \right) \cdot \frac{1 + r_{2,f}}{1 + r_{2,f} \cdot e^{-2\gamma_2 L_c}} \quad (\text{C.9})$$

où

- γ_2 est la constante complexe de propagation des ondes du circuit externe;
- L_c est la longueur de couplage totale (somme des longueurs de segment);
- $r_{2,f}$ est le coefficient de réflexion;
- $T_{n,f}$ est la fonction de transfert de couplage au niveau de l'extrémité la plus proche et la plus éloignée, respectivement.

C.3 Montage d'essai triaxial

C.3.1 Généralités

Le montage d'essai triaxial est l'une des méthodes classiques de mesurage de l'impédance de transfert. Elle a été récemment étendue au mesurage de l'affaiblissement d'écrantage des écrans de câble [1]. Le montage triaxial, décrit dans l'IEC 62153-4-3 et l'IEC 62153-4-4, est composé d'un tube en laiton ou en aluminium dont le diamètre intérieur est d'environ 40 mm.

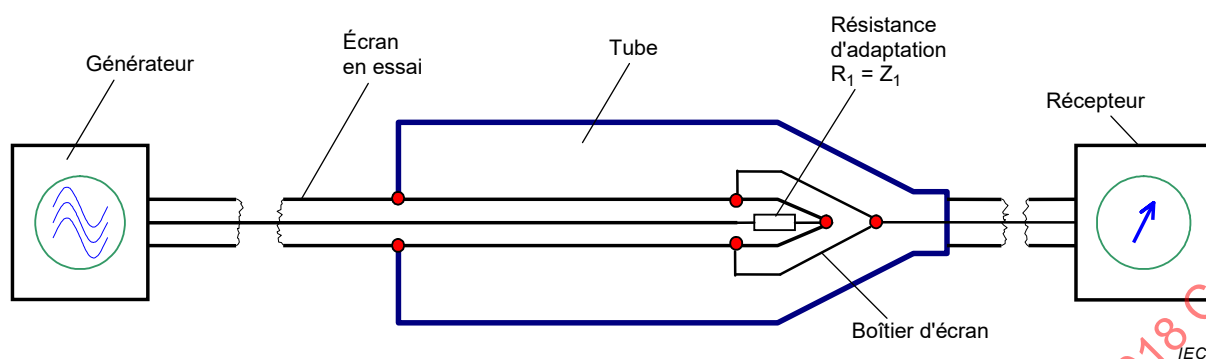


Figure C.4 – Montage triaxial pour le mesurage de l'affaiblissement d'écrantage a_s et de l'impédance de transfert Z_T

Pour mesurer l'impédance de transfert (longueur de couplage électriquement courte), la longueur du tube est comprise entre 0,5 m et 1 m. Pour mesurer l'affaiblissement d'écrantage (longueur de couplage électriquement longue), la longueur du tube de mesure est comprise entre 2 m à 3 m (voir également l'explication théorique ci-dessus).

Dans le circuit externe, au niveau de l'extrémité la plus proche, l'écran en essai est court-circuité avec le tube de mesure. Les ondes électriques, qui sont couplées sur toute la longueur du câble entre le système interne et le système externe, se propagent dans les deux directions, vers l'extrémité la plus proche et vers la plus éloignée. Au niveau de l'extrémité court-circuitée, elles sont totalement réfléchies, de sorte qu'au niveau du récepteur de mesure, la superposition du couplage d'extrémité la plus proche et d'extrémité la plus éloignée peut être mesurée comme le rapport des tensions perturbatrices U_2/U_1 . L'affaiblissement d'écrantage, exprimé sous la forme d'un rapport de puissance, est alors lié à une impédance caractéristique normalisée du système externe $Z_s = 150 \Omega$.

$$a_s = 20 \log \left(\left| \frac{U_2}{U_1} \right|_{\max} \right) + 10 \log \left(\frac{2 \cdot Z_s}{Z_1} \right) \quad (\text{C.10})$$

où

Z_1 est l'impédance caractéristique de l'échantillon en essai et Z_s est 150Ω .

C.3.2 Mesurage des cordons

C.3.2.1 Généralités

Le mesurage des cordons dans le montage d'essai triaxial pose un problème. En effet, les longueurs sont très différentes et sont soit inférieures soit supérieures aux 2 m ou 3 m du tube de mesure communément utilisé. Toutefois, l'examen des fonctions de couplage données ci-dessus montre que:

- pour les cordons plus longs que le tube de mesure, il suffit de simplement mesurer les deux extrémités accessibles du cordon;
- pour les cordons plus courts que le tube de mesure, le cordon peut être rallongé par un câble correctement écranté, placé à l'intérieur d'un tube de cuivre fermé. Il s'agit de la méthode en tubes concentriques.

C.3.2.2 Cordons plus longs que le tube de mesure

Dans le cadre des mesurages d'affaiblissement d'écrantage des cordons, il est évident que le résultat est caractérisé par la partie la plus faible. C'est-à-dire qu'il s'agit du câble, du connecteur ou de la transition entre le câble et le connecteur. Ainsi, pour les cordons plus longs que le tube de mesure, il suffit de mesurer le cordon à partir des deux extrémités (à

condition que l'écran de câble soit homogène). Le cas le plus défavorable des deux mesurages est l'affaiblissement d'écrantage de l'ensemble complet. Les graphes simulés de la Figure C.5 et de la Figure C.6 soulignent cette évidence.

Les paramètres de simulation sont:

a) l'écran du câble

longueur:	500 cm
résistance en courant continu:	13 mΩ/m
couplage magnétique:	0,04 mH/m
couplage capacitif:	0,02 pF/m

b) écran du connecteur incluant une transition entre le câble et le connecteur

longueur:	5 cm
résistance en courant continu:	2 mΩ/m
couplage magnétique:	0,002 mH
couplage capacitif:	0 pF/m

c) circuit externe (système secondaire)

impédance:	150 Ω
permittivité diélectrique:	1,1

d) circuit interne (système primaire)

impédance:	50 Ω
permittivité diélectrique:	2,3

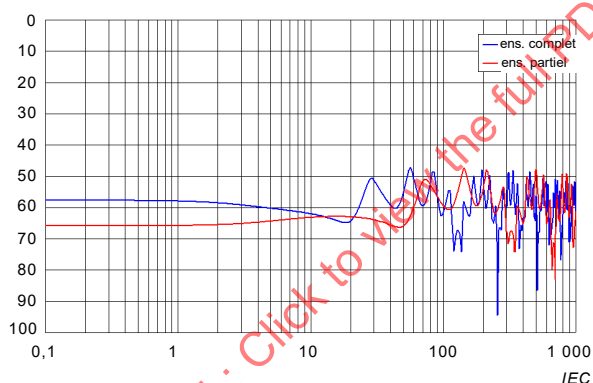


Figure C.5 – Simulation d'un cordon (échelle logarithmique)

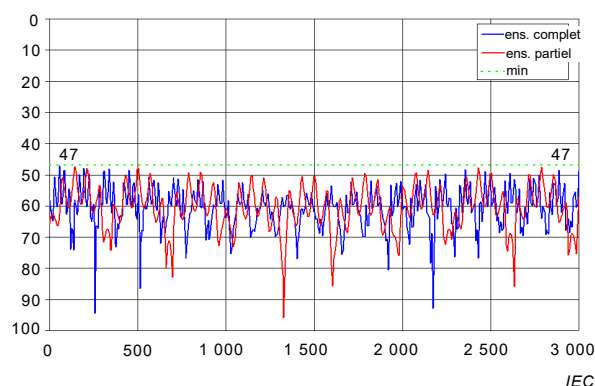


Figure C.6 – Simulation d'un cordon (échelle linéaire)

La ligne bleue donne le résultat pour le cordon complet, c'est-à-dire un câble de 500 cm et deux connecteurs. La ligne rouge donne le résultat pour une partie de l'ensemble, c'est-à-dire 195 cm de câble et un connecteur. Dans la plage de fréquences inférieures, dans laquelle les échantillons sont électriquement courts, le résultat dépend de la longueur. Toutefois, dans la plage de fréquences supérieures, dans laquelle les échantillons sont électriquement longs, la même valeur minimale est obtenue, c'est-à-dire le même affaiblissement d'écrantage de 47 dB.

C.3.2.3 Cordons plus courts que le tube de mesure

Lorsque le cordon est plus court que le tube de mesure, le cordon peut être étendu par un câble de connexion correctement écranté, placé à l'intérieur d'un tube de cuivre fermé. Il s'agit de la méthode en tubes concentriques (voir la Figure C.7 et la Figure C.8).

Le tube d'extension se comporte alors comme un résonateur. Le même principe permet également de mesurer les connecteurs. Davantage de détails peuvent être trouvés dans l'explication suivante du mesurage des connecteurs.

C.3.3 Mesurage des connecteurs

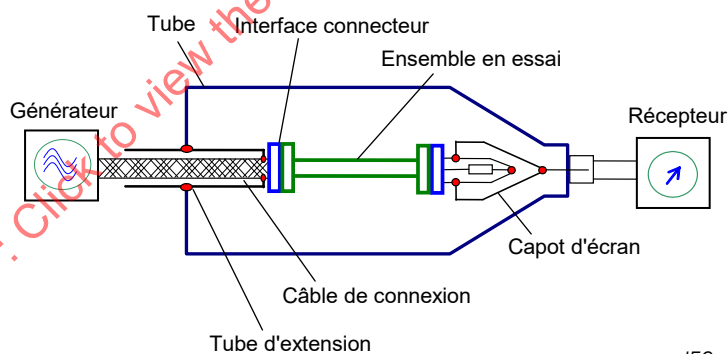
C.3.3.1 Généralités

En règle générale, les dimensions mécaniques des connecteurs RF dans l'axe longitudinal sont comprises entre 10 mm et 50 mm. La définition des éléments électriquement longs donne des fréquences de coupure d'environ 3 GHz ou plus pour des connecteurs RF normalisés. Au-delà de cette fréquence, les éléments sont considérés comme étant électriquement longs.

L'affaiblissement d'écrantage est par définition uniquement valide dans la plage de fréquences au-dessus de la fréquence de coupure, où les éléments sont électriquement longs. Ainsi, l'affaiblissement d'écrantage d'un connecteur RF en lui-même peut être mesuré uniquement à des fréquences supérieures à 3 GHz.

Toutefois, le fait d'étendre le connecteur RF par un tube métallique fermé ne laissant pas passer les radiofréquences permet de concevoir un cordon électriquement long. Ainsi, la fréquence de coupure, respectivement la fréquence limite inférieure, pour le mesurage de l'affaiblissement d'écrantage tend vers les fréquences inférieures. Le raccordement direct de ce tube d'extension au connecteur en essai permet de mesurer l'affaiblissement d'écrantage du connecteur (et de son adaptateur accouplé). Le raccordement du tube d'extension au câble de connexion proche du connecteur permet de mesurer l'affaiblissement d'écrantage de la combinaison du connecteur (et de son adaptateur accouplé) et la transition entre le câble et le connecteur (se reporter aux figures ci-dessous).

NOTE Même si le connecteur lui-même reste électriquement court, la combinaison du connecteur et du tube d'extension montre le comportement (l'affaiblissement d'écrantage) du connecteur lorsqu'il est relié à un câble correctement écranté, dont l'efficacité d'écrantage est meilleure que celle du connecteur (ou la transition entre le câble et le connecteur). Voir également l'explication C.3.3.2.



IEC

Figure C.7 – Montage triaxial avec tube d'extension pour les cordons courts

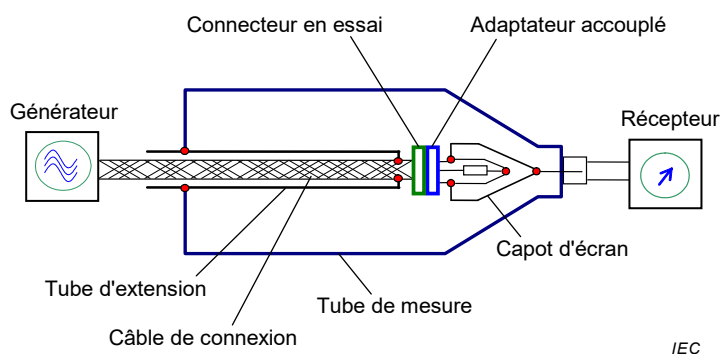


Figure C.8 – Montage triaxial avec tube d'extension pour les connecteurs

C.3.3.2 Montage de mesure

Pour le mesurage des connecteurs RF, le montage triaxial selon l'IEC 62153-4-3, respectivement l'IEC 62153-4-4, a été prolongé par un tube métallique fermé ne laissant pas passer les radiofréquences (voir la Figure 8). Le tube d'extension est soit relié au connecteur en essai, soit relié à l'écran du câble de connexion du connecteur en essai. À l'extrémité la plus éloignée, le connecteur en essai est relié au capot d'écran du montage d'essai triaxial par l'intermédiaire de son adaptateur accouplé.

Le mesurage de l'affaiblissement d'écrantage lui-même est la même que le mesurage des écrans de câble selon l'IEC 62153-4-4.

C.3.3.3 Résultats du mesurage et simulations

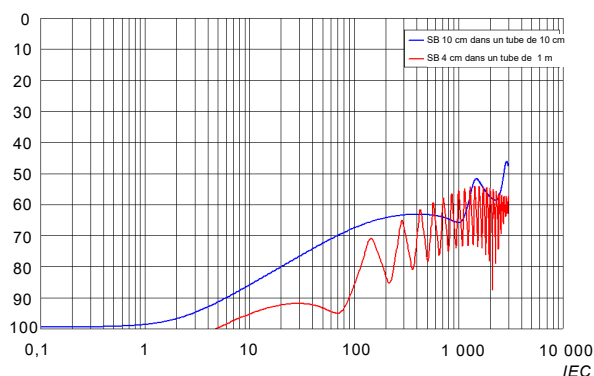
Une première approche consiste à mesurer de petites parties de câble au lieu d'un connecteur. L'avantage de cette approche est que les résultats ne sont pas influencés par un adaptateur d'accouplement ou par la transition entre un câble et un connecteur. Le câble est un câble coaxial d'impédance 75Ω , diélectrique en polyéthylène expansé et un écran à une tresse (non optimisé, c'est-à-dire insuffisamment tressé). Des simulations ont été réalisées avec les équations (C.7), (C.8) et (C.9), dans lesquelles les sections sont au nombre de 2. La première section est le câble de connexion muni du tube ne laissant pas passer les radiofréquences.

Ainsi, l'impédance de transfert et l'impédance de couplage capacitif de cette section sont ignorées. La deuxième section est le câble en essai avec les paramètres suivants:

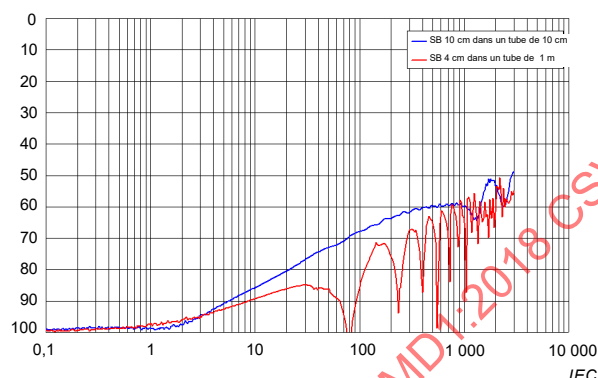
résistance en courant continu:	8 m Ω /m
couplage magnétique:	0,6 mH/m
couplage capacitif:	0,02 pF/m
impédance:	75 Ω
permittivité diélectrique:	1,35

La comparaison de la simulation (Figure C.9, Figure C.11) et des résultats de mesurage (Figure C.10, Figure C.12) donne une bonne correspondance. Dans la plage de fréquences inférieures, lorsque les échantillons sont électriquement courts, les mêmes résultats sont obtenus. Toutefois, dans la plage de fréquences supérieures, l'influence du tube d'extension peut être constatée. L'échantillon de 10 cm est électriquement court sur l'ensemble de la plage de fréquences, puisque la fréquence de coupure est de 5,9 GHz. Ainsi, la puissance couplée augmente avec la fréquence. Toutefois, le "quasi-câble" assemblé composé du connecteur et du tube d'extension est électriquement long au-delà de 590 MHz, ce qui entraîne une puissance couplée maximale constante. Un objet électriquement long se caractérise également par une puissance couplée maximale indépendante de la longueur de l'échantillon (voir C.2.1). Cela est souligné à la Figure C.13 et à la Figure C.14, qui représentent les résultats simulés d'un échantillon de 4 cm dans un tube de 1 m ou 2 m, c'est-

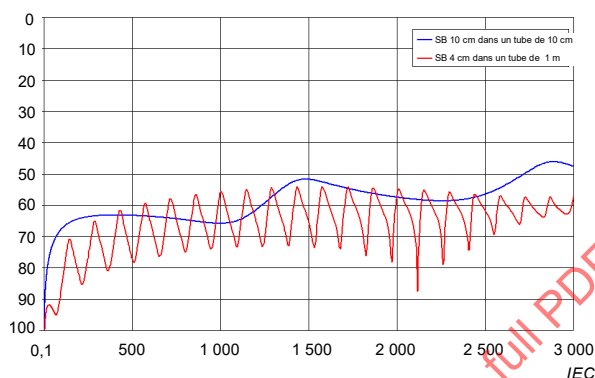
à-dire avec un tube d'extension de 96 cm ou 196 cm, respectivement. L'enveloppe des deux courbes est identique.



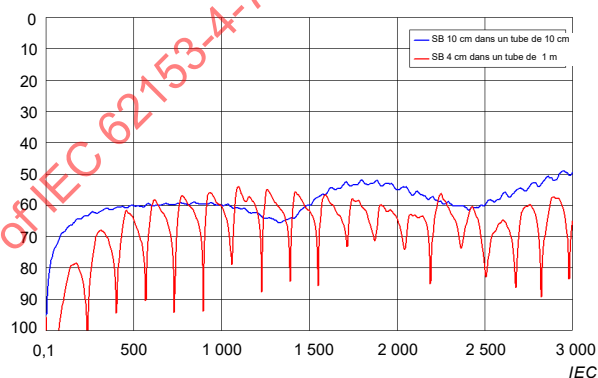
**Figure C.9 – Simulation,
échelle de fréquence logarithmique**



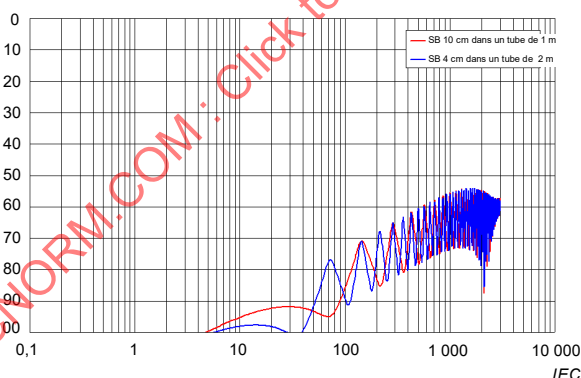
**Figure C.10 – Mesurage,
échelle de fréquence logarithmique**



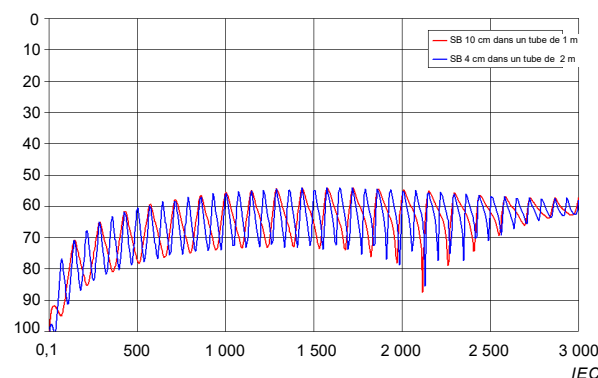
**Figure C.11 – Simulation,
échelle de fréquence linéaire**



**Figure C.12 – Mesurage,
échelle de fréquence linéaire**



**Figure C.13 – Simulation,
échelle de fréquence logarithmique**



**Figure C.14 – Simulation,
échelle de fréquence linéaire**

C.4 Conclusion

Les consommateurs et les utilisateurs de câbles RF, de cordons et de connecteurs s'intéressent souvent davantage aux valeurs d'efficacité d'écrantage en décibels (dB) qu'aux valeurs d'impédance de transfert en mW, respectivement en mW/m. La méthode en tubes

concentriques répond à ce besoin, car il s'agit d'une méthode simple et fiable de mesurage de l'affaiblissement d'écrantage en dB des connecteurs et des cordons. Cette méthode est une extension du montage d'essai de l'affaiblissement d'écrantage (triaxial, long) selon l'IEC 62153-4-4.

La comparaison des courbes mesurées et calculées montre une bonne cohérence.

La méthode en tubes concentriques pour les connecteurs et les cordons présente les mêmes avantages que le mesurage de l'affaiblissement d'écrantage de câble dans le tube:

- montage d'essai simple et facile à réaliser;
- insensibilité aux perturbations électromagnétiques extérieures;
- plage dynamique élevée > 130 dB;
- bonne reproductibilité.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62153-4-7:2015+AMD1:2018 CSV

Dans ce cas, les résistances de contact de quelques $m\Omega$ en série avec la résistance d'entrée de $50\ \Omega$ du générateur ou du récepteur sont négligeables.

Il convient de concevoir le montage d'essai de telle sorte que les résistances de contact ne soient pas en série avec l'impédance de transfert du DUT. Si les résistances de contact sont en série avec l'impédance de transfert du DUT, leur influence sur le résultat est considérable.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62153-4-7:2015+AMD1:2018 CSV

Annexe E (informative)

Mesurage direct de l'efficacité d'écrantage des connecteurs

E.1 Généralités

L'IEC 62153-4-7 décrit la procédure en tubes concentriques pour le mesurage de l'impédance de transfert et de l'affaiblissement d'écrantage ou de l'affaiblissement de couplage des connecteurs et des cordons. Conformément à l'IEC 62153-4-7, les connecteurs sont généralement mesurés avec une petite partie de câble de connexion, voir par exemple la Figure 2.

Dans différents cas de figure, il peut être exigé de mesurer l'efficacité d'écrantage directement sur le connecteur ou sans câble de connexion, par exemple pour évaluer la CEM de l'interface des connecteurs accouplés. Le montage d'essai pour le mesurage direct du connecteur est décrit ci-dessous.

E.2 Montage d'essai

Le montage d'essai et les mesures sont en principe les mêmes qu'aux Articles 8 à 10 du présent document.

Contrairement aux montages d'essai des Articles 8 à 10 du présent document, les tubes concentriques ne laissant pas passer les radiofréquences et le capot d'écran sont directement connectés au connecteur en essai (CUT), voir la Figure E.1; par exemple par une jonction à vis du connecteur en essai au tube d'extension et au capot d'écran. Le couple de cette jonction à vis doit être spécifié par le fabricant de connecteurs.

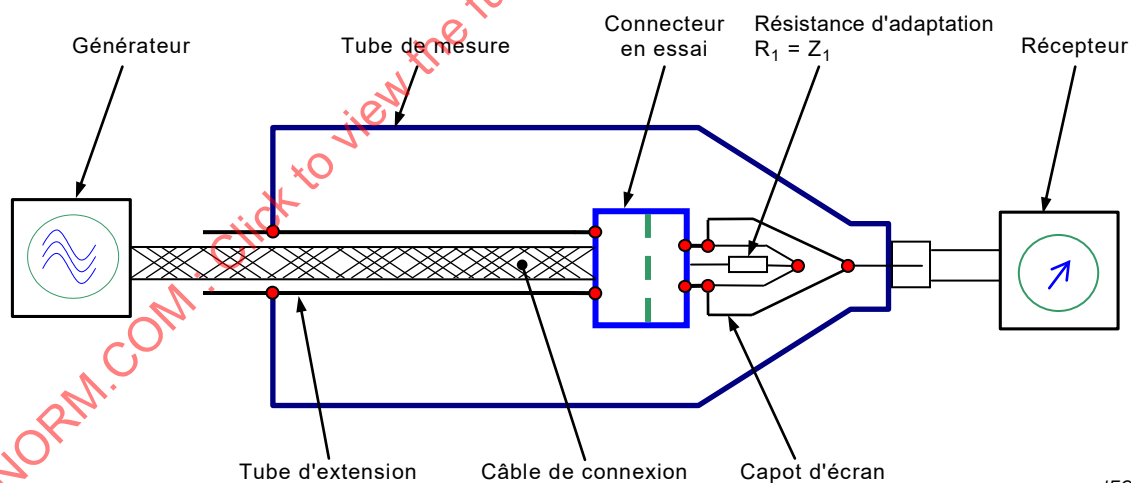


Figure E.1 – Principe du montage d'essai pour mesurer l'impédance de transfert et l'affaiblissement d'écrantage d'un connecteur

Les mêmes indications s'appliquent en principe au montage pour le mesurage des cordons, voir la Figure E.2.

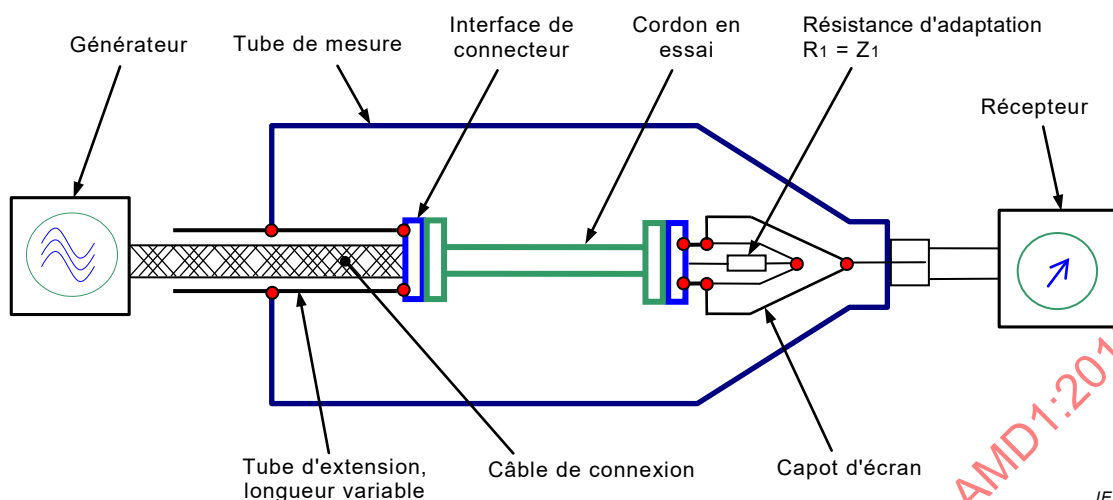
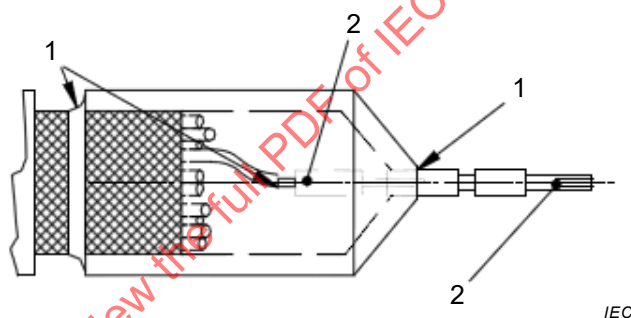


Figure E.2 – Principe du montage d'essai pour mesurer l'impédance de transfert et l'affaiblissement d'écrantage d'un cordon

Si un câble multiconducteur est soumis à l'essai à la place d'un câble à un conducteur, une combinaison de conducteurs internes (conducteurs isolés) doit être choisie de manière à ce que leur impédance par rapport à l'écran soit la plus proche possible de l'impédance interne du récepteur d'essai (par exemple détermination en utilisant un réflectomètre).



Légende

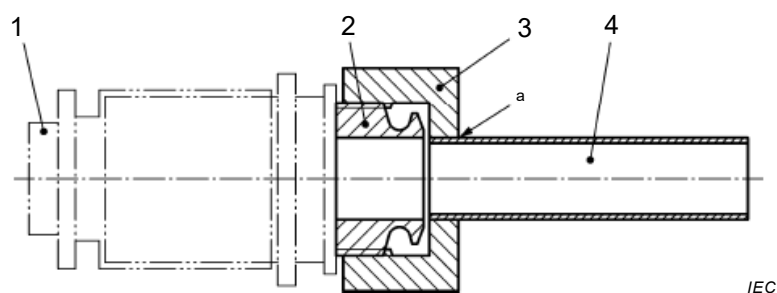
- 1 connexion
- 2 impédance de terminaison, 50 Ω
- 3 contact interne du connecteur RF connecté au tube blindé

Figure E.3 – Exemple de préparation d'échantillon

E.3 Informations détaillées concernant la construction du montage d'essai

Le raccordement du tube ne laissant pas passer les radiofréquences ainsi que la connexion ne laissant pas passer les radiofréquences du capot d'écran peuvent considérablement influencer les résultats d'essai. Des connexions montées de manière incorrecte peuvent donner lieu à des fuites et à de mauvais résultats d'essai.

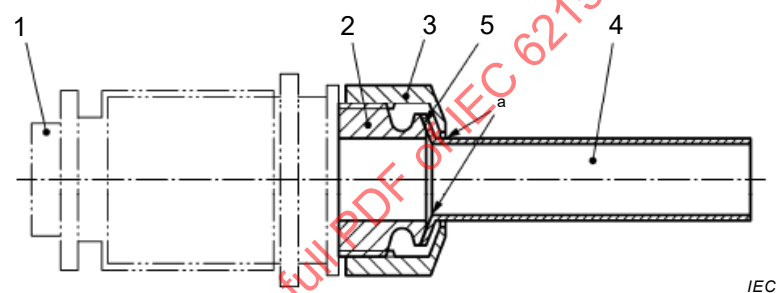
Les Figures E.4 et E.5 donnent des exemples sur la manière de connecter les tubes concentriques et le capot d'écran au CUT.



Légende

- 1 connecteur d'accouplement
- 2 couplage
- 3 manchon (matériau-Cu)
- 4 tube en cuivre
- ^a Connexion à densité RF (soudée par exemple)

Figure E.4 – Tube d'écrantage avec écrou séparé



Légende

- 1 connecteur d'accouplement
- 2 couplage
- 3 écrou
- 4 tube en cuivre
- 5 cône
- ^a bord d'adaptation bombé ou chanfreiné

Figure E.5 – Ecrantage fixé avec écrou associé

Bibliographie

- [1] IEC 62153-4-8, *Méthodes d'essai des câbles métalliques de communication – Partie 4-8: Compatibilité électromagnétique (CEM) – Admittance de couplage capacitif*
- [2] IEC 62153-4-9, *Metallic communication cable test methods – Part 4-9: Electromagnetic compatibility (EMC) – Coupling attenuation of screened balanced cables, triaxial method* (disponible en anglais seulement)
- [3] IEC 62153-4-10, *Metallic communication cable test methods – Part 4-10: Shielded screening attenuation test method for measuring the Screening Effectiveness of Feedtroughs and Electromagnetic Gaskets* (disponible en anglais seulement)
- [4] IEC TR 62153-4-16, *Metallic communication cable test methods – Part 4-16: Technical report on the relationship between transfer impedance and screening attenuation* (à l'étude) (disponible en anglais seulement)
- [5] BREITENBACH O., HÄHNER T., MUND B., "Screening of cables in the MHz to GHz frequency range extended application of a simple measuring method", Colloquium on screening effective-ness measurements, Savoy Place London, 6 May 1998, Reference No:1998/452
- [6] HÄHNER T., MUND B., "Test methods for screening and balance of communication cables", 13th international Zurich EMC Symposium, February 16-18 1999
- [7] HALME L., KYTÖNEN R., "Background and introduction to EM screening (shielding) behaviours and measurements of coaxial and symmetrical cables, cable assemblies and connectors", Colloquium on screening effectiveness measurements, Savoy Place London, 6 May 1998, Reference No:1998/452.
- [8] HALME L., SZENTKUTI, B. "The background for electromagnetic screening measurements of cylindrical screens", Tech. Rep. PTT(1988) Nr. 3
- [9] KLEIN W., "Die Theorie des Nebensprechens auf Leitungen", (German), Springer Verlag 1955
- [10] MUND B., "Measuring the EMC on RF-connectors and connecting hardware, Tube in tube test procedure", Proceedings of the 53rd IWCS/Focus 2004, Philadelphia, USA
- [11] VG 95214-12, *Test of components – Part 12: Measuring methods for transfer impedance and screening attenuation – Transfer impedance of screened components (triaxial method, KS 12 B) and conductive gaskets (triaxial method, KS 22 B)* (disponible en allemand et en anglais seulement)
- [12] VG 95214-13, *Test of components – Part 13: Measuring methods for transfer impedance and screening attenuation, screening attenuation of screened components (triaxial method, KS 13 B)* (disponible en allemand et en anglais seulement)
- [13] VG 95319-2, *Electrical connectors and plug-and-socket devices – Part 2: Generic specification* (disponible en allemand et en anglais seulement)
- [14] VG 95377-15, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Measuring devices and measuring equipment – Part 15: Auxiliary measuring devices* (disponible en allemand et en anglais seulement)

FINAL VERSION**VERSION FINALE**

**Metallic communication cable test methods –
Part 4-7: Electromagnetic compatibility (EMC) – Test method for measuring of
transfer impedance Z_T and screening attenuation a_s or coupling attenuation a_c
of connectors and assemblies up to and above 3 GHz – Triaxial tube in tube
method**

**Méthodes d'essai des câbles métalliques de communication –
Partie 4-7: Compatibilité électromagnétique (CEM) – Méthode d'essai pour
mesurer l'impédance de transfert Z_T et l'affaiblissement d'écrantage a_s ou
l'affaiblissement de couplage a_c des connecteurs et des cordons jusqu'à 3 GHz
et au-dessus – Méthode triaxiale en tubes concentriques**

CONTENTS

FOREWORD.....	5
INTRODUCTION.....	7
1 Scope.....	8
2 Normative references	8
3 Terms and definitions	8
4 Physical background.....	10
5 Principle of the test methods	10
5.1 General.....	10
5.2 Transfer impedance	12
5.3 Screening attenuation	12
5.4 Coupling attenuation	12
6 Test procedure	13
6.1 General.....	13
6.2 Tube in tube procedure	13
6.3 Test equipment	14
6.4 Calibration procedure.....	15
6.5 Connection between extension tube and device under test	15
6.6 Dynamic range respectively noise floor	15
6.7 Impedance matching.....	16
6.8 Influence of Adapters	16
7 Sample preparation	17
7.1 Coaxial connector or device	17
7.2 Balanced or multiconductor device.....	17
7.3 Cable assembly	19
8 Measurement of transfer impedance	19
8.1 General.....	19
8.2 Principle block diagram of transfer impedance	19
8.3 Measuring procedure – Influence of connecting cables	19
8.4 Measuring	20
8.5 Evaluation of test results.....	20
8.6 Test report	20
9 Screening attenuation.....	21
9.1 General.....	21
9.2 Impedance matching.....	21
9.2.1 General	21
9.2.2 Evaluation of test results with matched conditions	21
9.2.3 Measuring with mismatch.....	22
9.2.4 Evaluation of test results	22
9.3 Test report	23
10 Coupling attenuation.....	23
10.1 Procedure	23
10.2 Expression of results	23
10.3 Test report	24
10.4 Balunless procedure	25

Annex A (normative) Determination of the impedance of the inner circuit	26
Annex B (informative) Example of a self-made impedance matching adapter	27
Annex C (informative) Measurements of the screening effectiveness of connectors and cable assemblies	29
C.1 General.....	29
C.2 Physical basics	29
C.2.1 General coupling equation	29
C.2.2 Coupling transfer function.....	31
C.3 Triaxial test set-up	33
C.3.1 General	33
C.3.2 Measurement of cable assemblies	34
C.3.3 Measurement of connectors.....	35
C.4 Conclusion.....	38
Annex D (informative) Influence of contact resistances	39
Annex E (informative) Direct measurement of screening effectiveness of connectors	41
E.1 General.....	41
E.2 Test set-up	41
E.3 Construction details of test set-up.....	42
Bibliography.....	44
Figure 1 – Definition of Z_T	9
Figure 2 – Principle of the test set-up to measure transfer impedance and screening or coupling attenuation of connectors with tube in tube	11
Figure 3 – Principle of the test set-up to measure transfer impedance and screening attenuation of a cable assembly.....	14
Figure 4 – Principle set-up for verification test	16
Figure 5 – Preparation of balanced or multiconductor connectors	18
Figure 6 – Test set-up (principle) for transfer impedance measurement according to test method B of IEC 62153-4-3.....	19
Figure 7 – Measuring the screening attenuation with tube in tube with impedance matching device.....	21
Figure 8 – Measuring the coupling attenuation with tube in tube and balun	23
Figure 9 – Typical measurement of a connector of 0,04 m length with 1 m extension tube.....	24
Figure 10 – Measuring the coupling attenuation with multiport VNA (balunless procedure is under consideration).....	25
Figure B.1 – Attenuation and return loss of a $50\ \Omega$ to $5\ \Omega$ impedance matching adapter, log scale	27
Figure B.2 – Attenuation and return loss of a $50\ \Omega$ to $5\ \Omega$ impedance matching adapter, lin scale	28
Figure C.1 – Equivalent circuit of coupled transmission lines	30
Figure C.2 – Summing function S	31
Figure C.3 – Calculated coupling transfer function ($l = 1\text{ m}$; $e_{r1} = 2,3$; $e_{r2} = 1$; $Z_F = 0$).....	32
Figure C.4 – Triaxial set-up for the measurement of the screening attenuation a_S and the transfer impedance Z_T	33
Figure C.5 – Simulation of a cable assembly (logarithmic scale)	35
Figure C.6 – Simulation of a cable assembly (linear scale)	35

Figure C.7 – Triaxial set-up with extension tube for short cable assemblies	36
Figure C.8 – Triaxial set-up with extension tube for connectors.....	36
Figure C.9 – Simulation, logarithmic frequency scale	37
Figure C.10 – Measurement, logarithmic frequency scale	37
Figure C.11 – Simulation, linear frequency scale.....	37
Figure C.12 – Measurement, linear frequency scale.....	37
Figure C.13 – Simulation, logarithmic frequency scale	38
Figure C.14 – simulation, linear frequency scale	38
Figure D.1 – Contact resistances of the test set-up.....	39
Figure D.2 – Equivalent circuit of the test set-up.....	39
Figure E.1 – Principle of the test set-up to measure transfer impedance and screening attenuation of a connector	41
Figure E.2 – Principle of the test set-up to measure transfer impedance and screening attenuation of a cable assembly.....	42
Figure E.3 – Example of sample preparing.....	42
Figure E.4 – Screening tube with separate nut.....	43
Figure E.5 – Screening fixed with associated nut	43
Table 1 – IEC 62153, Metallic communication cable test methods – Test procedures with triaxial test set-up	11

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

METALLIC COMMUNICATION CABLE TEST METHODS –

Part 4-7: Electromagnetic compatibility (EMC) – Test method for measuring of transfer impedance Z_T and screening attenuation a_s or coupling attenuation a_c of connectors and assemblies up to and above 3 GHz – Triaxial tube in tube method

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.

DISCLAIMER

This Consolidated version is not an official IEC Standard and has been prepared for user convenience. Only the current versions of the standard and its amendment(s) are to be considered the official documents.

This Consolidated version of IEC 62153-4-7 bears the edition number 2.1. It consists of the second edition (2015-12) [documents 46/572/FDIS and 46/585/RVD], its corrigendum 1 (2016-04) and its amendment 1 (2018-05) [documents 46/679/FDIS and 46/682/RVD]. The technical content is identical to the base edition and its amendment.

This Final version does not show where the technical content is modified by amendment 1. A separate Redline version with all changes highlighted is available in this publication.

International Standard IEC 62153-4-7 has been prepared by IEC technical committee 46: Cables, wires, waveguides, R.F. connectors, R.F. and microwave passive components and accessories.

This second edition constitutes a technical revision.

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

The document is revised and updated. The changes of the revised IEC 62153-4-3:2013, and IEC 62153-4-4:2015, are included.

Measurements can be achieved now with mismatch at the generator site, impedance matching devices are not necessary.

This bilingual version (2016-03) corresponds to the monolingual English version, published in 2015-12.

The French version of this standard has not been voted upon.

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

A list of all parts of the IEC 62153 series, under the general title: *Metallic communication cable test methods*, can be found on the IEC website.

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

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

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

INTRODUCTION

The shielded screening attenuation test set-up according to IEC 62153-4-3 and IEC 62153-4-4 have been extended to take into account the particularities of electrically short elements like connectors and cable assemblies. Due to the concentric outer tube of the triaxial set-up, measurements are independent of irregularities on the circumference and outer electromagnetic fields.

With the use of an additional resonator tube (inner tube respectively tube in tube), a system is created where the screening effectiveness of an electrically short device is measured in realistic and controlled conditions. Also a lower cut off frequency for the transition between electrically short (transfer impedance Z_T) and electrically long (screening attenuation a_s) can be achieved.

A wide dynamic and frequency range can be applied to test even super screened connectors and assemblies with normal instrumentation from low frequencies up to the limit of defined transversal waves in the outer circuit at approximately 4 GHz.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62153-4-7:2015+AMD1:2018 CSV

METALLIC COMMUNICATION CABLE TEST METHODS –

Part 4-7: Electromagnetic compatibility (EMC) – Test method for measuring of transfer impedance Z_T and screening attenuation a_s or coupling attenuation a_c of connectors and assemblies up to and above 3 GHz – Triaxial tube in tube method

1 Scope

This triaxial method is suitable to determine the surface transfer impedance and/or screening attenuation and coupling attenuation of mated screened connectors (including the connection between cable and connector) and cable assemblies. This method could also be extended to determine the transfer impedance, coupling or screening attenuation of balanced or multipin connectors and multicore cable assemblies. For the measurement of transfer impedance and screening- or coupling attenuation, only one test set-up is needed.

2 Normative references

The following documents, in whole or in part, are normatively referenced in this document and are indispensable for its application. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC TS 62153-4-1, *Metallic communication cable test methods – Part 4-1: Electromagnetic compatibility (EMC) – Introduction to electromagnetic screening measurements*

IEC 62153-4-3, *Metallic communication cable test methods – Part 4-3: Electromagnetic Compatibility (EMC) – Surface transfer impedance – Triaxial method*

IEC 62153-4-4, *Metallic communication cable test methods – Part 4-4: Electromagnetic compatibility (EMC) – Shielded screening attenuation, test method for measuring of the screening attenuation as up to and above 3 GHz*

IEC 62153-4-15, *Metallic communication cable test methods – Part 4-15: Electromagnetic compatibility (EMC) – Test method for measuring transfer impedance and screening attenuation – or coupling attenuation with Triaxial Cell*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply.

3.1

surface transfer impedance

Z_T

for an electrically short screen, quotient of the longitudinal voltage U_1 induced to the inner circuit by the current I_2 fed into the outer circuit or vice versa, see figure 1

Note 1 to entry: The surface transfer impedance is expressed in ohms.

Note 2 to entry: The value Z_T of an electrically short screen is expressed in ohms [Ω] or decibels in relation to 1 Ω .

Note 3 to entry: See Figure 1.

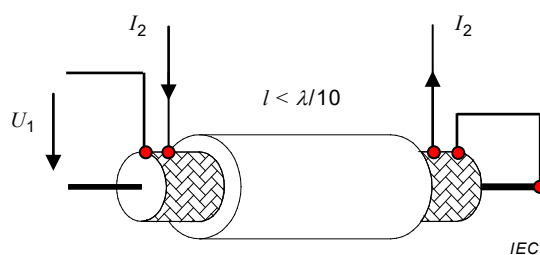


Figure 1 – Definition of Z_T

$$Z_T = \frac{U_1}{I_2} \quad (1)$$

$$Z_T \text{ dB}(\Omega) = +20 \times \log_{10} \left(\frac{|Z_T|}{1 \Omega} \right) \quad (2)$$

3.2 effective transfer impedance

Z_{TE}

effective transfer impedance, defined as:

$$Z_{TE} = \max |Z_F \pm Z_T| \quad (3)$$

where

Z_F is the capacitive coupling impedance.

3.3 screening attenuation

a_s

for electrically long devices, i.e. above the cut-off frequency, logarithmic ratio of the feeding power P_1 and the periodic maximum values of the coupled power $P_{r,\max}$ in the outer circuit

$$a_s = -10 \log_{10} \left(\text{Env} \left| \frac{P_{r,\max}}{P_1} \right| \right) \quad (4)$$

where

Env is the minimum envelope curve of the measured values in dB

Note 1 to entry: The screening attenuation of an electrically short device is defined as:

$$a_s = -20 \log_{10} \frac{150 \Omega}{Z_{TE}} \quad (5)$$

where

150 Ω is the standardized impedance of the outer circuit.

3.4 coupling attenuation

a_C

for a screened balanced device, the sum of the unbalance attenuation a_U of the symmetric pair and the screening attenuation a_S of the screen of the device under test

Note 1 to entry: For electrically long devices, i.e. above the cut-off frequency, the coupling attenuation a_C is defined as the logarithmic ratio of the feeding power P_1 and the periodic maximum values of the coupled power $P_{r,max}$ in the outer circuit.

3.5 coupling length

length of cable inside the test jig between the end of the extension tube and the screening cap (see Figure 2)

Note 1 to entry: the coupling length is electrically short, if

$$\lambda_o/l > 10 \cdot \sqrt{\varepsilon_{r1}} \text{ or } f < \frac{c_o}{10 \cdot l \cdot \sqrt{\varepsilon_{r1}}} \quad (6)$$

or electrically long, if

$$\lambda_o/l \leq 2 \cdot \left| \sqrt{\varepsilon_{r1}} - \sqrt{\varepsilon_{r2}} \right| \text{ or } f > \frac{c_o}{2 \cdot l \cdot \left| \sqrt{\varepsilon_{r1}} - \sqrt{\varepsilon_{r2}} \right|} \quad (7)$$

where

- l is the effective coupling length in m;
- λ_o is the free space wave length in m;
- ε_{r1} is the resulting relative permittivity of the dielectric of the cable;
- ε_{r2} is the resulting relative permittivity of the dielectric of the secondary circuit;
- f is the frequency in Hz;
- c_o is the velocity of light in free space.

3.6 device under test

device consisting of the mated connectors with their attached cables

4 Physical background

See respective clauses of IEC TS 62153-4-1, IEC 62153-4-3, IEC 62153-4-4 and Annexes C and D.

5 Principle of the test methods

5.1 General

The IEC 62153-4-x series describes different test procedures to measure screening effectiveness on communication cables, connectors and components with triaxial test set-up.

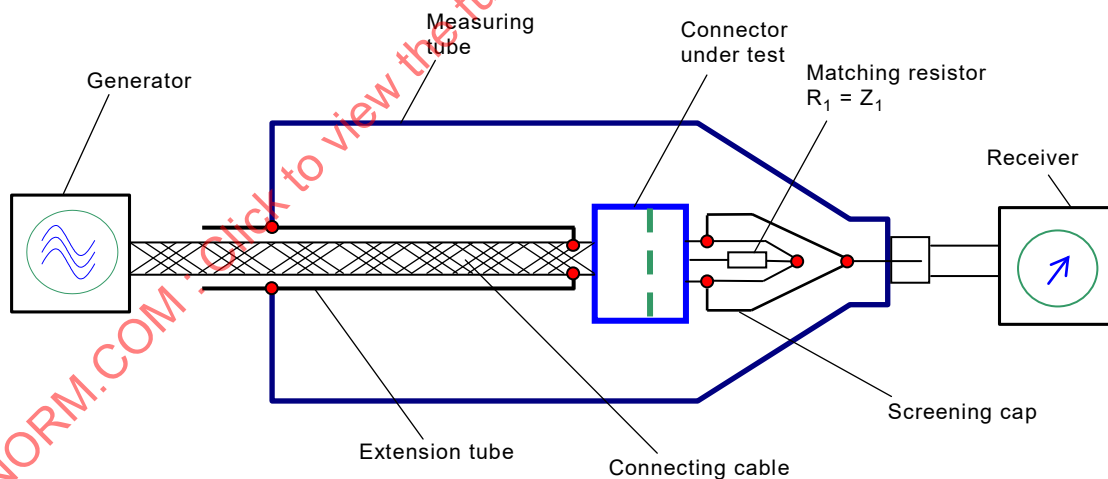
Table 1 gives an overview about IEC 62153-4-x test procedures with triaxial test set-up.

**Table 1 – IEC 62153, Metallic communication cable test methods –
Test procedures with triaxial test set-up**

	Metallic Communication Cable test methods – Electromagnetic compatibility (EMC)
IEC TR 62153-4-1 Ed.3	Introduction to electromagnetic (EMC) screening measurements
IEC 62153-4-3 Ed.2	Surface transfer impedance – Triaxial method
IEC 62153-4-4Ed.2	Shielded screening attenuation, test method for measuring of the screening attenuation a_s up to and above 3 GHz
IEC 62153-4-7	Shielded screening attenuation test method for measuring the transfer impedance Z_T and the screening attenuation a_s or the coupling attenuation a_c of RF-connectors and assemblies up to and above 3 GHz, tube in tube method
IEC 62153-4-9	Coupling attenuation of screened balanced cables, triaxial method
IEC 62153-4-10	Shielded screening attenuation test method for measuring the screening effectiveness of feedtroughs and electromagnetic gaskets double coaxial method
IEC 62153-4-15	Test method for measuring transfer impedance and screening attenuation – or coupling attenuation with triaxial cell (under consideration)
IEC 62153-4-16	Technical report on the relationship between transfer impedance and screening attenuation (under consideration)

Usually RF connectors have mechanical dimensions in the longitudinal axis in the range of 20 mm to maximum 50 mm. With the definition of electrical short elements we get cut off or corner frequencies for the transition between electrically short and long elements of about 1 GHz or higher for usual RF-connectors.

To measure the screening attenuation instead of transfer impedance also in the lower frequency range, the tube in tube procedure was designed. The electrically length of the RF-connector is extended by a RF-tightly closed metallic extension tube (tube in tube). See Figure 2.



**Figure 2 – Principle of the test set-up to measure transfer impedance
and screening or coupling attenuation of connectors with tube in tube**

The tube in tube test set up is based on the triaxial system according to IEC 62153-4-3 and IEC 62153-4-4 consisting of the DUT, a solid metallic tube and (optional) a RF-tight extension tube. The matched device under test, DUT, which is fed by a generator, forms the disturbing circuit which may also be designated as the inner or the primary circuit. The connecting cables to the DUT are additionally screened by the tube in tube.

The disturbed circuit, which may also be designated as the outer or the second circuit, is formed by the outer conductor of the device under test (and the extension tube), connected to the connecting cable and a solid metallic tube, having the DUT under test in its axis.

5.2 Transfer impedance

The test determines the screening effectiveness of a shielded cable by applying a well-defined current and voltage to the screen of the cable, the assembly or the device under test and measuring the induced voltage in secondary circuit in order to determine the surface transfer impedance. This test measures only the magnetic component of the transfer impedance. To measure the electrostatic component (the capacitance coupling impedance), the method described in IEC 62153-4-8 should be used.

The triaxial method of the measurement is in general suitable in the frequency range up to 30 MHz for a 1 m sample length and 100 MHz for a 0,3 m sample length, which corresponds to an electrical length less than 1/6 of the wavelength in the sample. A detailed description is found in Clause 9 of IEC TS 62153-4-1:2014 as well as in IEC 62153-4-3.

5.3 Screening attenuation

The disturbing or primary circuit is the matched cable, assembly or device under test. The disturbed or secondary circuit consists of the outer conductor (or the outermost layer in the case of multiscreen cables or devices) of the cable or the assembly or the device under test and a solid metallic housing, having the device under test in its axis (see Figure 3).

The voltage peaks at the far end of the secondary circuit have to be measured. The near end of the secondary circuit is short-circuited. For this measurement, a matched receiver is not necessary. The expected voltage peaks at the far end are not dependent on the input impedance of the receiver, provided that it is lower than the characteristic impedance of the secondary circuit. However, it is an advantage to have a low mismatch, for example, by selecting of housings of sufficient size. A detailed description could be found in Clause 10 of IEC TS 62153-4-1:2014 as well as in IEC 62153-4-4.

5.4 Coupling attenuation

Balanced cables, connectors, assemblies or devices which are driven in the differential mode may radiate a small part of the input power, due to irregularities in the symmetry. For unscreened balanced cables, connectors, assemblies or devices, this radiation is related to the unbalance attenuation a_u . For screened balanced cables, connectors or assemblies, the unbalance causes a current in the screen which is then coupled by the transfer impedance and capacitive coupling impedance into the outer circuit. The radiation is attenuated by the screen of the component and is related to the screening attenuation a_s .

Consequently the effectiveness against electromagnetic disturbances of shielded balanced cables, connectors or assemblies is the sum of the unbalance attenuation a_u of the pair and the screening attenuation a_s of the screen. Since both quantities usually are given in a logarithmic ratio, they may simply be added to form the coupling attenuation a_c :

$$a_c = a_u + a_s \quad (8)$$

Coupling attenuation a_c is determined from the logarithmic ratio of the feeding power P_1 and the periodic maximum values of the power $P_{r,max}$ (which may be radiated due to the peaks of voltage U_2 in the outer circuit):

$$a_c = -10 \log_{10} \left(\text{Env} \left| \frac{P_{r,max}}{P_1} \right| \right) \quad (9)$$

where

Env is the minimum envelope curve of the measured values in dB.

The relationship of the radiated power P_r to the measured power P_2 received on the input impedance R is:

$$\frac{P_s}{P_2} = \frac{P_{S\max}}{P_{2\max}} = \frac{R}{2 \cdot Z_s} \quad (10)$$

There will be a variation of the voltage U_2 on the far end, caused by the electromagnetic coupling through the screen and superposition of the partial waves caused by the surface transfer impedance Z_T , the capacitive coupling impedance Z_F (travelling to the far and near end) and the totally reflected waves from the near end.

To feed the balanced device under test, a differential mode signal is necessary. This can be achieved with a two-port network analyser (generator and receiver) and a balun or a multiport network analyser. The procedure to measure coupling attenuation with a multiport network analyser is under consideration.

6 Test procedure

6.1 General

The measurements shall be carried out at the temperature of $(23 \pm 3) ^\circ\text{C}$. The test method determines the transfer impedance or the screening attenuation or the coupling attenuation of a DUT by measuring in a triaxial test set-up according to IEC 62153-4-3 and IEC 62153-4-4.

6.2 Tube in tube procedure

Usually RF connectors have mechanical dimensions in the longitudinal axis in the range of 20 mm to maximum 50 mm. With the definition of electrically short elements, we get cut off or corner frequencies or corner for the transition between electrically short and long elements of about 1 GHz or higher for usual RF-connectors.

In the frequency range up to the cut off frequency, where the device under test (DUT) is electrically short, the transfer impedance of the DUT can be measured. For frequencies above the cut-off frequency, where the DUT is electrically long, the screening attenuation can be measured.

By extending the electrically length of the RF-connector by a RF-tightly closed metallic extension tube (tube in tube), the tested combination becomes electrically long and the cut-off frequency is moved towards the lower frequency range. In this way, also in the lower frequency range, the screening attenuation may be measured and the effective transfer impedance of electrical short devices calculated.

The test set up is a triaxial system consisting of the DUT, a solid metallic tube and a RF-tight extension tube. The matched device under test, DUT, which is fed by a generator forms the disturbing circuit which may also be designated as the inner or the primary circuit.

The disturbed circuit, which may also be designated as the outer or the second circuit, is formed by the outer conductor of the device under test, connected to the extension tube and a solid metallic tube having the DUT under test in its axis.

The principle of the test set-up is shown in Figure 2 and Figure 3. The set-up is the same for measuring the transfer impedance and the screening- or the coupling attenuation, whereas the length of the inner and the outer tube may vary.

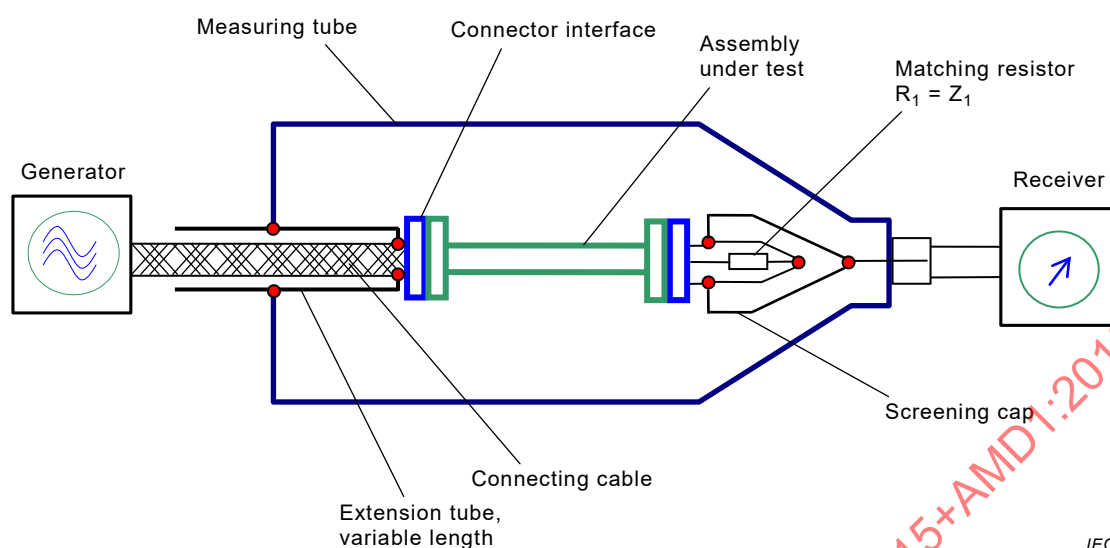


Figure 3 – Principle of the test set-up to measure transfer impedance and screening attenuation of a cable assembly

The voltage ratio of the voltage at the near end (U_1) of the inner circuit (generator) and the voltage at the far end (U_2) of the secondary circuit (receiver) shall be measured (U_1/U_2). The near end of the secondary circuit is short-circuited.

Depending on the electrical length of the tested combination, the DUT and the extension tube, the result may be expressed either by the transfer impedance, the effective transfer impedance or the screening attenuation (or the coupling attenuation).

For this measurement, a matched receiver is not necessary. The likely voltage peaks at the far end are not dependant on the input impedance of the receiver, provided that it is lower than the characteristic impedance of the secondary circuit. However, it is an advantage to have a low mismatch, for example by selecting a range of tube diameters for several sizes of coaxial cables.

6.3 Test equipment

The principle of the test set-up is shown in Figure 2 and 3 and consists of:

- an apparatus of a triple coaxial form with a length sufficient to produce a superimposition of waves in narrow frequency bands which enable the envelope curve to be drawn,
- tubes with variable lengths, e.g. by different parts of the tubes and/or by a movable tube in tube. In case of larger connectors or components, the triaxial tubes may be replaced by a triaxial cell according to IEC 62153-15.
- a RF-tight extension tube (tube in tube), variable in length, which should preferably have a diameter such that the characteristic impedance to the outer tube is 50Ω or equal to the nominal characteristic wave impedance of the network analyser or the generator and receiver. The material of the extension tube shall be non ferromagnetic and well conductive (copper or brass) and shall have a thickness $\geq 1 \text{ mm}$ such that the transfer impedance is negligible compared to the transfer impedance of the device under test,
- a signal generator and a receiver with a calibrated step attenuator and a power amplifier if necessary for very high screening attenuation. The generator and the receiver may be included in a network analyser.
- a balun for impedance matching of the unbalanced generator output signal to the characteristic wave impedance of balanced cables for measuring the coupling attenuation. Requirements for the balun are given in IEC 62153-4-9:2008, 6.2. Alternatively to a balun, a VNA with mixed mode option may be used (procedures with mixed mode VNAs are under consideration).

Optional equipment is:

- time domain reflectometer (TDR) with a rise time of less than 200 ps or network analyser with maximum frequency up to 5 GHz and time domain capability.

6.4 Calibration procedure

The calibration shall be established at the same frequency points at which the measurement is done, i.e. in a logarithmic frequency sweep over the whole frequency range, which is specified for the transfer impedance.

When using a vector network analyser with S-parameter test-set, a full two port calibration shall be established including the connecting cables used to connect the test set-up to the test equipment. The reference planes for the calibration are the connector interface of the connecting cables.

When using a (vector) network analyser without S-parameter test-set, i.e. by using a power splitter, a THRU calibration shall be established including the test leads used to connect the test set-up to the test equipment.

When using a separate signal generator and receiver, the composite loss of the test leads shall be measured and the calibration data shall be saved, so that the results may be corrected.

$$a_{\text{cal}} = 10 \log_{10} \left(\frac{P_1}{P_2} \right) = -20 \log_{10} (S_{21}) \quad (11)$$

where

P_1 is the power fed during calibration procedure;

P_2 is the power at the receiver during calibration procedure.

If amplifiers are used, their gain shall be measured over the above-mentioned frequency range and the data shall be saved.

If an impedance matching adapter is used, the attenuation shall be measured over the above-mentioned frequency range and the data shall be saved. This can be achieved e.g. by connecting two impedance matching adapters of the same type and the same manufacturer “back to back” together and measure:

$$2 \cdot a_{\text{imd}} = 10 \log_{10} \left(\frac{P_1}{P_2} \right) = -20 \log_{10} (S_{21}) \quad (12)$$

6.5 Connection between extension tube and device under test

The connection between the extension tube and the attached cables of the device under test shall be such that the contact resistance is negligible. A possible connection technique as well as a description of the influence of contact resistances is given in Annex D.

6.6 Dynamic range respectively noise floor

With the verification test, the residual transfer impedance respectively the noise floor due to the connection of the feeding cable to the extension tube shall be determined.

The feeding cable is matched with its characteristic impedance and connected to the test head. The extension tube shall then be connected to the feeding cable (without DUT), using

the same connection technique as during the test. The piece of cable between the connection points shall be as short as possible (see Figure 4).

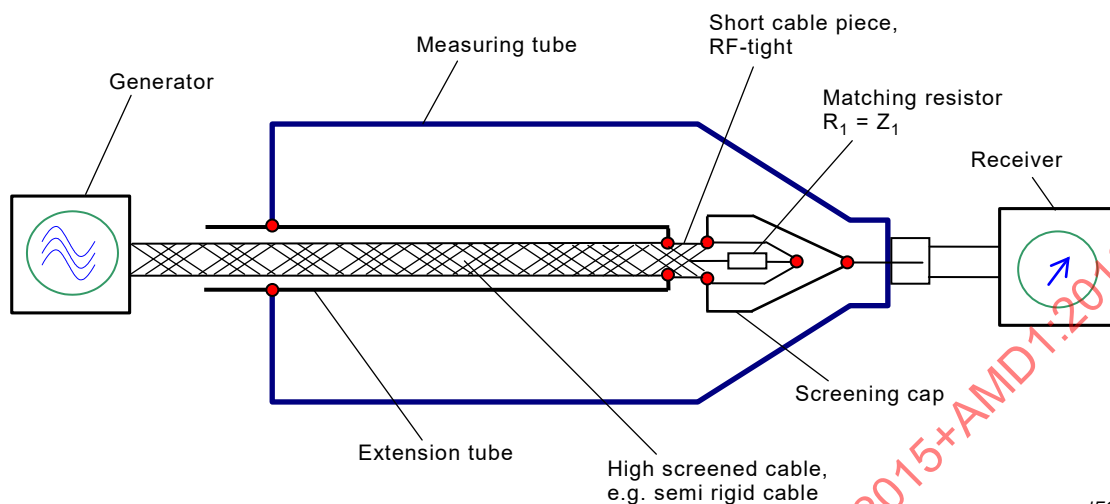


Figure 4 – Principle set-up for verification test

The voltage ratio U_1/U_2 shall be measured with the VNA.

The noise floor a_n of the connection of the extension tube to the feeding cable is then given by:

$$a_n = 20 \log_{10} (U_1/U_2) \quad (13)$$

The noise floor shall be at least 10 dB better than the measured value.

The residual transfer impedance of the connection of the extension tube to the feeding cable is given by:

$$Z_{Tr} = Z_1 \left| \frac{U_2}{U_1} \right| \quad (14)$$

6.7 Impedance matching

If unknown, the nominal characteristic impedance of the (quasi-)coaxial system can either be measured by using a TDR with maximum 200 ps rise time or using the method described in Annex A. An impedance matching adapter to match the impedance of the generator and the impedance of the (quasi-)coaxial system is not recommended as it reduces the dynamic range of the test set-up and may have sufficient matching (return loss) only up to 100 MHz when using self-made adapters which are necessary for impedances other than 60 Ω or 75 Ω (see Annex B).

6.8 Influence of Adapters

When measuring transfer impedance and screening attenuation or coupling attenuation on connectors or cable assemblies, test adapters are required if no mating connectors to the connectors of the DUT are available.

Test adapters and/or mating connectors may limit the sensitivity of the test set up and may influence the measurement.

The type and/or the design of the test adapter shall be stated in the test report.

A more detailed description on the design and the influence of test adapters is under consideration.

7 Sample preparation

7.1 Coaxial connector or device

A feeding cable shall be mounted to the connector under test and its mating part according to the specification of the manufacturer. One end shall be connected to the test head where the feeding cable is matched with the nominal characteristic impedance of the device under test. It may be short circuited, when measuring the transfer impedance with method C: (Mismatched)-short-short without damping resistor according to IEC 62153-4-3.

The other end of the connecting cable shall be passed through the extension tube and connected to the generator. On the side of the device under test, the screen of the feeding cable shall be connected to the extension tube with low contact resistance (see 6.2 and Annex B). On the generator side, the screen of the feeding cable shall not be connected to the extension tube.

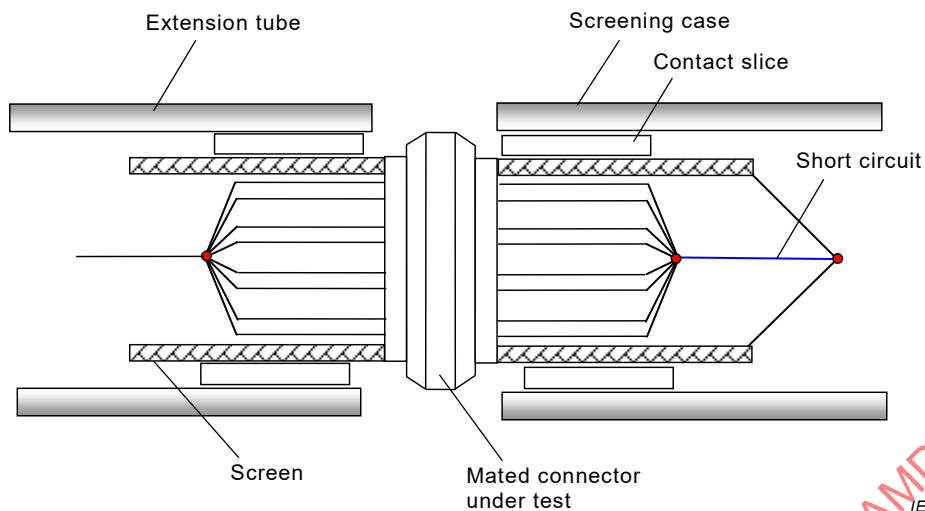
7.2 Balanced or multiconductor device

A balanced or multiconductor cable which is usually used with the connector under test shall be mounted each to the connector under test and its mating part according to the specification of the manufacturer.

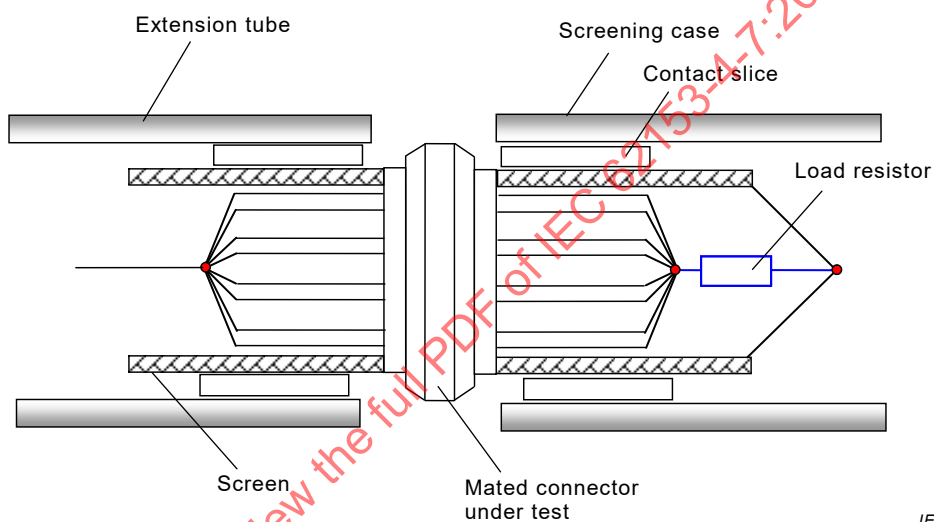
When measuring transfer impedance or screening attenuation, screened balanced or multiconductor cables are treated as a quasi-coaxial system. Therefore, at the open ends of the feeding cable, all conductors of all pairs shall be connected together. All screens, including those of individually screened pairs or quads, shall be connected together at both ends. All screens shall be connected over the whole circumference (see Figures 5a and 5b).

One end shall then be connected to the test head where the feeding cable is matched with the characteristic impedance (screening attenuation and transfer impedance with short/matched procedure) or with a short circuit (transfer impedance with short/short procedure).

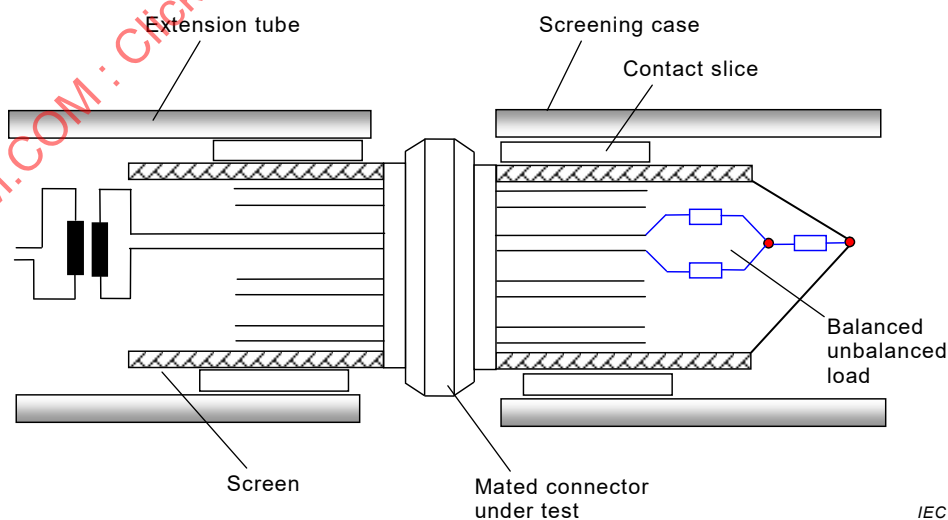
One end of the connecting cable shall then be connected to the test head where the connecting cable is matched with the characteristic impedance of the DUT.



a) Principle preparation of balanced or multiconductor connectors for transfer impedance (short/short)



b) Principle preparation of balanced or multiconductor connectors for transfer impedance (short/matched) and screening attenuation



c) Principle preparation of balanced or multiconductor connectors for coupling attenuation

Figure 5 – Preparation of balanced or multiconductor connectors

7.3 Cable assembly

If the cable assembly fits into the tube, it shall be measured according to Figure 3. Longer cable assemblies can be cut and each site measured separately.

8 Measurement of transfer impedance

8.1 General

IEC 62153-4-3 describes three different triaxial test procedures:

- Test method A: Matched inner circuit with damping resistor in outer circuit
- Test method B: Inner circuit with load resistor and outer circuit without damping resistor
- Test method C: (Mismatched)-short-short without damping resistor

The procedure described herein is in principle the same as test method B of IEC 62153-4-3: Matched inner circuit without the use of the impedance matching adapter and without the damping resistor R_2 . It has a higher dynamic range than test method A of IEC 62153-4-3.

The load resistor R_1 could be either equal to the impedance of the inner circuit or be equal to the generator impedance. The latter case is of interest when using a network analyser with power splitter instead of S-parameter test set.

NOTE Other procedures of 62153-4-3 may be applied accordingly if required.

8.2 Principle block diagram of transfer impedance

A block diagram of the test set-up to measure transfer impedance according to test method B of IEC 62153-4-3 is shown in Figure 6.

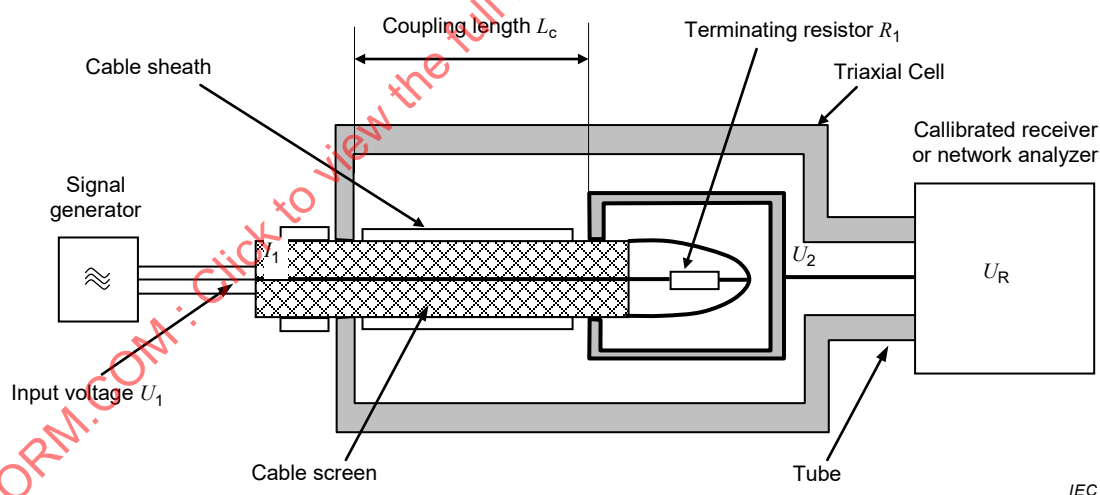


Figure 6 – Test set-up (principle) for transfer impedance measurement according to test method B of IEC 62153-4-3

8.3 Measuring procedure – Influence of connecting cables

When measuring a connector or a component without tube in tube, the transfer impedance of the connecting cables inside the tube to connect the DUT shall be measured.

The transfer impedance of the connecting cables which connects the DUT shall be measured according to IEC 62153-4-3. The measured value shall be related to the length of the connecting cables inside the test set-up to connect the DUT, the result is the transfer impedance of the connecting cables, Z_{con} .

8.4 Measuring

The DUT shall be connected to the generator and the outer circuit (tube) to the receiver.

The attenuation, a_{meas} , shall be preferably measured in a logarithmic frequency sweep over the whole frequency range, which is specified for the transfer impedance and at the same frequency points as for the calibration procedure:

$$a_{\text{meas}} = 10 \log_{10} \left(\frac{P_1}{P_2} \right) = -20 \log_{10} (S_{21}) \quad (15)$$

where

P_1 is the power fed to inner circuit;

P_2 is the power in the outer circuit.

8.5 Evaluation of test results

The conversion from the measured attenuation to the transfer impedance is given by following formula:

$$Z_T = \frac{R_1 + Z_0}{2} \cdot 10^{-\left(\frac{a_{\text{meas}} - a_{\text{cal}}}{20}\right)} - Z_{\text{con}} \quad (16)$$

or

$$Z_T = \frac{R_1 + Z_0}{2} \cdot 10^{-\left(\frac{a_{\text{meas}} - a_{\text{cal}}}{20}\right)} - Z_{\text{Tr}} \quad (17)$$

when using the tube in tube method.

where

Z_T is the transfer impedance;

Z_0 is the system impedance (in general 50 Ω);

a_{meas} is the attenuation measured at measuring procedure;

a_{cal} is the attenuation of the connection cables if not eliminated by the calibration procedure of the test equipment;

R_1 is the terminating resistor in inner circuit (either equal to the impedance of the inner circuit or the impedance of the generator);

Z_{con} is the transfer impedance of connecting cables;

Z_{Tr} is the residual transfer impedance, see 6.6.

NOTE Contrary to the measurement of the transfer impedance of cable screens, the transfer impedance of connectors or assemblies is not related to length.

8.6 Test report

The test report shall record the test results and shall conclude if requirements of the relevant detail specification are met.

The use and the design of test adapters (if any) shall be described.

9 Screening attenuation

9.1 General

This method is in principle the same as described in IEC 62153-4-4.

9.2 Impedance matching

9.2.1 General

Measuring of screening attenuation can be achieved with or without impedance matching.

If the characteristic impedance of the DUT is unknown, the nominal characteristic impedance of the quasi-coaxial system can either be measured by using a TDR with maximum 200 ps rise time or using the method described in Annex A of IEC 62153-4-4.

An impedance matching adapter to match the impedance of the generator and the impedance of the system device under test (see figure 7) is not recommended as it reduces the dynamic range of the test set-up and may have sufficient matching (return loss) only up to 100 MHz when using self-made adapters which are necessary for impedances other than 50 Ω or 75 Ω (see Annex B of IEC 62153-4-4).

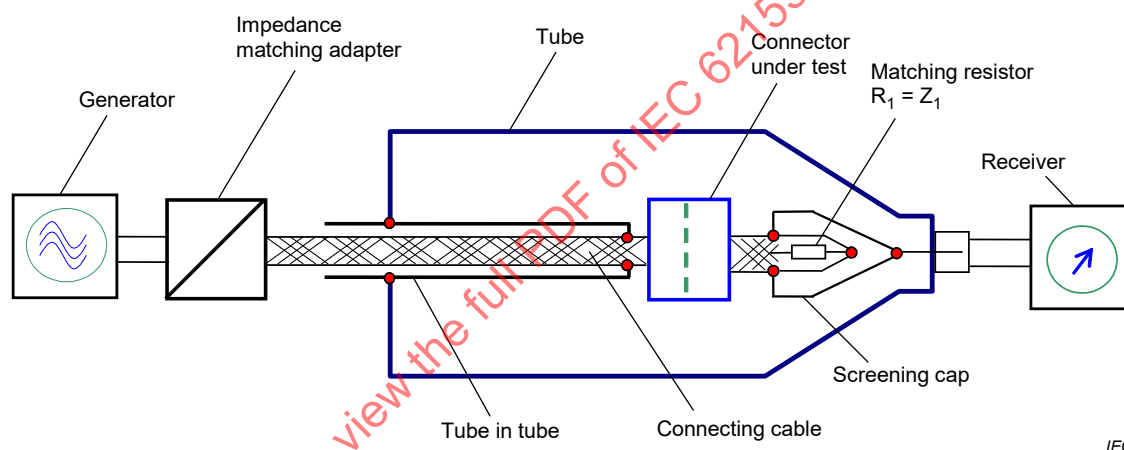


Figure 7 – Measuring the screening attenuation with tube in tube with impedance matching device

The DUT with the connected extension tube shall be installed in the measuring tube. The extension tube shall be short circuited to the measuring tube at the near end of the generator. The feeding cable shall be connected to the generator (via an impedance matching device if necessary) and the output of the measuring tube shall be connected to the receiver.

The scattering parameter S_{21} shall be measured.

Only the peak values of the obtained screening attenuation graph are used to determine the envelope curve.

9.2.2 Evaluation of test results with matched conditions

The screening attenuation a_s shall be calculated with the arbitrary determined normalised value $Z_s = 150 \Omega^1$.

¹ Z_s is the normalised value of the characteristic impedance of the environment of a typical cable installation. It is not in relation to the impedance of the outer circuit of the test set-up.

$$a_S = 10 \times \log_{10} \left| \frac{P_1}{P_{r,\max}} \right| = 10 \times \log_{10} \left| \frac{P_1}{P_{2,\max}} \times \frac{2 \times Z_S}{R} \right| - a_{imd} \quad (18)$$

$$= Env \left\{ -20 \times \log_{10} |S_{21}| + 10 \times \log_{10} \left| \frac{300\Omega}{Z_1} \right| - a_{imd} \right\} \quad (19)$$

where

- a_S is the screening attenuation related to the radiating impedance of 150 Ω in dB;
- a_{imd} is the attenuation of the impedance matching device (if appropriate);
- Env is the minimum envelope curve of the measured values in dB;
- S_{21} is the scattering parameter S_{21} (complex quantity) of the set-up where the primary side of the two port is the DUT and the secondary side is the tube;
- Z_1 is the characteristic impedance of the cable under test, in Ω .

At frequencies lower than the limit of the electrically long coupling length, the measurement will be similar to that for surface transfer impedance.

9.2.3 Measuring with mismatch

The DUT shall be connected to port 1 and the test head of the set-up shall be connected to port 2 of the vector network analyser.

If not known, the characteristic impedance Z_1 of the DUT shall be measured (see 9.2).

The scattering parameter S_{21} shall be measured.

Only the peak values of the obtained screening attenuation graph are used to determine the envelope curve.

9.2.4 Evaluation of test results

The screening attenuation a_S which is comparable to the results of the absorbing clamp method shall be calculated with the arbitrary determined normalised value $Z_S = 150 \Omega^1$.

$$a_S = 10 \log_{10} \left| \frac{P_1}{P_{r,\max}} \right| = 10 \log_{10} \left| \frac{P_1}{P_{2,\max}} \cdot \frac{2 \times Z_S}{R} \right| \quad (20)$$

$$= Env \left\{ -20 \log_{10} |S_{21}| + 10 \log_{10} |1 - r^2| + 10 \log_{10} \left| \frac{300\Omega}{Z_1} \right| \right\} \quad (21)$$

where

- a_S is the screening attenuation related to the radiating impedance of 150 Ω in dB;
- Env is the minimum envelope curve of the measured values in dB;
- S_{21} is the scattering parameter S_{21} (complex quantity) of the set-up where the primary side of the two port is the DUT and the secondary side is the tube;
- r is the reflection coefficient $= \left| \frac{Z_0 - Z_1}{Z_0 + Z_1} \right|$;
- Z_0 is the characteristic impedance of system in Ω , (usually 50 Ω);
- Z_1 is the characteristic impedance (in complex form) of the device under test in Ω .

9.3 Test report

The test report shall record the test results and shall conclude if requirements of the relevant detail specification are met.

The use and the design of test adapters (if any) shall be described.

10 Coupling attenuation

10.1 Procedure

The DUT is connected to the connecting cables according to the instructions of the manufacturer and terminated at the far end by differential and common mode terminations according to Figure 5c. The sample is then centred in the tube and fed by a generator in the differential mode via a balun, see Figure 8. Alternatively, the DUT may be fed by a multiport VNA, see Figure 10 (procedure is under consideration).

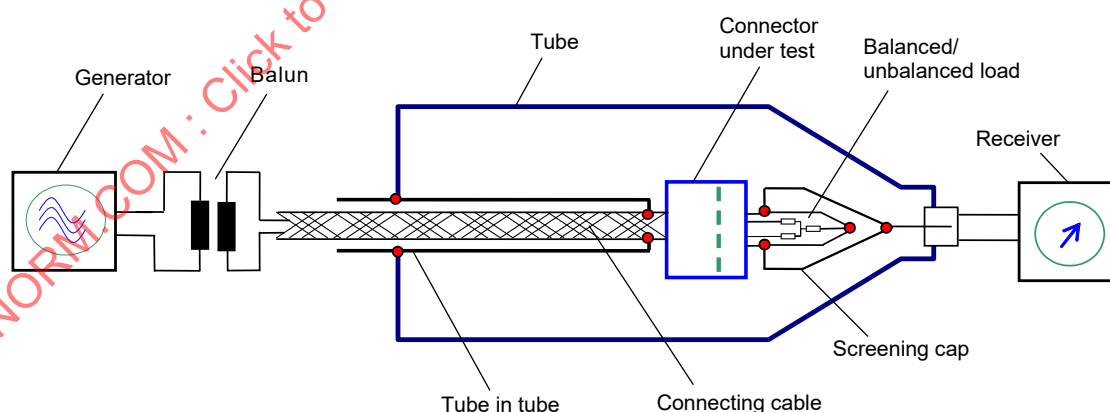
The quotient of the voltages at the output of the outer circuit and the input of the cable is measured, either directly by a network analyser or with a calibrated step attenuator [assuming that the receiver has the same input impedance as the output impedance of the signal generator ($R = Z_1$)] which is inserted as an alternative to the triaxial apparatus.

Only the peak values of the maximum of the voltage ratio or the minimum of the attenuation must be measured and recorded as a function of the frequency in order to determine the envelope curve.

Attenuation introduced by the inclusion of adapters, instead of direct connection, must be taken into account when calibrating the triaxial apparatus.

The voltage ratio measured is not dependent on the diameter of the outer tube of the triaxial test set-up or on the characteristic impedance Z_2 of the outer system, provided that Z_2 is larger than the input impedance of the receiver.

NOTE The procedure to measure with a VNA with mixed mode option instead of using a balun is under consideration.



IEC

Figure 8 – Measuring the coupling attenuation with tube in tube and balun

10.2 Expression of results

The attenuation of the balun shall be subtracted from the measuring results. The coupling attenuation a_c shall be calculated with the normalised value $Z_S = 150 \Omega$:

$$a_c = 10 \cdot \log_{10} \left| \frac{P_1}{P_{r,\max}} \right| = 10 \cdot \log_{10} \left| \frac{P_1}{P_{2,\max}} \cdot \frac{2 \cdot Z_S}{R} \right| \quad (22)$$

$$= 20 \cdot \log_{10} \left| \frac{U_1}{U_{2\max}} \right| + 10 \cdot \log_{10} \left| \frac{300 \, \Omega}{Z_1} \right| \quad (23)$$

$$= a_{m,\min} - a_z + 10 \cdot \log_{10} \left| \frac{300 \, \Omega}{Z_1} \right| \quad (24)$$

where

a_c is the coupling attenuation related to the normalised radiating impedance of 150 Ω in dB;

$a_{m,\min}$ is the attenuation recorded as minimum envelope curve of the measured values in dB;

a_z is the additional attenuation of an inserted balun, if not otherwise eliminated e.g. by the calibration, in dB;

U_1 is the input voltage of the primary circuit formed by the cable in V;

U_2 is the output voltage of the secondary circuit in V;

Z_1 is the (differential mode) characteristic impedance of the cable under test in Ω .

10.3 Test report

The test report shall indicate whether the results of minimum coupling attenuation comply with the value indicated in the relevant cable specification.

If a limiting value of the radiating power is specified for a cable system operating with a defined power level, the difference between the power level and the limit of radiating power shall not be greater than the coupling attenuation of the cable provided for the system.

The use and the design of test adapters (if any) shall be described.

A typical measurement graph of a connector is given in Figure 9.

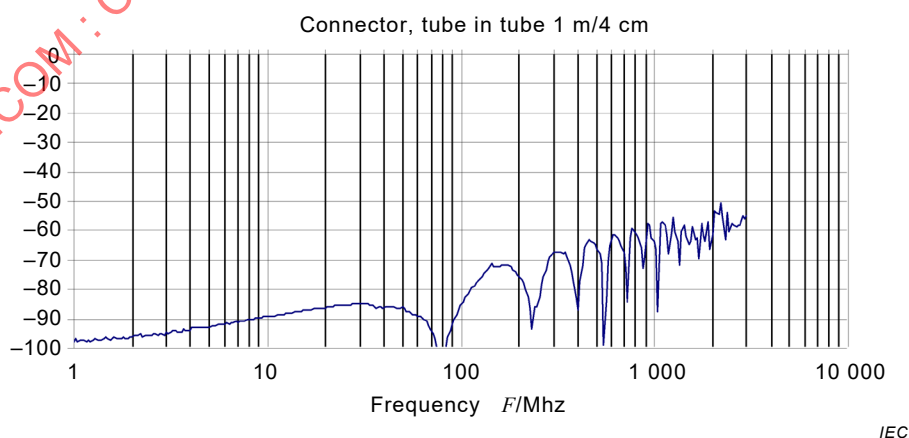


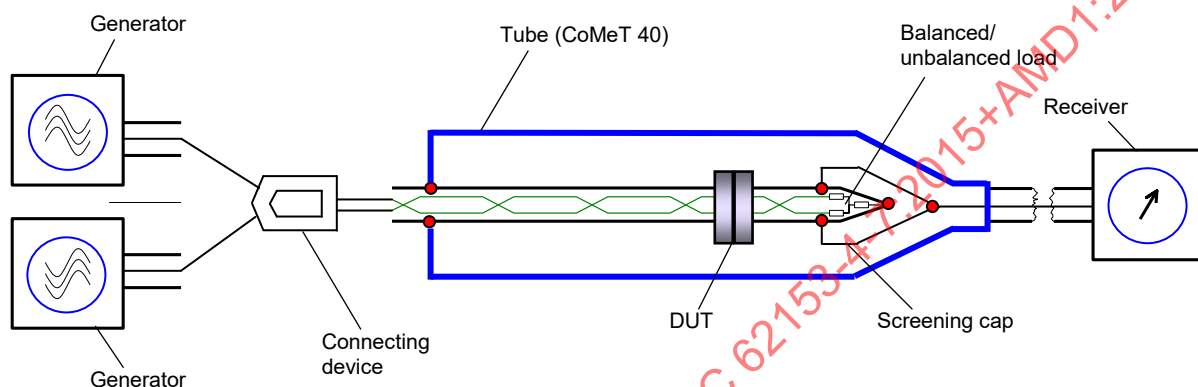
Figure 9 – Typical measurement of a connector of 0,04 m length with 1 m extension tube

10.4 Balunless procedure

To measure the coupling attenuation as well as to measure the unbalance attenuation a differential signal is required. This can, for example, be generated using a balun which converts the unbalanced signal of a 50 Ω network analyser into a balanced signal. Commercial baluns, however, are available up to 1,2 GHz only.

Alternatively, a balanced signal may be obtained with a network analyser having two generators with a phase shift of 180°. Another alternative is to measure with a multi-port VNA (virtual balun).

The balunless test procedure is under consideration.



IEC

**Figure 10 – Measuring the coupling attenuation with multiport VNA
(balunless procedure is under consideration)**

Annex A (normative)

Determination of the impedance of the inner circuit

If the impedance Z_1 of the inner circuit is not known, it may be determined using a TDR with maximum 200 ps rise time or using the following method with a (vector) network analyser (VNA).

One end of the prepared sample is connected to the VNA, which is calibrated for impedance measurements at the connector interface reference plane. The test frequency shall be approximately the frequency for which the length of the sample is $1/8 \lambda$, where λ is the wavelength.

$$f_{\text{test}} \approx \frac{c_0}{8 \cdot L_{\text{sample}} \cdot \sqrt{\epsilon_{r1}}} \quad (\text{A.1})$$

where

f_{test} is the test frequency;

c is the speed of light 3×10^8 m/s;

L_{sample} is the length of sample.

The sample is short-circuited at the far end. The impedance Z_{short} is measured.

The sample is left open at the same point where it was shorted. The impedance Z_{open} is measured.

Z_1 is calculated as:

$$Z_1 = \sqrt{Z_{\text{short}} \cdot Z_{\text{open}}} \quad (\text{A.2})$$

Annex B (informative)

Example of a self-made impedance matching adapter

Figure B.1 and B.2 show the attenuation and return loss of a 50 Ω to 5 Ω impedance matching adapter. A DUT impedance of 5 Ω is typical when measuring multipair cables with individually screened pairs or when measuring high voltage cables for electrical vehicles.

The attenuation and return loss were obtained from an open/short measurement. One can obtain that the matching adapter only works up to 10 MHz.

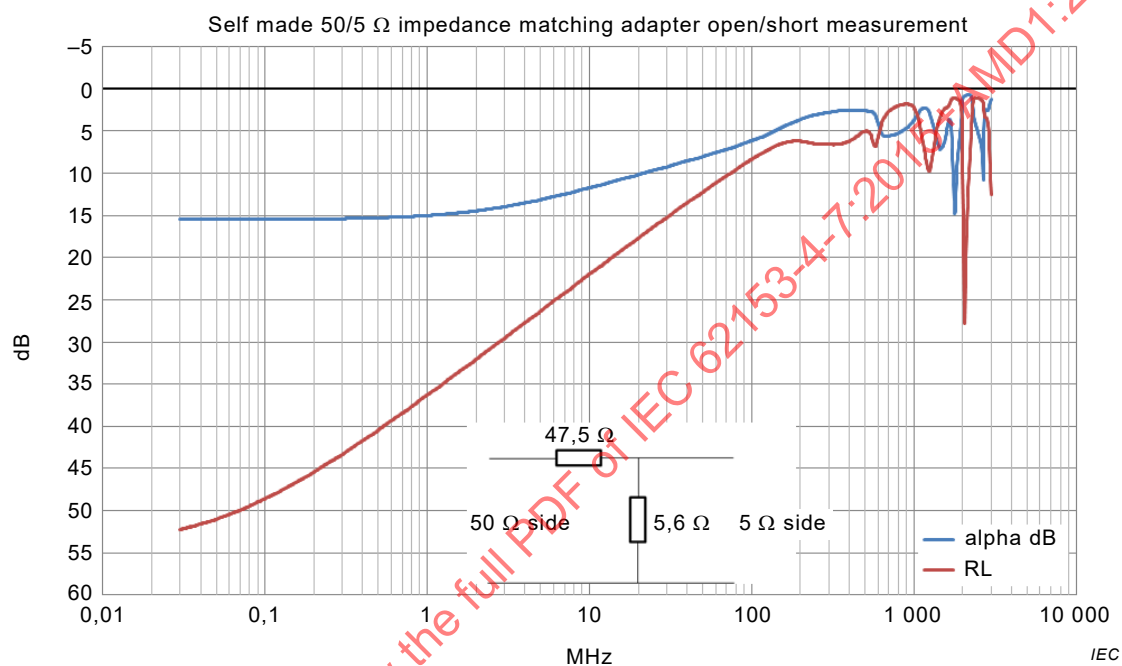


Figure B.1 – Attenuation and return loss of a 50 Ω to 5 Ω impedance matching adapter, log scale

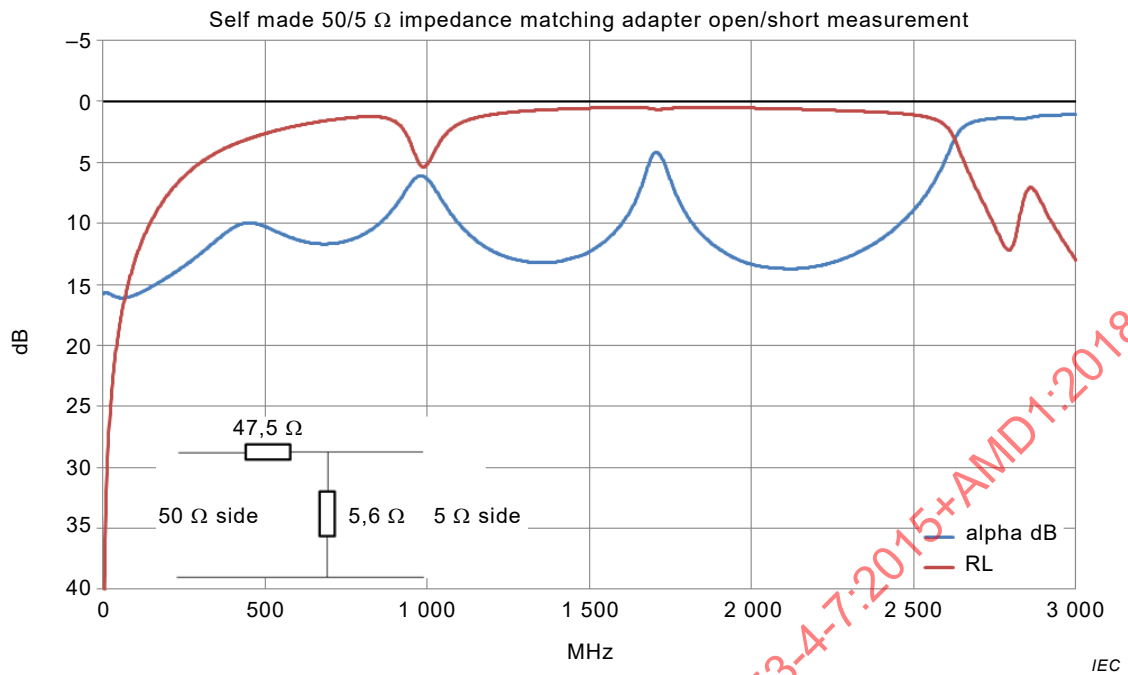


Figure B.2 – Attenuation and return loss of a 50 Ω to 5 Ω impedance matching adapter, lin scale

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62153-4-7:2015+AMD1:2018 CSV

Annex C (informative)

Measurements of the screening effectiveness of connectors and cable assemblies

C.1 General

Due to the increasing use of all kind of electric or electronic equipment, electromagnetic pollution is on the increase. To reduce this electromagnetic pollution, all components of a system, especially the connecting cables (assemblies) shall be screened. It is obvious that one needs standardised measuring procedures to compare the screening effectiveness of different screen designs. The basic screening parameters are the transfer impedance Z_T and the screening attenuation a_S or coupling attenuation a_C . Either the triaxial or the line injection method can be used to obtain the transfer impedance Z_T of cables, connectors and cable assemblies. However, for the measurement of the screening a_S or coupling a_C attenuation of connectors and cable assemblies, an easy and cost effective method does not exist.

The following new method, which fills this gap, is described hereafter. It is based on the recently introduced shielded screening attenuation (long triaxial) test method for the measurement of the screening or coupling attenuation of cables [1][2]².

C.2 Physical basics

C.2.1 General coupling equation

For the measurement of the coupling, it is expedient to use the concept of operational attenuation with the square root of power waves, as in the definition of scattering parameters [3][4]. The general coupling transfer function is then defined as:

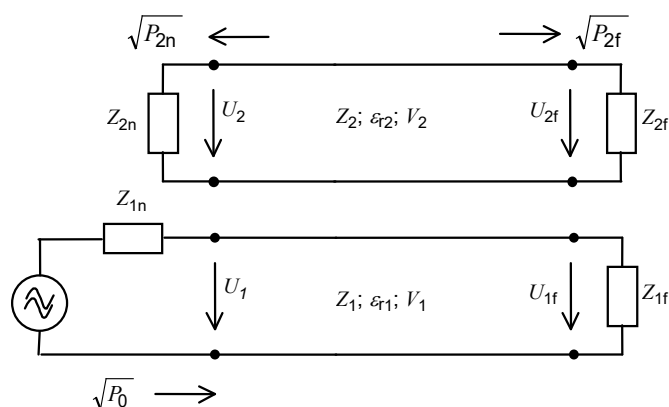
$$T_{n,f} = \frac{U_{-2n,f} / \sqrt{Z_2}}{U_{-1} / \sqrt{Z_1}} = \frac{\sqrt{P_{-2n,f}}}{\sqrt{P_{-0}}} \quad (C.1)$$

The electromagnetic influence between the sample under test and the surrounding is in principle the crosstalk between two lines and is caused by capacitive and magnetic coupling. At the near end, the magnetic and capacitive coupling adds whereas at the far end they subtract [4][5]. The coupling along the sample length is obtained by integrating the infinitesimal coupling distribution along the sample with the correct phase. The phase effect, when summing up the infinitesimal couplings along the line is expressed by the summing function S [4]. When the sample attenuation is neglected, then S could be expressed by the following equation, where $\beta_{1,2}$ are the phase velocities of the primary respectively the secondary circuit and l the coupling length. The indices n and f denote the near respectively the far end.

The equivalent circuit for two coupled lines is given in Figure C.1.

$$S_{n,f}(lf) = \frac{\sin[(\beta_2 \pm \beta_1) \cdot l/2]}{(\beta_2 \pm \beta_1) \cdot l/2} \exp(-j(\beta_2 + \beta_1) \cdot l/2) \quad (C.2)$$

² Figures in square brackets refer to the bibliography.



IEC

Key

$\sqrt{P_0}$	square root of the feeding power
$\sqrt{P_{2n}}$	square root of the coupled power, near end
$\sqrt{P_{2f}}$	square root of the coupled power, far end
Z_{nm}	matching resistors, 1 = primary circuit, 2 = secondary circuit
n	= near end, f = far end
Z_n	characteristic impedance, 1 = primary circuit, 2 = secondary circuit
ϵ_{rn}	dielectric constant, 1 = primary circuit, 2 = secondary circuit
v_n	velocity of propagation, 1 = primary circuit, 2 = secondary circuit

Figure C.1 – Equivalent circuit of coupled transmission lines

Figure C.2 shows the summing function which is in principle a $\sin(x)/x$ function. For high frequencies, the asymptotic value becomes:

$$\left| S_{nf} \right| \rightarrow \frac{2}{(\beta_1 \pm \beta_2) \cdot l} \quad (C.3)$$

And for low frequencies the summing function be-comes:

$$\left| S_{nf} \right| \rightarrow 1 \quad (C.4)$$

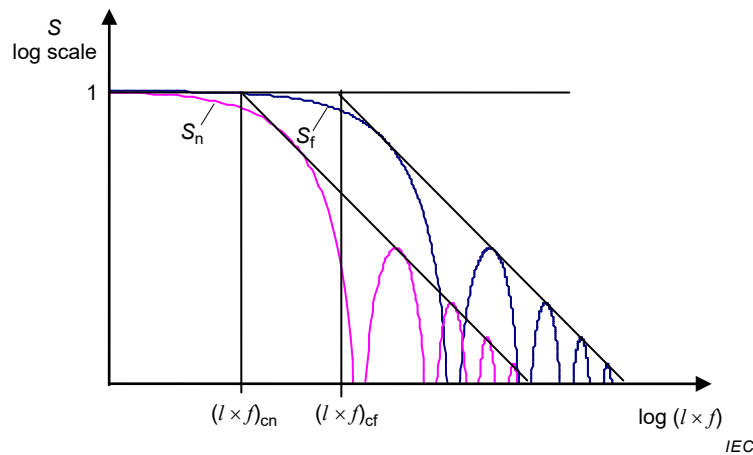


Figure C.2 – Summing function S

The point of intersection between the asymptotic values for low and high frequencies is the so called cut-off frequency f_c . This frequency gives the condition for electrical long samples:

$$f_{c,n} \cdot l \geq \frac{c_0}{\pi \cdot \sqrt{e_{r1} \pm \sqrt{e_{r2}}}} \quad (\text{C.5})$$

where

- e_{r1} is the relative dielectric permittivity of the inner system;
- e_{r2} is the relative dielectric permittivity of the outer system;
- l is the cable length.

C.2.2 Coupling transfer function

C.2.2.1 Homogenous screens

The primary screening quantities of a screen are the surface transfer impedance Z_T and the capacitive coupling impedance Z_F or the effective transfer impedance Z_{TE} . For homogeneous screens such as for connectors or cables, they can be assumed to be constant along the length. The integration could then be easily solved. The coupling between the sample and the surrounding could be expressed by the following coupling transfer function. For matched lines it is [3][4]:

$$T_{s,n} = (Z_F \pm Z_T) \cdot \frac{1}{\sqrt{Z_1 \cdot Z_2}} \cdot \frac{l}{2} \cdot S_n \quad (\text{C.6})$$

For low frequencies, when $S = 1$, the coupling transfer function corresponds to the frequency behaviour of the surface transfer impedance and capacitive coupling impedance. After a rise with 20 dB per decade, the coupling transfer function shows different cut-off frequencies $f_{cn,f}$ for the near and far end. Above these cut-off frequencies, the samples are considered as electrically long.

The calculated coupling transfer function of a coaxial cable is given in Figure C.3. The principle set-up of the triaxial test procedure is given in Figure C.4.

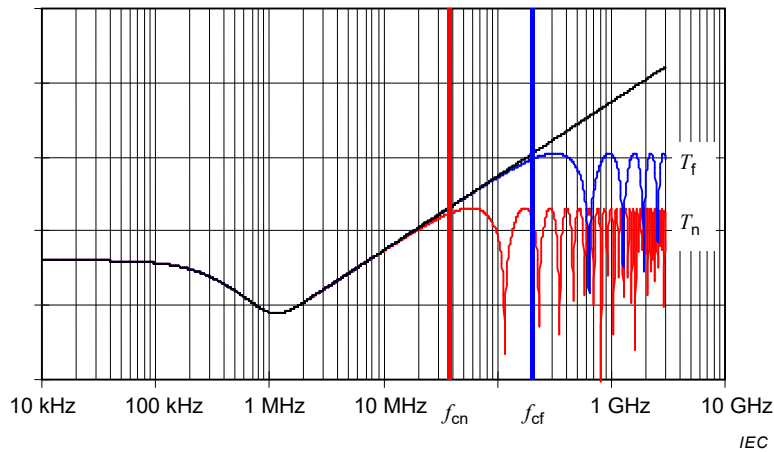


Figure C.3 – Calculated coupling transfer function ($l = 1$ m; $\epsilon_{r1} = 2,3$; $\epsilon_{r2} = 1$; $Z_F = 0$)

Below the cut-off frequencies, the surface transfer impedance Z_T is the measure of the screening effectiveness. The value of the transfer impedance Z_T increases with the sample length.

Above the cut-off frequencies in the range of wave propagation, respectively in the range where the samples are electrically long, the screening attenuation a_S is the parameter for the screening effectiveness. The screening attenuation is a length-independent quantity.

C.2.2.2 Cable assembly screens

Cable assemblies are composed by the cable itself and a connector at each end. In addition to the coupling of the components itself, the coupling of the transition between cable and connector also should be taken into account. Mounting a good connector to a good cable will not automatically lead to a good assembly because the connection between the cable and the connector may be worse.

Each part of it has a different coupling, thus one has to integrate in sections along the sample, i.e. one section for each component (connector A, transition, cable, transition, connector B). In a first approach, the velocity in each section could be assumed to be equal. The coupling transfer function for matched lines is then expressed by:

$$T_n = \frac{1}{\gamma_1 + \gamma_2} \cdot \sum_{i=1}^n \left[\frac{Z_{F,i} + Z_{T,i}}{2\sqrt{Z_1 \cdot Z_2}} \cdot e^{-(\gamma_1 + \gamma_2) \cdot \sum_{k=1}^{i-1} L_k} \cdot (1 - e^{-(\gamma_1 + \gamma_2) L_i}) \right] \quad (C.7)$$

$$T_f = \frac{e^{-\gamma_2 L_c}}{\gamma_1 - \gamma_2} \cdot \sum_{i=1}^n \left[\frac{Z_{F,i} - Z_{T,i}}{2\sqrt{Z_1 \cdot Z_2}} \cdot e^{-(\gamma_1 - \gamma_2) \cdot \sum_{k=1}^{i-1} L_k} \cdot (1 - e^{-(\gamma_1 - \gamma_2) L_i}) \right] \quad (C.8)$$

where

- $\gamma_{1,2}$ is the complex wave propagation constant of inner, respectively outer circuit;
- L_c is the whole coupling length (sum of the segment lengths);
- L_i is the length of segment i ;
- n is the number of segments (for cable assemblies, 3);
- $T_{n,f}$ is the coupling transfer function at the near respectively far end;

$Z_{1,2}$ is the characteristic impedance of inner, respectively outer circuit;
 Z_F is the capacitive coupling impedance;
 Z_T is the surface transfer impedance;
 γ is the propagation constant
 $= (\alpha + j\beta)$, where α is the attenuation constant and β is the phase constant.

C.2.2.3 Coupling in the triaxial set-up

The above-mentioned coupling transfer functions are valid if the primary and secondary circuit are matched. However, in the triaxial set-up, the secondary system (outer circuit) is mismatched (see also the following section). At the near end, one has the short circuit between the sample screen. At the far end, one has the mismatch between the impedance of the outer circuit and the receiver input impedance resulting in the reflection coefficient $r_{2,f}$. In this case, the resulting coupling transfer function (at the receiver end) is obtained by:

$$T^* = \left(T_f - T_n \cdot e^{-\gamma_2 L_C} \right) \cdot \frac{1 + r_{2,f}}{1 + r_{2,f} \cdot e^{-2\gamma_2 L_C}} \quad (\text{C.9})$$

where

γ_2 is the complex wave propagation constant of outer circuit;
 L_C is the whole coupling length (sum of the segment lengths);
 $r_{2,f}$ is the reflection coefficient;
 $T_{n,f}$ is the coupling transfer function at the near respectively far end.

C.3 Triaxial test set-up

C.3.1 General

The triaxial test set-up is one of the classical methods to measure the transfer impedance and has been recently extended for the measurement of the screening attenuation of cable screens [1]. The triaxial set-up is described in IEC 62153-4-3 and IEC 62153-4-4 and consists of a tube of brass or aluminium with an inner diameter of about 40 mm.

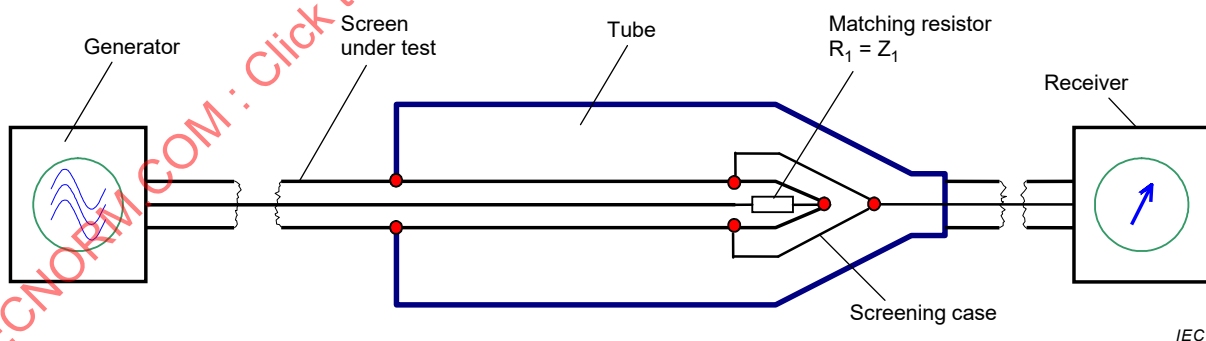


Figure C.4 – Triaxial set-up for the measurement of the screening attenuation a_s and the transfer impedance Z_T

For the measurement of the transfer impedance (electrically short coupling length), the tube length is 0,5 m to 1 m. For the measurement of the screening attenuation (electrically long coupling length), the measuring tube is extended to a length of 2 m to 3 m. (See also the above theoretical explanation).

In the outer circuit, at the near end, the screen under test is short circuited with the measuring tube. The electrical waves, which are coupled over the whole cable length from the inner

system into the outer system, propagate in both directions, to the near and to the far end. At the short circuited end, they are totally reflected, so that at the measuring receiver, the superposition of near and far end coupling can be measured as the disturbance voltage ratio U_2/U_1 . The screening attenuation as a power ratio is then related to a standardised characteristic impedance of the outer system $Z_s = 150 \Omega$.

$$a_s = 20 \log \left(\left| \frac{U_2}{U_1} \right|_{\max} \right) + 10 \log \left(\frac{2 \cdot Z_s}{Z_1} \right) \quad (\text{C.10})$$

where

Z_1 is the characteristic impedance of the sample under test and Z_s is 150Ω .

C.3.2 Measurement of cable assemblies

C.3.2.1 General

When measuring cable assemblies in the triaxial test set-up, there is the problem in that their lengths differ widely and are either shorter or longer than the commonly used measuring tube of 2 m or 3 m. However, the investigations of the above-given coupling functions show that:

- for assemblies longer than the measuring tube, it is sufficient enough to measure just both accessible assembly ends;
- for assemblies shorter than the measuring tube, one can extend the assembly by a well-screened cable inside a closed copper tube. This is the so called tube in tube method.

C.3.2.2 Assembly longer than the measuring tube

In screening attenuation measurements of cable assemblies, it is evident that the result is characterised by the weakest part. Either the cable or the connector or the transition between cable and connector. Thus, for cable assemblies which are longer than the measuring tube, it is sufficient enough to measure the assembly from both ends (provided that the cable screen is homogenous). The worst case of both measurements is then the screening attenuation of the whole assembly. The simulated graphs given in Figures C.5 and C.6 underline that evidence.

The simulation parameters are:

- cable screen

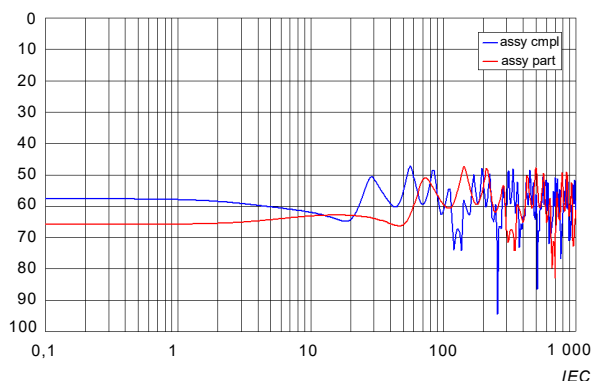
length:	500 cm
d.c. resistance:	13 m Ω /m
magnetic coupling:	0,04 mH/m
capacitive coupling:	0,02 pF/m
- connector screen including transition from cable to connector

length:	5 cm
d.c. resistance:	2 m Ω /m
magnetic coupling:	0,002 mH
capacitive coupling:	0 pF/m
- outer circuit (secondary system)

impedance:	150 Ω
dielectric permittivity:	1,1
- inner circuit (primary system)

impedance:	50 Ω
------------	-------------

dielectric permittivity:



2,3

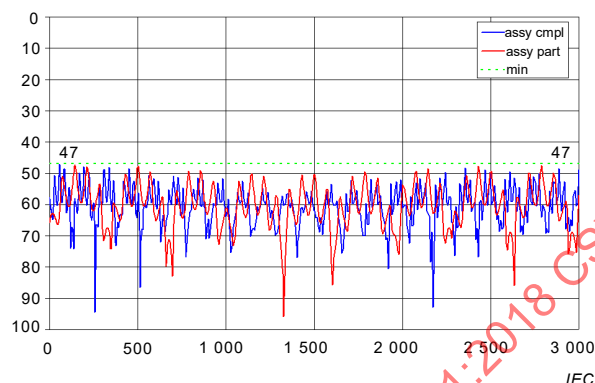


Figure C.5 – Simulation of a cable assembly (logarithmic scale)

Figure C.6 – Simulation of a cable assembly (linear scale)

The blue line shows the result of the complete cable assembly, i.e. 500 cm cable and both connectors. The red line shows the result for just one part of the assembly, i.e. 195 cm of the cable and one connector. In the lower frequency range, where the samples are electrically short, one gets a length dependent result. However in the higher frequency range, where the samples are electrically long, one gets the same minimum value, i.e. the same screening attenuation of 47 dB.

C.3.2.3 Assembly shorter than the measuring tube

When the assembly is shorter than the measuring tube, the assembly can be extended by a well screened connecting cable inside a closed copper tube. The so called tube in tube method (see also Figures C.7 and C.8).

The extension tube then acts as a resonator. The same principle is also used for the measurement of connectors. Further details can be obtained from the following explanation of the measurement of connectors.

C.3.3 Measurement of connectors

C.3.3.1 General

Usual RF connectors have mechanical dimensions in the longitudinal axis in the range of 10 mm to 50 mm. With the definition of electrical long elements, we get cut-off frequencies of about 3 GHz or higher for standard RF-connectors. Above that frequency, they are considered to be electrically long.

The screening attenuation is by definition only valid in the frequency range above the cut-off frequency, where the elements are electrically long. Thus the screening attenuation of a RF connector itself can only be measured at frequencies above 3 GHz.

However, by extending the RF-connector by a RF-tight closed metallic tube, a cable assembly which is electrically long is built. Thus, the cut-off frequency, respectively the lower frequency limit, to measure the screening attenuation is extended towards lower frequencies. If one connects this extension tube directly to the connector under test, one is measuring the screening attenuation of the connector (and it's mated adapter). If one connects the extension tube to the connecting cable close to the connector, one measures the screening attenuation of the combination of the connector (and its mated adapter) and the transition between cable and connector (see also figures below).

NOTE Although the connector itself stays electrically short, the combination of the connector and the extension tube shows the behaviour (the screening attenuation) of the connector when connected to a well screened cable,

which has a screening effectiveness better than the one of the connector (or the transition between cable and connector). See also the explanation in C.3.3.2.

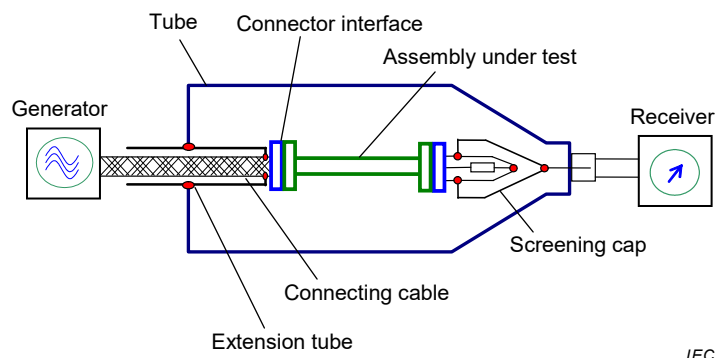


Figure C.7 – Triaxial set-up with extension tube for short cable assemblies

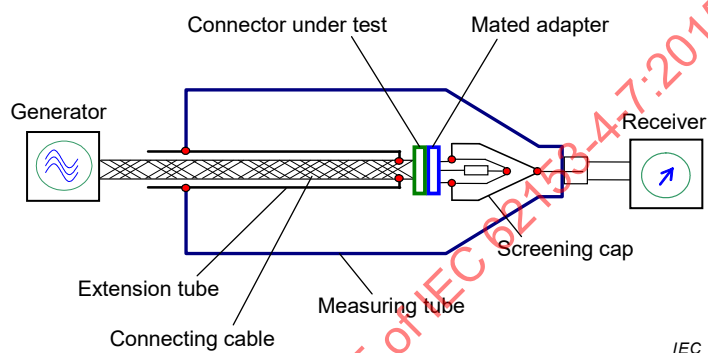


Figure C.8 – Triaxial set-up with extension tube for connectors

C.3.3.2 Measurement set-up

For the measurement of RF connectors, the triaxial set-up according to IEC 62153-4-3 respectively IEC 62153-4-4 has been extended by a RF-tight closed metallic tube (see Figure 8). The extension tube is either connected to the connector under test or to the screen of the connecting cable of the connector under test. At the far end, the connector under test is connected to the screening cap of the triaxial test set-up via its mated adapter.

The measurement of the screening attenuation itself is the same as the measurement of cable screens according to IEC 62153-4-4.

C.3.3.3 Measurement results and simulations

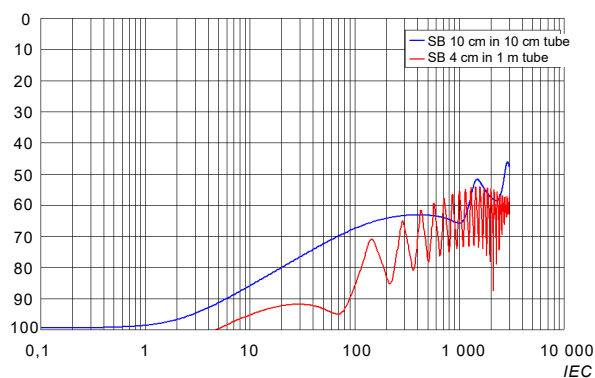
In a first approach, one has measured short cable pieces instead of a connector. The advantage is that the results are not influenced by a mating adapter or the transition between cable and connector. The cable is a coaxial cable with an impedance of 75Ω , foam PE dielectric and a single braid screen (not optimised, i.e. under-braided). The simulations have been done with the equations (C.7), (C.8) and (C.9) where the number of sections is 2. The first section is the connecting cable with the RF-tight extension tube.

Thus, the transfer impedance and capacitive coupling impedance of that section is neglected. The second section is the cable under test with following parameter:

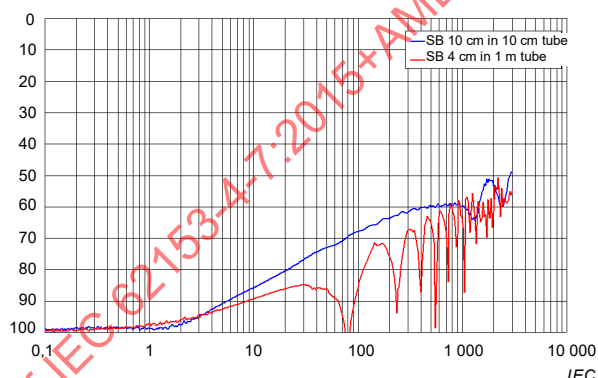
d.c. resistance:	$8 \text{ m}\Omega/\text{m}$
magnetic coupling:	$0,6 \text{ mH}/\text{m}$
capacitive coupling:	$0,02 \text{ pF}/\text{m}$
impedance:	75Ω

dielectric permittivity: 1,35

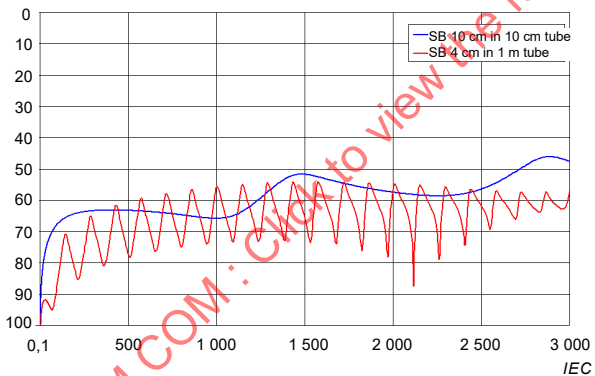
The comparison of the simulation (Figures C.9, C.11) with the measurement results (Figures C.10, C.12) show a good correspondence. In the lower frequency range, when the samples are electrically short, one gets the same results. However in the higher frequency range, one can see the influence of the extension tube. The 10 cm sample is electrically short over the whole frequency range, as the cut-off frequency is 5,9 GHz. Thus, the coupled power increases with increasing frequency. However, the quasi cable assembly composed of the connector and the extension tube is electrically long above 590 MHz, which results in a constant maximum coupled power. One characteristic of an electrically long object is also that the maximum coupled power is independent of the sample length (see C.2.1). This is underlined in Figures C.13 and C.14, where the simulated results of a 4 cm sample in a 1 m respectively 2 m tube, i.e. with a 96 cm, respectively 196 cm extension tube, are shown. The envelope of both curves is identical.



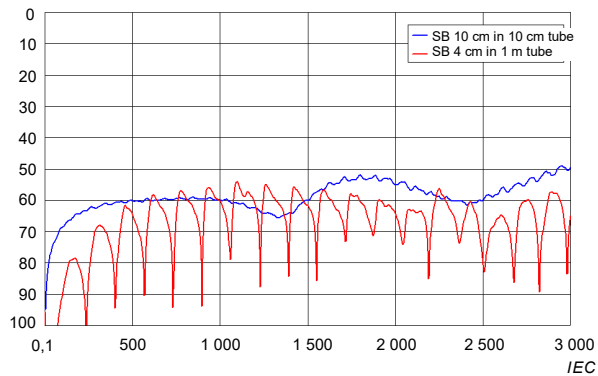
**Figure C.9 – Simulation,
logarithmic frequency scale**



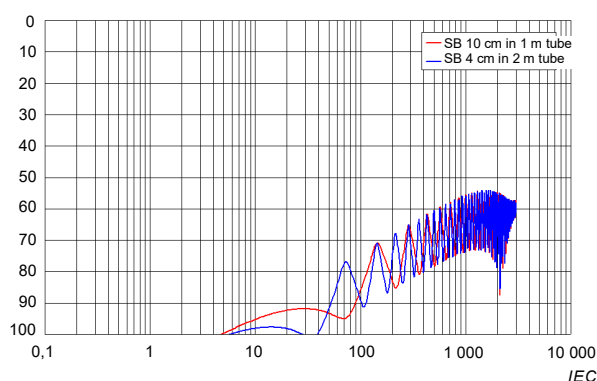
**Figure C.10 – Measurement,
logarithmic frequency scale**



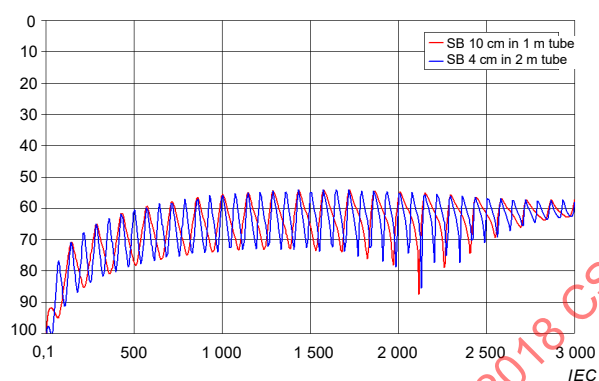
**Figure C.11 – Simulation,
linear frequency scale**



**Figure C.12 – Measurement,
linear frequency scale**



**Figure C.13 – Simulation,
logarithmic frequency scale**



**Figure C.14 – simulation,
linear frequency scale**

C.4 Conclusion

Customers and users of RF cables, cable assemblies and connectors ask more often for screening effectiveness values in decibels (dB) instead of transfer impedance values in mW respectively mW/m. The tube in tube method reply to that need since it offers a simple and reliable method to measure the screening attenuation in dB of connectors and cable assemblies. That method is an extension of the shielded screening attenuation (long triaxial) test set-up according to IEC 62153-4-4.

The comparison of the measured and the calculated curves show good concordance.

The advantages of the tube in tube method for connectors and assemblies are the same as for the measurement of the screening attenuation of cable screens in the tube:

- simple and easy test set-up;
- insensitive against electromagnetic disturbances from outside;
- high dynamic range >130 dB;
- good reproducibility.

Annex D (informative)

Influence of contact resistances

Contact resistances between the feeding cable and the extension tube or the screening case in the test head may influence the test result. Contacts shall be prepared carefully with low resistance or with low impedance. Contacts shall be achieved over the complete circumference of the screen. Critical contacts are shown in Figure D.1.

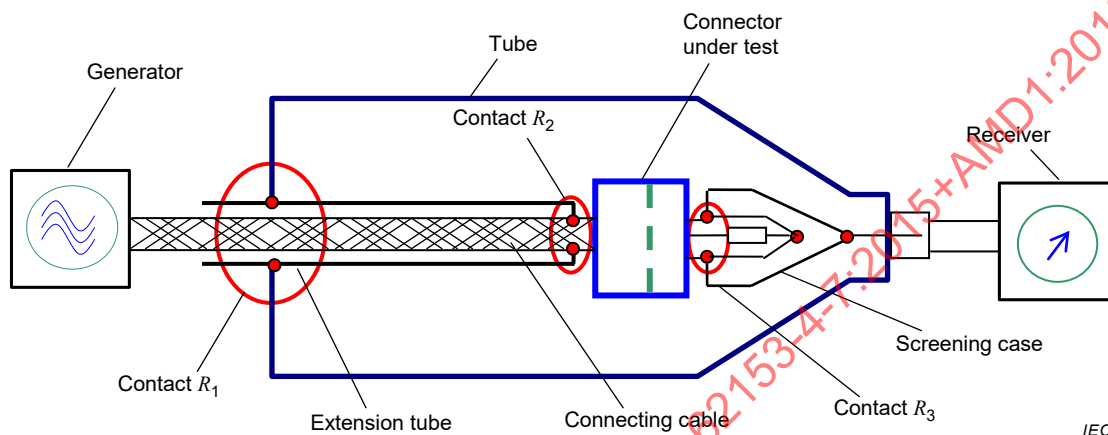
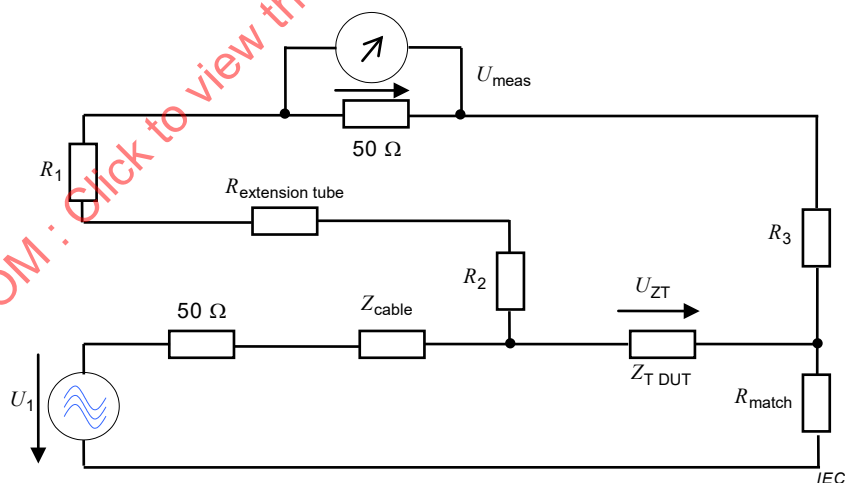


Figure D.1 – Contact resistances of the test set-up

The equivalent circuit of the complete test set up including the contact resistances is given in Figure D.2. The test set-up shall be designed such that contact resistances of the extension tube are in series with the input impedance of the receiver and the contact resistance of the screening case including the matching load of the DUT is in series with the generator.



Key

- R_1 , R_2 and R_3 contact resistances depicted in Figure D.1.
- Z_{cable} characteristic impedance of the connecting cable (see Figure B.1).
- Z_{DUT} transfer impedance of the DUT.

Figure D.2 – Equivalent circuit of the test set-up

In this case, contact resistances of a few $\text{m}\Omega$ in series with the $50\ \Omega$ input resistance of the generator or the receiver are negligible.

The test set-up should be designed such that contact resistances are not in series with the transfer impedance of the DUT. If contact resistances are in series with the transfer impedance of the DUT, they will influence the result considerably.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62153-4-7:2015+AMD1:2018 CSV

Annex E (informative)

Direct measurement of screening effectiveness of connectors

E.1 General

IEC 62153-4-7 describes the measurement of transfer impedance and screening or coupling attenuation of connectors and cable assemblies with the tube in tube procedure. According to IEC 62153-4-7, connectors usually are measured with a short piece of connecting cable, see for example Figure 2.

In different cases it may be required to measure the screening effectiveness direct on the connector or without connecting cable, e.g. to evaluate the EMC of the interface of the mated connectors. The following describes the test set-up for direct connector measurement.

E.2 Test set-up

The test set-up and measurements are in principle the same than in Clauses 8 to 10 of this document.

Contrary to the set-ups in Clauses 8 to 10 of this document, the RF-tight tube in tube and the screening cap are direct connected to the connector under test (CUT), see Figure E.1; e.g. by a screwing joint of the connector under test to the extension tube and the screening cap. The torque of this screwing joint shall be specified by the connector manufacturer.

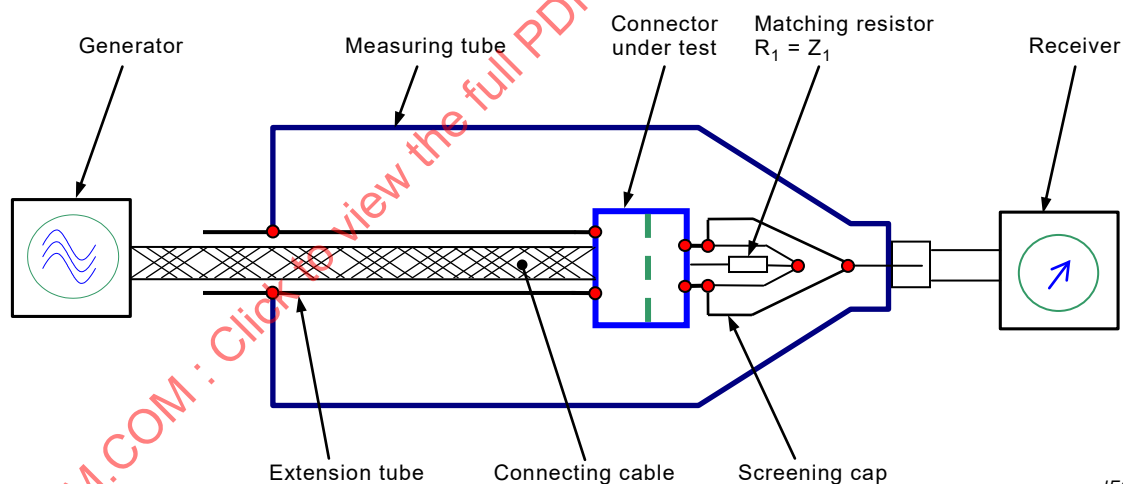


Figure E.1 – Principle of the test set-up to measure transfer impedance and screening attenuation of a connector

The same applies in principle to the set-up for measuring cable assemblies, see Figure E.2.

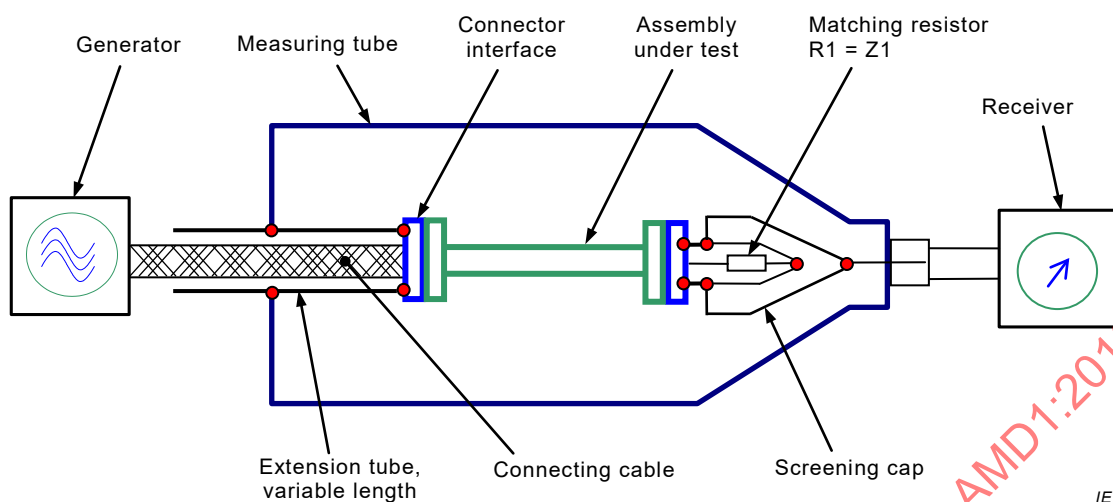
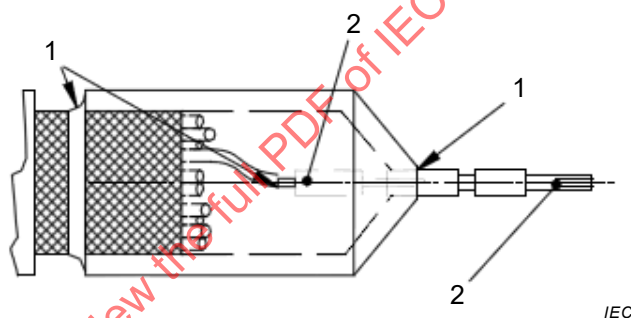


Figure E.2 – Principle of the test set-up to measure transfer impedance and screening attenuation of a cable assembly

If a multi conductor cable is tested instead of a single-conductor cable, a combination of inner conductors (cores) shall be selected such that their impedance to the screen is closest to the internal impedance of the test receiver, see Figure E.3 (e.g. determined by means of a reflectometer).



Key

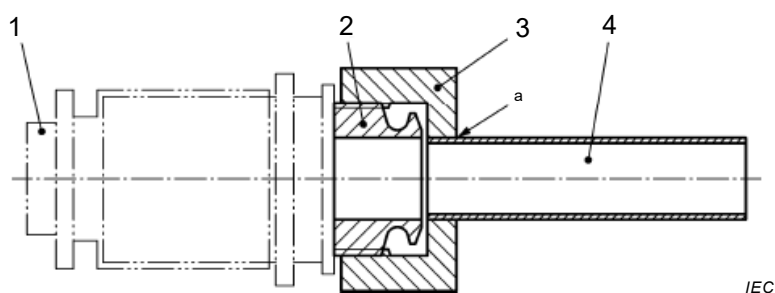
- 1 connection
- 2 terminating impedance 50 Ω
- 3 inner contact from RF connector connected to the shielded tube

Figure E.3 – Example of sample preparing

E.3 Construction details of test set-up

The connection of the RF-tight tube as well as the RF-tight connection of the screening cap may influence the test results considerably. Worse mounted connections may lead to leakages and to poor test results.

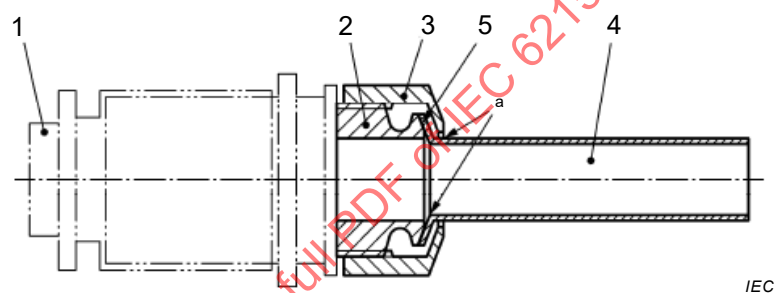
Figures E.4 and E.5 give examples of how to connect the tube in tube and the screening cap to the CUT.



Key

- 1 mating connector
- 2 coupling
- 3 bush (Cu-material)
- 4 copper tube
- ^a RF-density connection (soldered for example)

Figure E.4 – Screening tube with separate nut



Key

- 1 mating connector
- 2 coupling
- 3 nut
- 4 copper tube
- 5 cone
- ^a Matching edge raised or chamfered

Figure E.5 – Screening fixed with associated nut

Bibliography

- [1] IEC 62153-4-8, *Metallic communication cable test methods – Part 4-8: Electromagnetic compatibility (EMC) – Capacitive coupling admittance*
 - [2] IEC 62153-4-9, *Metallic communication cable test methods – Part 4-8: Electromagnetic compatibility (EMC) -Coupling attenuation of screened balanced cables, triaxial method*
 - [3] IEC 62153-4-10, *Metallic communication cable test methods – Part 4-10: Shielded screening attenuation test method for measuring the Screening Effectiveness of Feedtroughs and Electromagnetic Gaskets*
 - [4] IEC TR 62153-4-16, *Metallic communication cable test methods – Part 4-16: Technical report on the relationship between transfer impedance and screening attenuation (under consideration).*
 - [5] BREITENBACH O., HÄHNER T., MUND B., "Screening of cables in the MHz to GHz frequency range extended application of a simple measuring method", Colloquium on screening effective-ness measurements, Savoy Place London, 6 May 1998, Reference No:1998/452
 - [6] HÄHNER T., MUND B., "Test methods for screening and balance of communication cables", 13th international Zurich EMC Symposium, February 16-18 1999
 - [7] HALME L., KYTÖNEN R., "Background and introduction to EM screening (shielding) behaviours and measurements of coaxial and symmetrical cables, cable assemblies and connectors", Colloquium on screening effectiveness measurements, Savoy Place London, 6 May 1998, Reference No:1998/452.
 - [8] HALME L., SZENTKUTI, B., "The background for electromagnetic screening measurements of cylindrical screens", Tech. Rep. PTT(1988) Nr. 3
 - [9] KLEIN W., "Die Theorie des Nebensprechens auf Leitungen", (German), Springer Verlag 1955
 - [10] MUND B., "Measuring the EMC on RF-connectors and connecting hardware, Tube in tube test procedure", Proceedings of the 53rd IWCS/Focus 2004, Philadelphia, USA
 - [11] VG 95214-12, *Test of components – Part 12: Measuring methods for transfer impedance and screening attenuation, – transfer impedance of screened components (triaxial method, KS 12 B) and conductive gaskets (triaxial method, KS 22 B)*
 - [12] VG 95214-13, *Test of components – Part 13: Measuring methods for transfer impedance and screening attenuation, screening attenuation of screened components (triaxial method, KS 13 B)*
 - [13] VG 95319-2, *Electrical connectors and plug-and-socket devices – Part 2: Generic specification*
 - [14] VG 95377-15, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Measuring devices and measuring equipment – Part 15: Auxiliary measuring devices*
-

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62153-4-7:2015+AMD1:2018 CSV

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	49
INTRODUCTION	51
1 Domaine d'application	52
2 Références normatives	52
3 Termes et définitions	52
4 Contexte physique	54
5 Principe de la méthode d'essai	54
5.1 Généralités	54
5.2 Impédance de transfert	56
5.3 Affaiblissement d'écrantage	56
5.4 Affaiblissement de couplage	56
6 Procédure d'essai	57
6.1 Généralités	57
6.2 Procédure en tubes concentriques	57
6.3 Équipement d'essai	59
6.4 Procédure d'étalonnage	59
6.5 Raccordement entre le tube d'extension et le dispositif en essai	60
6.6 Plage dynamique ou bruit de fond	60
6.7 Adaptation d'impédance	61
6.8 Influence des adaptateurs	61
7 Préparation d'échantillon	61
7.1 Connecteur ou dispositif coaxial	61
7.2 Dispositif symétrique ou multiconducteur	61
7.3 Cordon	63
8 Mesurage de l'impédance de transfert	63
8.1 Généralités	63
8.2 Diagramme de principe de l'impédance de transfert	63
8.3 Procédure de mesurage – Influence des câbles de connexion	64
8.4 Mesurage	64
8.5 Interprétation des résultats d'essais	64
8.6 Rapport d'essai	65
9 Affaiblissement d'écrantage	65
9.1 Généralités	65
9.2 Adaptation d'impédance	65
9.2.1 Généralités	65
9.2.2 Evaluation des résultats d'essais avec les conditions adaptées	66
9.2.3 Mesurage avec désadaptation	67
9.2.4 Interprétation des résultats d'essais	67
9.3 Rapport d'essai	67
10 Affaiblissement de couplage	67
10.1 Procédure	67
10.2 Expression des résultats	68
10.3 Rapport d'essai	69
10.4 Procédure sans symétriseur	69

Annexe A (normative) Détermination de l'impédance du circuit interne.....	71
Annexe B (informative) Exemple d'adaptateur d'impédance maison	72
Annexe C (informative) Mesurages de l'efficacité d'écrantage des connecteurs et des cordons.....	74
C.1 Généralités	74
C.2 Principes physiques	74
C.2.1 Équation générale de couplage.....	74
C.2.2 Fonction de transfert de couplage.....	76
C.3 Montage d'essai triaxial	78
C.3.1 Généralités	78
C.3.2 Mesurage des cordons	79
C.3.3 Mesurage des connecteurs	81
C.4 Conclusion.....	83
Annexe D (informative) Influence des résistances de contact	85
Annexe E (informative) Mesurage direct de l'efficacité d'écrantage des connecteurs.....	87
E.1 Généralités	87
E.2 Montage d'essai.....	87
E.3 Informations détaillées concernant la construction du montage d'essai	88
Bibliographie.....	90
Figure 1 – Définition de Z_T	53
Figure 2 – Principe du montage d'essai pour mesurer l'impédance de transfert et l'affaiblissement d'écrantage ou l'affaiblissement de couplage de connecteurs par tubes concentriques	55
Figure 3 – Principe du montage d'essai pour mesurer l'impédance de transfert et l'affaiblissement d'écrantage d'un cordon.....	58
Figure 4 – Principe de montage pour l'essai de vérification	60
Figure 5 – Préparation de connecteurs symétriques ou multiconducteurs.....	63
Figure 6 – Montage d'essai (principe) pour le mesurage de l'impédance de transfert selon la méthode d'essai B de l'IEC 62153-4-3	64
Figure 7 – Mesurage de l'affaiblissement d'écrantage en tubes concentriques et avec un dispositif d'adaptation d'impédance	66
Figure 8 – Mesurage de l'affaiblissement de couplage en tubes concentriques et un symétriseur	68
Figure 9 – Mesurage type d'un connecteur de 0,04 m de long avec un tube d'extension de 1 m	69
Figure 10 – Mesurage de l'affaiblissement de couplage avec un analyseur de réseau à plusieurs ports (une procédure sans symétriseur est à l'étude)	70
Figure B.1 – Affaiblissement et affaiblissement de réflexion d'un adaptateur d'impédance 50 Ω vers 5 Ω , échelle logarithmique	72
Figure B.2 – Affaiblissement et affaiblissement de réflexion d'un adaptateur d'impédance 50 Ω vers 5 Ω , échelle linéaire	73
Figure C.1 – Circuit équivalent des lignes de transmission couplées	75
Figure C.2 – Fonction somme S	76
Figure C.3 – Fonction de transfert de couplage calculée ($l = 1$ m; $e_{r1} = 2,3$; $e_{r2} = 1$; $Z_F = 0$).....	77
Figure C.4 – Montage triaxial pour le mesurage de l'affaiblissement d'écrantage a_S et de l'impédance de transfert Z_T	79

Figure C.5 – Simulation d'un cordon (échelle logarithmique)	80
Figure C.6 – Simulation d'un cordon (échelle linéaire)	80
Figure C.7 – Montage triaxial avec tube d'extension pour les cordons courts	81
Figure C.8 – Montage triaxial avec tube d'extension pour les connecteurs	82
Figure C.9 – Simulation, échelle de fréquence logarithmique	83
Figure C.10 – Mesurage, échelle de fréquence logarithmique	83
Figure C.11 – Simulation, échelle de fréquence linéaire	83
Figure C.12 – Mesurage, échelle de fréquence linéaire	83
Figure C.13 – Simulation, échelle de fréquence logarithmique	83
Figure C.14 – Simulation, échelle de fréquence linéaire	83
Figure D.1 – Résistances de contact du montage d'essai	85
Figure D.2 – Circuit équivalent du montage d'essai	85
Figure E.1 – Principe du montage d'essai pour mesurer l'impédance de transfert et l'affaiblissement d'écrantage d'un connecteur	87
Figure E.2 – Principe du montage d'essai pour mesurer l'impédance de transfert et l'affaiblissement d'écrantage d'un cordon	88
Figure E.3 – Exemple de préparation d'échantillon	88
Figure E.4 – Tube d'écrantage avec écrou séparé	89
Figure E.5 – Ecrantage fixé avec écrou associé	89
Tableau 1 – IEC 62153, Méthodes d'essai des câbles métalliques de communication – Procédures d'essais avec montage d'essai triaxial	55

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MÉTHODES D'ESSAI DES CÂBLES MÉTALLIQUES DE COMMUNICATION –

Partie 4-7: Compatibilité électromagnétique (CEM) – Méthode d'essai pour mesurer l'impédance de transfert Z_T et l'affaiblissement d'écrantage a_s ou l'affaiblissement de couplage a_c des connecteurs et des cordons jusqu'à 3 GHz et au-dessus – Méthode triaxiale en tubes concentriques

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. A cet effet, l'IEC – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de l'IEC"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à l'IEC, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de l'IEC, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

DÉGAGEMENT DE RESPONSABILITÉ

Cette version consolidée n'est pas une Norme IEC officielle, elle a été préparée par commodité pour l'utilisateur. Seules les versions courantes de cette norme et de son(ses) amendement(s) doivent être considérées comme les documents officiels.

Cette version consolidée de l'IEC 62153-4-7 porte le numéro d'édition 2.1. Elle comprend la deuxième édition (2015-12) [documents 46/572/FDIS et 46/585/RVD], son corrigendum 1 (2016-04) et son amendement 1 (2018-05) [documents 46/679/FDIS et 46/682/RVD]. Le contenu technique est identique à celui de l'édition de base et à son amendement.

Cette version Finale ne montre pas les modifications apportées au contenu technique par l'amendement 1. Une version Redline montrant toutes les modifications est disponible dans cette publication.

La Norme internationale IEC 62153-4-7 a été établie par le comité d'études 46 de l'IEC: Câbles, fils, guides d'ondes, connecteurs, composants passifs pour micro-onde et accessoires.

Cette deuxième édition constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente:

Le document a été révisé et mis à jour. Les modifications de l'IEC 62153-4-3:2013 et de l'IEC 62153-4-4:2015 sont incluses.

Les mesurages peuvent à présent être effectués sans adaptation du côté du générateur, les dispositifs d'adaptation d'impédance ne sont pas nécessaires.

La présente version bilingue (2016-03) correspond à la version anglaise monolingue publiée en 2015-12.

La version française de cette norme n'a pas été soumise au vote.

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 62153, publiées sous le titre général: *Méthodes d'essai des câbles métalliques de communication*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

Le comité a décidé que le contenu de la publication de base et de son amendement ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

- reconduite,
- supprimée,
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

IMPORTANT – Le logo "colour inside" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante couleur.

INTRODUCTION

Le montage d'essai de l'affaiblissement d'écrantage blindé selon l'IEC 62153-4-3 et l'IEC 62153-4-4 a été étendu pour prendre en compte les particularités des éléments électriquement courts comme les connecteurs et les cordons. En raison du tube concentrique externe du montage triaxial, les mesures sont indépendantes des irrégularités de la circonférence et des champs électromagnétiques externes.

Avec un tube résonnant supplémentaire (le tube interne des tubes concentriques), un système est créé, dans lequel l'efficacité d'écrantage d'un dispositif électriquement court est mesurée dans des conditions proches de la réalité et contrôlées. En outre, une fréquence de coupure inférieure pour la transition entre électriquement court (impédance de transfert Z_T) et électriquement long (affaiblissement d'écrantage a_S) peut être obtenue.

Une plage de fréquences large et dynamique peut être appliquée pour soumettre à essai même des cordons et des connecteurs fortement écrantés avec des instruments normaux depuis les basses fréquences jusqu'à la limite des ondes transversales définies dans le circuit externe à environ 4 GHz.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62153-4-7:2015+AMD1:2018 CSV

MÉTHODES D'ESSAI DES CÂBLES MÉTALLIQUES DE COMMUNICATION –

Partie 4-7: Compatibilité électromagnétique (CEM) – Méthode d'essai pour mesurer l'impédance de transfert Z_T et l'affaiblissement d'écrantage a_s ou l'affaiblissement de couplage a_c des connecteurs et des cordons jusqu'à 3 GHz et au-dessus – Méthode triaxiale en tubes concentriques

1 Domaine d'application

Cette méthode triaxiale convient pour déterminer l'impédance surfacique de transfert et/ou l'affaiblissement d'écrantage et l'affaiblissement de couplage de connecteurs équipés d'un écran accouplés (y compris la connexion entre le câble et le connecteur) et de cordons. Cette méthode pourrait également être étendue pour déterminer l'impédance de transfert, l'affaiblissement d'écrantage ou l'affaiblissement de couplage de connecteurs symétriques ou à plusieurs broches et de cordons multiconducteurs. Pour le mesurage de l'impédance de transfert et de l'affaiblissement d'écrantage ou l'affaiblissement de couplage, un seul montage d'essai est nécessaire.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. 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 TS 62153-4-1, *Metallic communication cable test methods – Part 4-1: Electromagnetic compatibility (EMC) – Introduction to electromagnetic screening measurements* (disponible en anglais seulement)

IEC 62153-4-3, *Metallic communication cable test methods – Part 4-3: Electromagnetic Compatibility (EMC) – Surface transfer impedance – Triaxial method* (disponible en anglais seulement)

IEC 62153-4-4, *Metallic communication cable test methods – Part 4-4: Electromagnetic compatibility (EMC) – Shielded screening attenuation, test method for measuring of the screening attenuation a_s up to and above 3 GHz* (disponible en anglais seulement)

IEC 62153-4-15, *Metallic communication cable test methods – Part 4-15: Electromagnetic compatibility (EMC) – Test method for measuring transfer impedance and screening attenuation – or coupling attenuation with Triaxial Cell* (disponible en anglais seulement)

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

3.1

impédance surfacique de transfert

Z_T

pour un écran électriquement court, quotient de la tension longitudinale U_1 induite dans le circuit interne par le courant I_2 délivré au circuit externe ou vice versa (voir Figure 1)

Note 1 à l'article: L'impédance surfacique de transfert est exprimée en ohms.

Note 2 à l'article: L'impédance Z_T d'un écran électriquement court est exprimée en ohms [Ω] ou en décibels par rapport à 1 Ω .

Note 3 à l'article: Voir Figure 1.

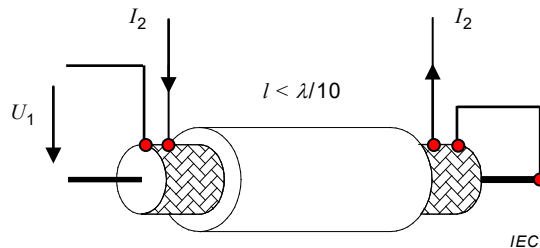


Figure 1 – Définition de Z_T

$$Z_T = \frac{U_1}{I_2} \quad (1)$$

$$Z_T \text{ dB}(\Omega) = +20 \times \log_{10} \left(\frac{|Z_T|}{1\Omega} \right) \quad (2)$$

3.2 impédance de transfert effective

Z_{TE}
impédance de transfert effective définie comme:

$$Z_{TE} = \max |Z_F \pm Z_T| \quad (3)$$

où

Z_F est l'impédance de couplage capacitif.

3.3 affaiblissement d'écrantage

a_s
pour les dispositifs électriquement longs, c'est-à-dire au-delà de la fréquence de coupure, le rapport logarithmique de la puissance d'alimentation P_1 et des valeurs maximales périodiques de la puissance couplée $P_{r,max}$ dans le circuit externe

$$a_s = -10 \log_{10} \left(\text{Env} \left| \frac{P_{r,max}}{P_1} \right| \right) \quad (4)$$

où

Env est la courbe d'enveloppe minimale des valeurs mesurées, en dB

Note 1 à l'article: L'affaiblissement d'écrantage d'un dispositif électriquement court est défini par:

$$a_s = -20 \log_{10} \frac{150\Omega}{Z_{TE}} \quad (5)$$

