

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Metallic cables and other passive components test methods –
Part 4-16: Electromagnetic compatibility (EMC) – Extension of the frequency
range to higher frequencies for transfer impedance and to lower frequencies for
screening attenuation measurements using the triaxial set-up**

**Méthodes d'essai des câbles métalliques et autres composants passifs –
Partie 4-16: Compatibilité électromagnétique (CEM) – Extension de la plage de
fréquences à des fréquences supérieures pour l'impédance de transfert et à des
fréquences inférieures pour mesurer l'affaiblissement d'écran à l'aide d'un
montage triaxial**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2021 IEC, Geneva, Switzerland

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

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

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

Tel.: +41 22 919 02 11
info@iec.ch
www.iec.ch

About the IEC

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

About IEC publications

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

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

IEC Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

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

IEC online collection - oc.iec.ch

Discover our powerful search engine and read freely all the publications previews. With a subscription you will always have access to up to date content tailored to your needs.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary on electrotechnology, containing more than 22 000 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 18 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

A propos de l'IEC

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

A propos des publications IEC

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

Recherche de publications IEC -

webstore.iec.ch/advsearchform

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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

IEC online collection - oc.iec.ch

Découvrez notre puissant moteur de recherche et consultez gratuitement tous les aperçus des publications. Avec un abonnement, vous aurez toujours accès à un contenu à jour adapté à vos besoins.

Electropedia - www.electropedia.org

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

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Metallic cables and other passive components test methods –
Part 4-16: Electromagnetic compatibility (EMC) – Extension of the frequency
range to higher frequencies for transfer impedance and to lower frequencies for
screening attenuation measurements using the triaxial set-up**

**Méthodes d'essai des câbles métalliques et autres composants passifs –
Partie 4-16: Compatibilité électromagnétique (CEM) – Extension de la plage de
fréquences à des fréquences supérieures pour l'impédance de transfert et à des
fréquences inférieures pour mesurer l'affaiblissement d'écran à l'aide d'un
montage triaxial**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 33.120.10

ISBN 978-2-8322-1010-1

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

CONTENTS

FOREWORD.....	3
1 Scope.....	5
2 Normative references	5
3 Terms, definitions and abbreviated terms	5
3.1 Terms and definitions.....	5
3.2 Abbreviated terms.....	6
4 Overview	6
5 Frequency behaviour of the triaxial set-up	7
6 Extrapolation of transfer impedance measurement results	9
6.1 General.....	9
6.2 Example of a measurement according to IEC 62153-4-3, Method B	9
6.3 Example of a measurement according to IEC 62153-4-3, Method C	10
7 Extrapolation of screening attenuation measurement results	12
8 Determination of the relative dielectric permittivity and impedance of the inner and outer circuits.....	14
8.1 General.....	14
8.2 Influence of the test head.....	17
Bibliography.....	20
Figure 1 – Simulation of the scattering parameter S_{21} (left hand scale) and the transfer impedance (right hand scale) for a single braid screen	7
Figure 2 – Comparison of formulae for conversion between forward transfer scattering parameter and transfer impedance.....	9
Figure 3 – Example of the extrapolation of the transfer impedance of an RG59 type cable.....	10
Figure 4 – Measurement of transfer impedance of a single braided cable	11
Figure 5 – Conversion of measured scattering parameter S_M to the transfer impedance of a single braided cable.....	12
Figure 6 – Example of the extrapolation of the scattering parameter S_{21} in logarithmic frequency scale of an RG59 type cable	13
Figure 7 – Example of the extrapolation of the scattering parameter S_{21} in linear frequency scale of an RG59 type cable	14
Figure 8 – Measurement of S_{11} of the outer circuit (tube) having a length of 203 cm	16
Figure 9 – Example of test head (COMET set-up)	17
Figure 10 – Example of how to obtain the electrical length of the test head from the S_{11} measurement using a bare copper wire as DUT (COMET set-up)	18
Figure 11 – Example of an RG58 type cable in 2 m triaxial set-up (COMET)	19
Table 1 – Parameters for simulation of triaxial set-up.....	8

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**METALLIC CABLES AND OTHER
PASSIVE COMPONENTS TEST METHODS –****Part 4-16: Electromagnetic compatibility (EMC) –
Extension of the frequency range to higher frequencies
for transfer impedance and to lower frequencies for screening
attenuation measurements using the triaxial set-up**

FOREWORD

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

IEC 62153-4-16 has been prepared by IEC technical committee 46: Cables, wires, waveguides, RF connectors, RF and microwave passive components and accessories. It is an International Standard.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 2016. This edition constitutes a technical revision.

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

- Replacement of the conversion formula which was limited to a matched DUT by a new conversion formula suitable for any load conditions.

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

FDIS	Report on voting
46/817/FDIS	46/826/RVD

Full information on the voting for its approval can be found in the report on voting indicated in the above table.

The language used for the development of this International Standard is English.

This document was drafted in accordance with ISO/IEC Directives, Part 2, and developed in accordance with ISO/IEC Directives, Part 1 and ISO/IEC Directives, IEC Supplement, available at www.iec.ch/members_experts/refdocs. The main document types developed by IEC are described in greater detail at www.iec.ch/standardsdev/publications.

A list of all parts in the IEC 62153 series, published under the general title *Metallic cables and other passive components test methods*, can be found on the IEC website.

Future documents in this series will carry the new general title as cited above. Titles of existing documents in this series will be updated at the time of the next edition.

The committee has decided that the contents of this document will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website under webstore.iec.ch in the data related to the specific document. At this date, the document will be

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

IMPORTANT – The "colour inside" logo on the cover page of this document 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.

METALLIC CABLES AND OTHER PASSIVE COMPONENTS TEST METHODS –

Part 4-16: Electromagnetic compatibility (EMC) – Extension of the frequency range to higher frequencies for transfer impedance and to lower frequencies for screening attenuation measurements using the triaxial set-up

1 Scope

This part of IEC 62153 specifies a method to extrapolate the test results of transfer impedance to higher frequencies and the test results of screening attenuation to lower frequencies when measured with the triaxial set-up in accordance with IEC 62153-4-3, IEC 62153-4-4 [1]¹ and IEC 62153-4-15. This method is applicable for homogenous screens, i.e. screens having a transfer impedance directly proportional to length. The transfer impedance can have any frequency behaviour, i.e. it could have a behaviour where it does not increase with 20 dB per decade as observed for screens made of a foil and a braid.

2 Normative references

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

IEC 62153-4-3:2013, *Metallic communication cable test methods – Part 4-3: Electromagnetic compatibility (EMC) – Surface transfer impedance – Triaxial method*

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, definitions and abbreviated terms

3.1 Terms and definitions

No terms and definitions are listed in this document.

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

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

¹ Numbers in square brackets refer to the bibliography.

3.2 Abbreviated terms

CUT	cable under test
DUT	device under test
TDR	time domain reflectometer
VNA	vector network analyser

4 Overview

The triaxial set-up can be used to measure both the surface transfer impedance (IEC 62153-4-3, IEC 62153-4-15) and the screening attenuation (IEC 62153-4-4, IEC 62153-4-15). The transfer impedance is in general measured with a coupling length of maximum 0,5 m resulting in an upper frequency limit of around 100 MHz, whereas the screening attenuation is in general measured with a coupling length of 2 m to 3 m resulting in an upper frequency limit for the transfer impedance of around 10 MHz and a lower frequency limit for the screening attenuation of around 100 MHz (see also IEC TS 62153-4-1:2014, Clauses 8 and 9 [2]).

Figure 1 shows the grey zone between electrically short (measurement range for the transfer impedance) and electrically long (measurement range for the screening attenuation). The parameters used in the simulation are:

- forward transfer scattering parameter S_{21} in accordance with IEC 62153-4-3, Method B, where the value of the load resistor equals the characteristic impedance of the CUT;
- impedance of inner circuit is 50 Ω ;
- impedance of outer circuit is 150 Ω ;
- relative dielectric permittivity of inner circuit 2,3;
- relative dielectric permittivity of outer circuit 1,1;
- coupling length 50 cm and 200 cm;
- transfer impedance calculated according to T. KLEY [3] for a copper braid design of: diameter under braid 2,95 mm, number of spindles 16, number of wires per spindle 5, wire diameter 0,12 mm, lay length 15 mm.

In the example shown in Figure 1, the transfer impedance can be measured up to around 30 MHz using a coupling length of 50 cm and the screening attenuation can be measured starting from 150 MHz using a coupling length of 200 cm.

This document describes how to extrapolate the test results of transfer impedance to higher frequencies and the test results of screening attenuation to lower frequencies when measured with the triaxial set-up in accordance with IEC 62153-4-3, IEC 62153-4-4 and IEC 62153-4-15.

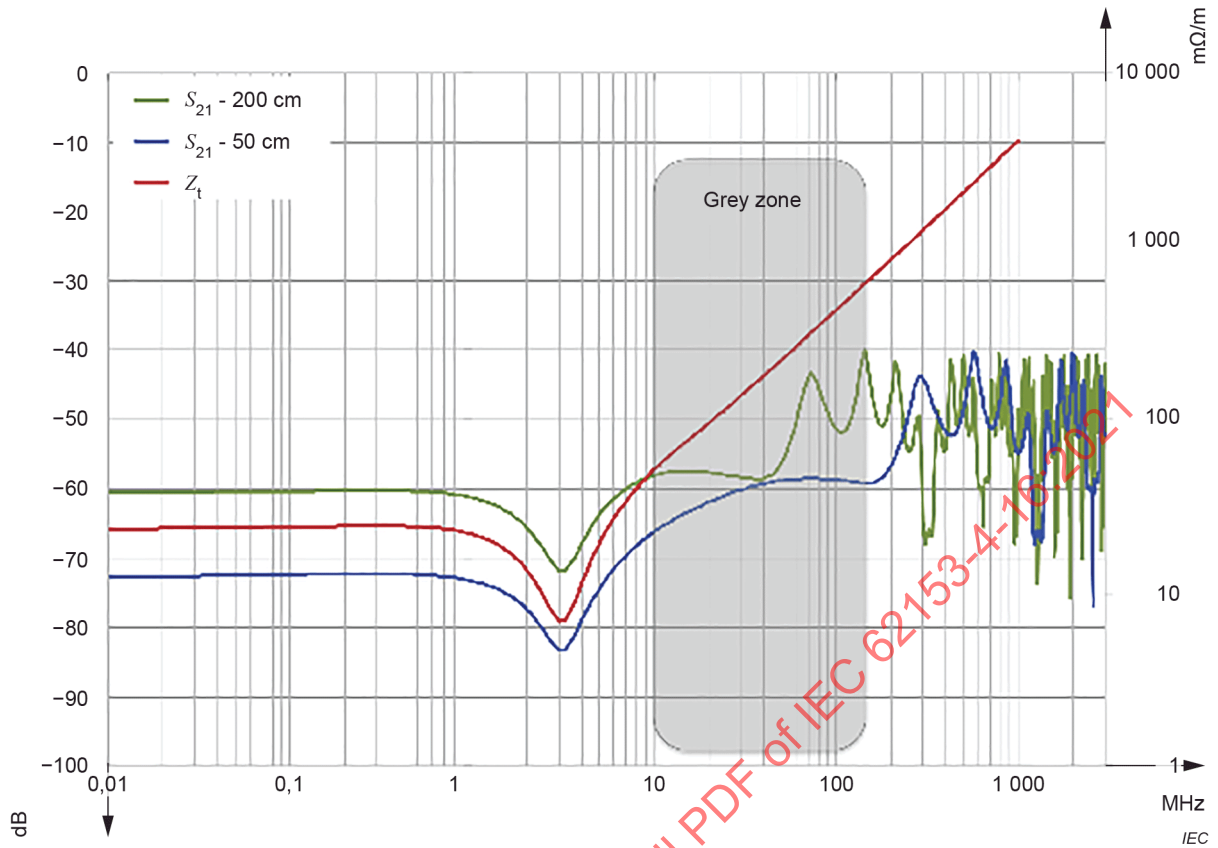


Figure 1 – Simulation of the scattering parameter S_{21} (left hand scale) and the transfer impedance (right hand scale) for a single braid screen

5 Frequency behaviour of the triaxial set-up

Knowing the frequency behaviour of the triaxial set-up one may convert a screening attenuation measurement to transfer impedance and vice versa. And on the other hand, one may extend the results of the measured transfer impedance to higher frequencies.

The general equations for the coupling between the inner and outer circuit for any load conditions are described in [3] and [4].

The relation between the measured forward transfer scattering parameter and the transfer impedance respective screening attenuation is described in [4].

In Formula (1) the capacitive coupling through the screen is neglected. In this case the transfer impedance Z_T is obtained from the measured forward transfer scattering parameter S_M by:

$$Z_T|_{Z_F=0} = S_M \frac{2\sqrt{Z_1 Z_2}}{\sqrt{1-r_{1n}^2} \sqrt{1-r_{2f}^2}} \times \frac{\left[1 + r_{1n} r_{1f} e^{-2\gamma_1 L} + r_{2f} e^{-2\gamma_2 L} + r_{1n} r_{1f} r_{2f} e^{-2(\gamma_1 + \gamma_2)L} \right]}{e^{-\gamma_2 L} \left[\frac{1 - e^{-(\gamma_1 - \gamma_2)L}}{\gamma_1 - \gamma_2} \left(1 - r_{1f} e^{-(\gamma_1 + \gamma_2)L} \right) + \frac{1 - e^{-(\gamma_1 + \gamma_2)L}}{\gamma_1 + \gamma_2} \left(1 - r_{1f} e^{-(\gamma_1 - \gamma_2)L} \right) \right]} \quad (1)$$

For low frequencies ($\gamma L \ll 1$) Formula (1) becomes

$$Z_T = S_M \frac{Z_{2f}(Z_{1n} + Z_{1f})}{2L\sqrt{Z_{1n}Z_{2f}}} \quad (2)$$

where

- Z_T is the transfer impedance;
- Z_F is the capacitive coupling impedance ($Z_F = 0$);
- S_M is the measured forward transfer scattering parameter;
- L is the coupling length;
- Z_1, Z_2 are the characteristic impedances of the inner circuit (cable) and outer circuit (tube), respectively;
- γ_1, γ_2 are the wave propagation factors in the inner circuit (cable) and outer circuit (tube), respectively;
- r_{1n}, r_{1f} are the reflection coefficients in the inner circuit (cable) at the near end and far end, respectively;
- r_{2f} is the reflection coefficient in the outer circuit (tube) at the far end.

Formula (2) is the basis for the conversion formulae given in IEC 62153-4-3 and IEC 62153-4-15.

Figure 2 shows the comparison between the results of transfer impedance obtained from Formula (1) and the commonly used conversion formula between the measured forward transfer scattering parameter and transfer impedance as described in IEC 62153-4-3. The configuration is detailed in Table 1. The inner circuit is mismatched having a short circuit at the far end. (i.e. method C of IEC 62153-4-3)

Table 1 – Parameters for simulation of triaxial set-up

Parameter	Values
Reference impedance of VNA, Z_0	50 Ω
Coupling length, L	0,5 m
Impedance of inner circuit (CUT), Z_1	75 Ω
Load at the near end of the inner circuit, Z_{1n}	50 Ω
Load at the far end of the inner circuit, Z_{1f}	0 Ω
Dielectric permittivity of the inner circuit, ϵ_{r1}	2,25
Attenuation of the inner circuit, α_1	0 dB/m
Impedance of outer circuit (tube), Z_2	150 Ω
Load at the near end of the outer circuit, Z_{2n}	0 Ω
Load at the far end of the outer circuit, Z_{2f}	50 Ω
Dielectric permittivity of the outer circuit, ϵ_{r2}	1,0
Attenuation of the outer circuit, α_2	0 dB/m
DC resistance of the screen, R_T	13,6 m Ω /m
Coupling inductance of the screen, M_T	0,93 nH/m
Coupling capacitance of the screen, C_T	0 pF/m

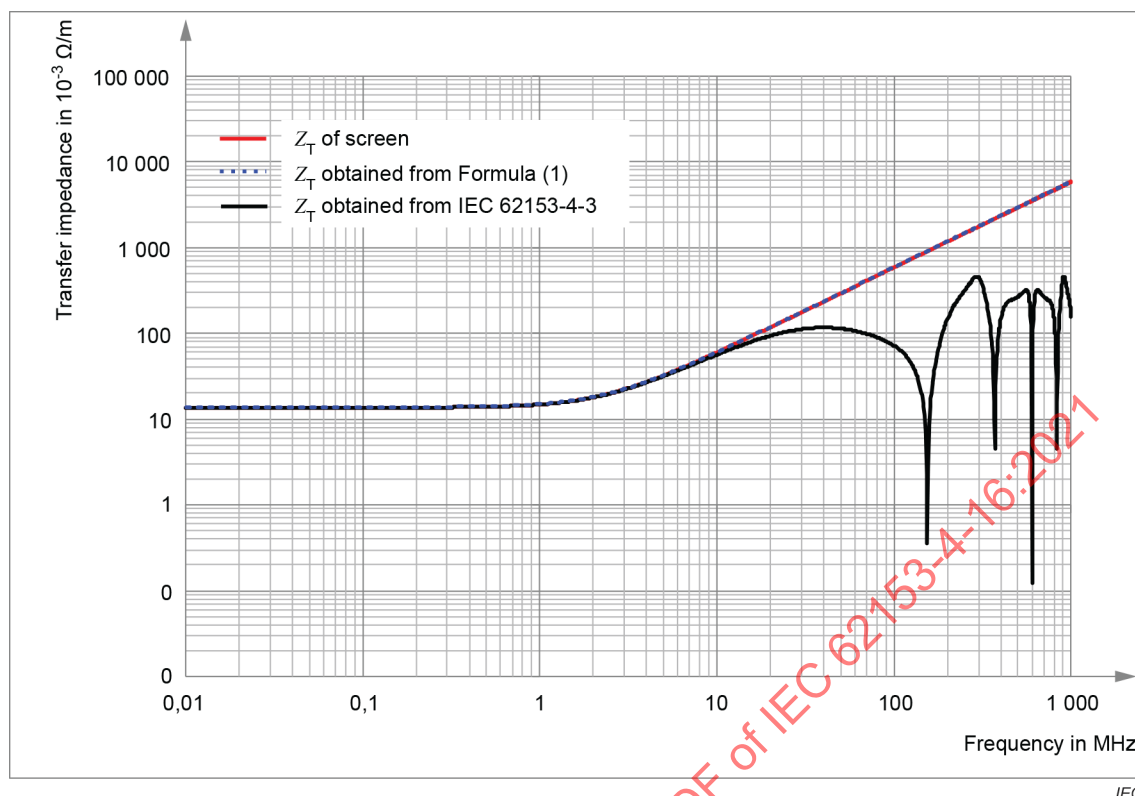


Figure 2 – Comparison of formulae for conversion between forward transfer scattering parameter and transfer impedance

The transfer impedance obtained from Formula (1) corresponds, as expected, to the transfer impedance obtained from the screen parameter (R_T , M_T , and C_T). But using Formula (12) described in IEC 62153-4-3:2013 to convert the measured forward transfer scattering parameter to transfer impedance limits the upper frequency for the transfer impedance to about 30 MHz.

6 Extrapolation of transfer impedance measurement results

6.1 General

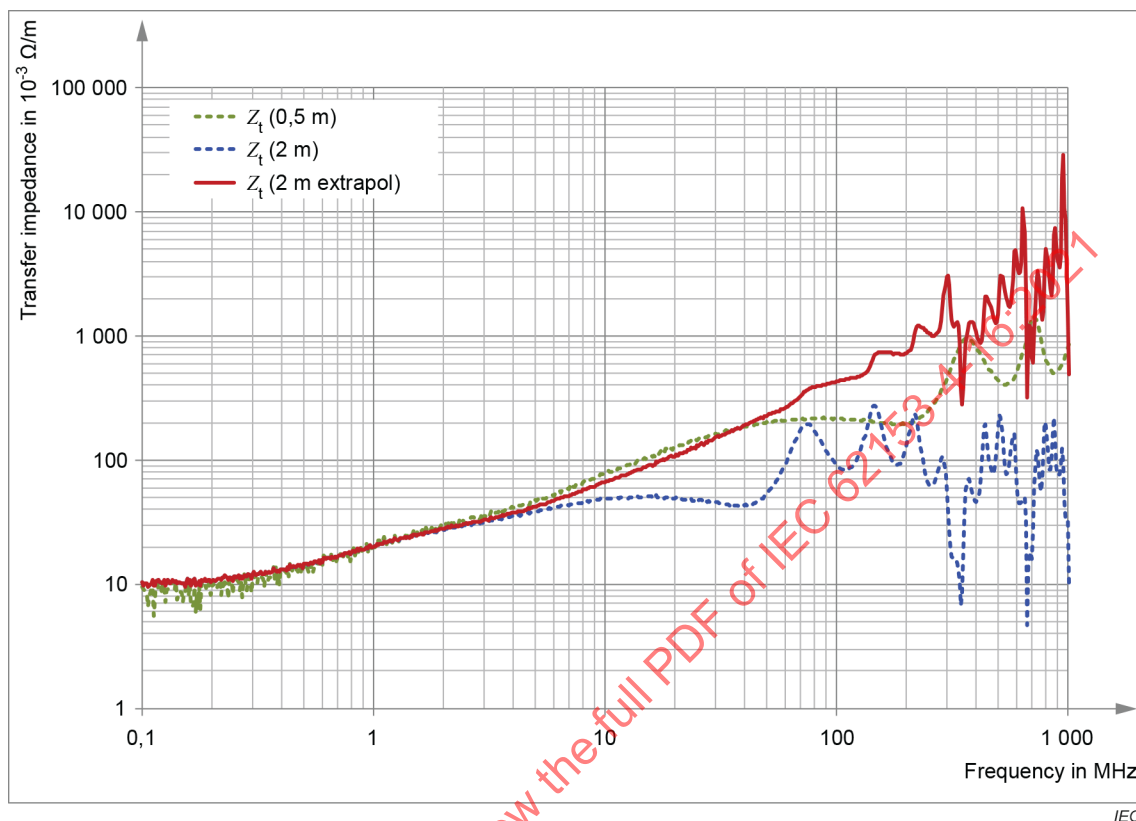
The test results of the transfer impedance shall be extrapolated to higher frequencies by using Formula (1) instead of the formulae detailed in IEC 62153-4-3 and IEC 62153-4-15 to convert the measured forward transfer scattering parameter S_M to the transfer impedance.

6.2 Example of a measurement according to IEC 62153-4-3, Method B

Figure 3 shows an example of the extrapolation of the measured transfer impedance of an RG59 type cable. The measurement was done in accordance with IEC 62153-4-3, Method B (matched inner circuit) with a coupling length of 2 m. For the extrapolation, a relative dielectric permittivity of 2,3 and 1,1 was assumed for the inner circuit and outer circuit, respectively. The blue dotted line is the measurement result obtained with a coupling length of 2 m. The green dotted line is the measurement result obtained with a coupling length of 0,5 m. The red solid line is the extrapolation of the measurement with a coupling length of 2 m.

Good concordance is observed between the from 2 m extrapolated results and the 0,5 m measured results. The extrapolation works well up to 100 MHz. The spikes observed above 100 MHz are due to slight differences between the real and assumed dielectric permittivities.

This example shows that it is possible by the use of Formula (1) to measure the transfer impedance and screening attenuation with one and the same triaxial set-up with a coupling length of 2 m instead of doing two measurements, one with a short coupling length for the transfer impedance and one with a long coupling length for the screening attenuation.



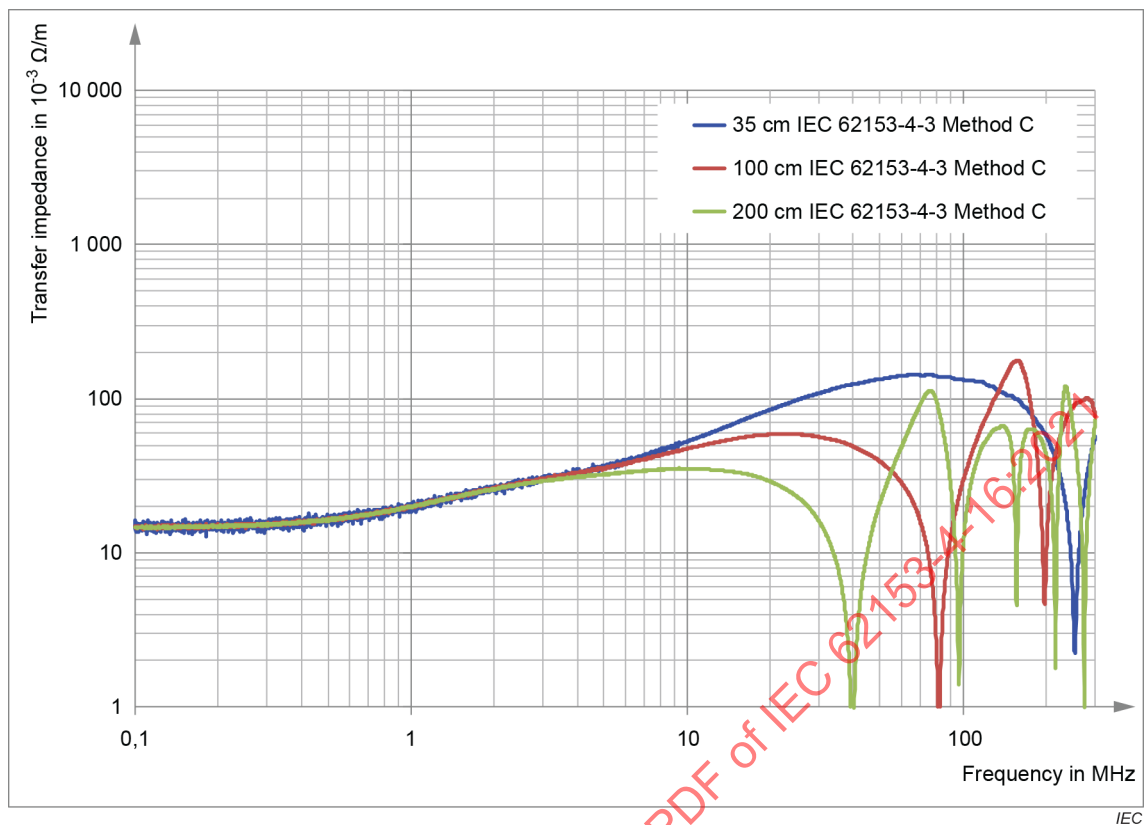
Cable measured with a coupling length of 2 m and assuming relative dielectric permittivity of 2,3 and 1,1 for the inner circuit and outer circuit, respectively.

Figure 3 – Example of the extrapolation of the transfer impedance of an RG59 type cable

6.3 Example of a measurement according to IEC 62153-4-3, Method C

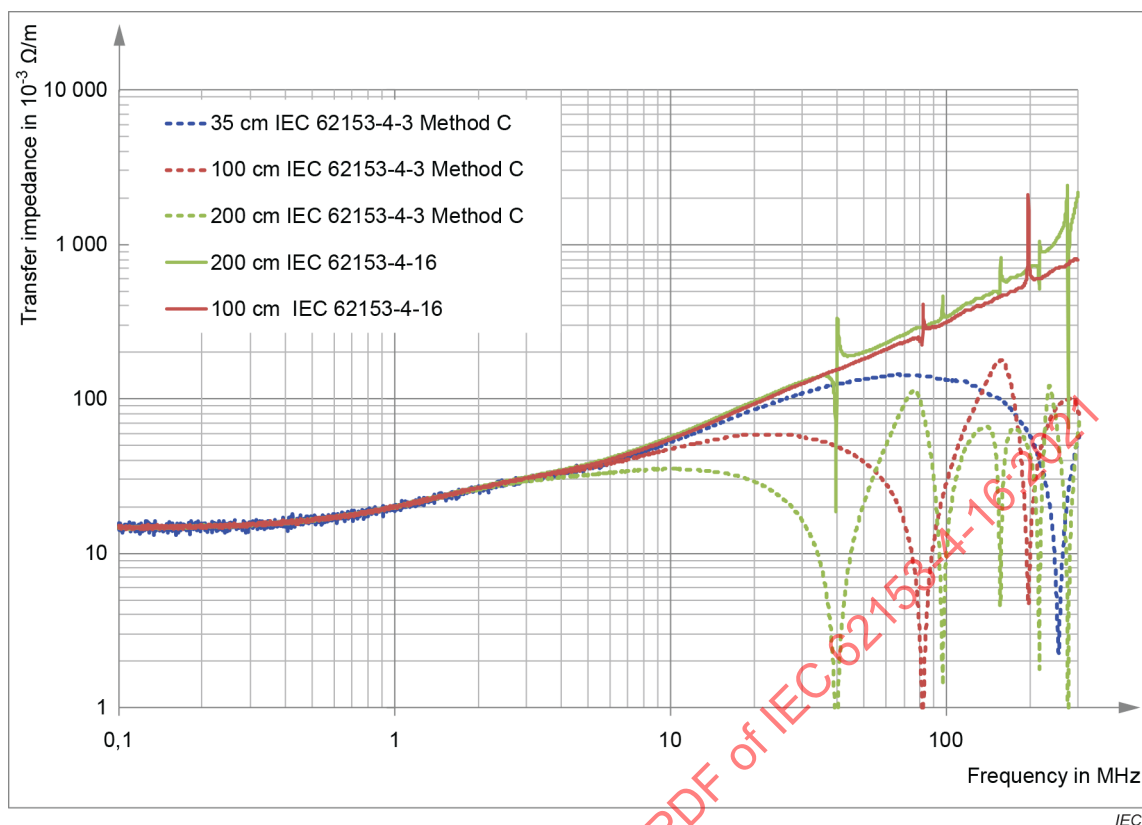
Figure 4 shows the test results of transfer impedance measurement (IEC 62153-4-3, Method C) for a single braided coaxial cable with a 50 Ω impedance. The DUT is short circuited at the far end ($Z_{1f} = 0$). The results are shown for three different coupling lengths 35 cm, 100 cm and 200 cm. The cut-off frequency for the transfer impedance measurement decreases as the length increases, from 60 MHz for 35 cm to 10 MHz for 200 cm.

Figure 5 shows the conversion of the measured scattering parameter S_M to the transfer impedance using Formula (1) instead of Formula (12) given in IEC 62153-4-3:2013. The conversion was done using a relative dielectric permittivity of the inner circuit (DUT) of 2,3 (PE dielectric) and 1,0 of the outer circuit (cable jacket was removed). The cut-off frequency was increased from 10 MHz for 200 cm and from 20 MHz for 100 cm respectively to 200 MHz. The observed residual peaks at higher frequencies are due to the capacitive coupling impedance Z_F which is not exactly zero and due to uncertainties in the dielectric permittivity used in the conversion formula.



Cable with a 50 Ω impedance; inner circuit short circuit; coupling length 35 cm, 100 cm, 200 cm.

Figure 4 – Measurement of transfer impedance of a single braided cable



Cable with a 50 Ω impedance; Formula (1); inner circuit short circuit; assuming relative dielectric permittivity of 2,3 and 1,0 for the inner circuit and outer circuit, respectively

Figure 5 – Conversion of measured scattering parameter S_M to the transfer impedance of a single braided cable

7 Extrapolation of screening attenuation measurement results

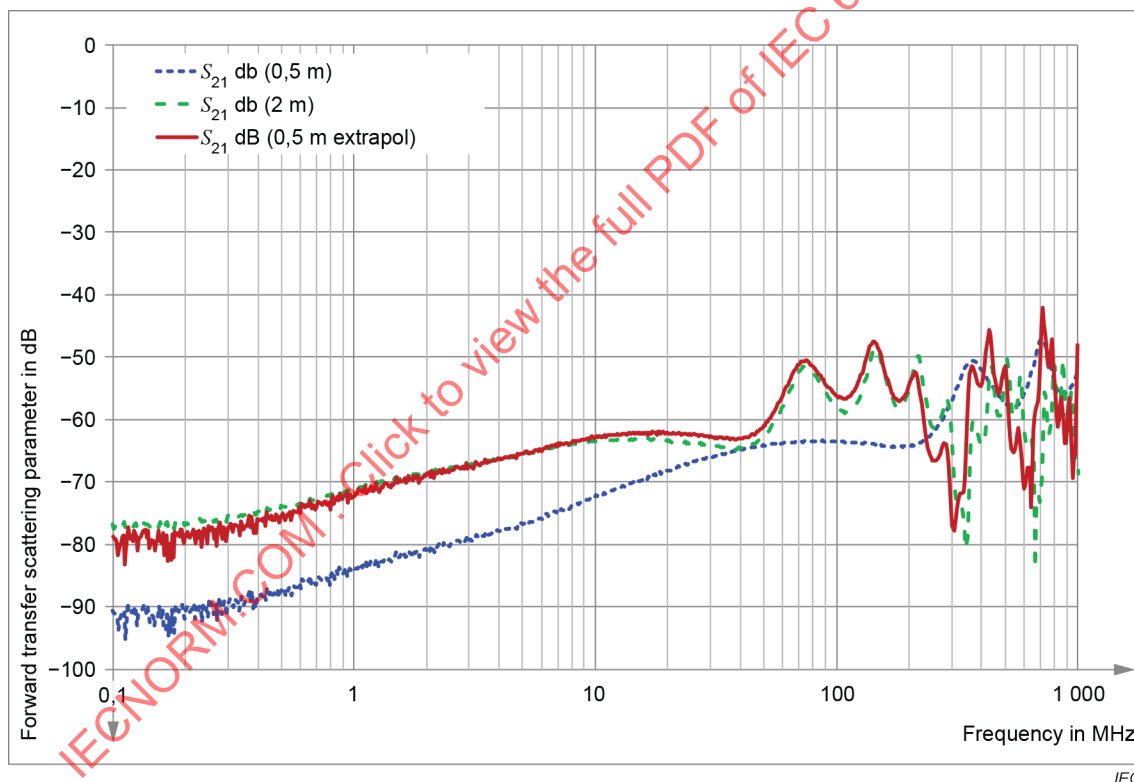
The test results of the screening attenuation and the measured forward transmission scattering parameter S_M shall be extrapolated to lower frequencies, or in other words extrapolated from a short to a long length by first converting S_M to the transfer impedance using Formula (1). In a second step the so obtained transfer impedance is converted to the extrapolated forward transmission scattering parameter S_E by:

$$S_E|_{L_2} = \frac{1}{Z_T} \frac{2\sqrt{Z_1 Z_2}}{\sqrt{1-r_{1n}^2} \sqrt{1-r_{2f}^2}} \times \frac{\left[1 + r_{1n} r_{1f} e^{-2\gamma_1 L_2} + r_{2f} e^{-2\gamma_2 L_2} + r_{1n} r_{1f} r_{2f} e^{-2(\gamma_1 + \gamma_2) L_2} \right]}{e^{-\gamma_2 L_2} \left[\frac{1 - e^{-(\gamma_1 - \gamma_2) L_2}}{\gamma_1 - \gamma_2} \left(1 - r_{1f} e^{-(\gamma_1 + \gamma_2) L_2} \right) + \frac{1 - e^{-(\gamma_1 + \gamma_2) L_2}}{\gamma_1 + \gamma_2} \left(1 - r_{1f} e^{-(\gamma_1 - \gamma_2) L_2} \right) \right]} \quad (3)$$

where

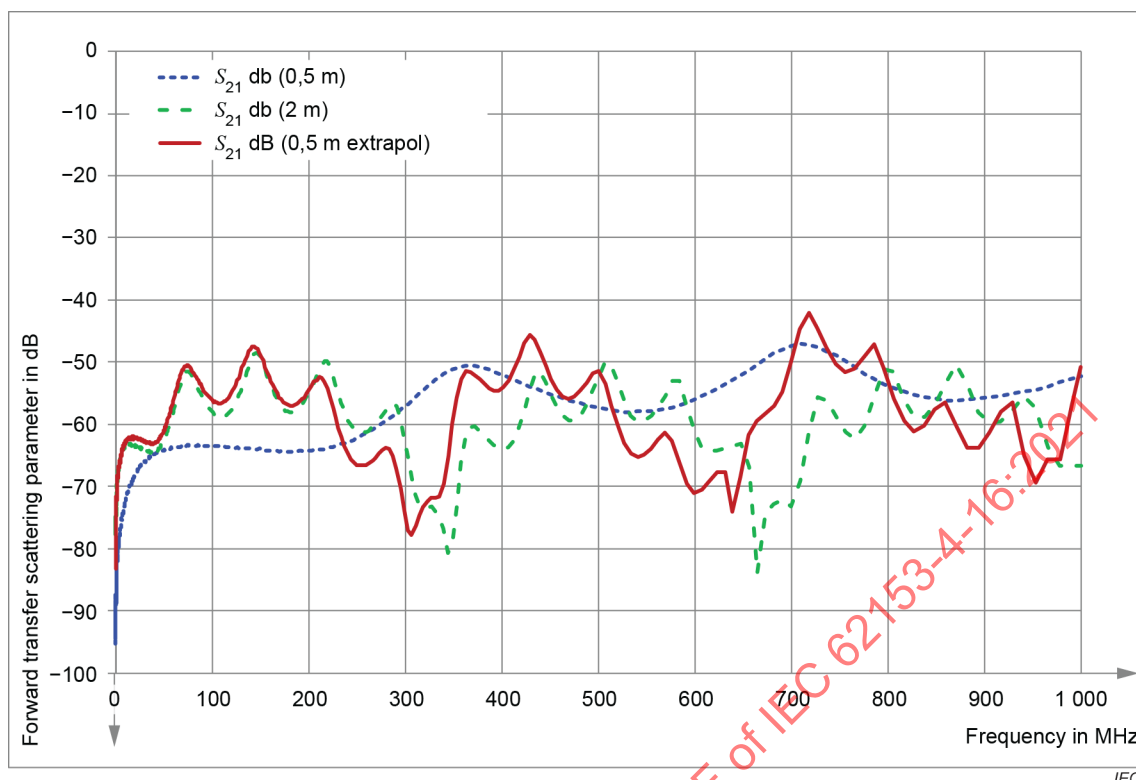
- S_E is the forward transfer scattering parameter extrapolated to length L_2 ;
- Z_T is the transfer impedance obtained from the measured forward transfer scattering parameter S_M ;
- L_2 is the extrapolated coupling length;
- Z_1, Z_2 are the characteristic impedances of the inner circuit (cable) and outer circuit (tube), respectively;
- γ_1, γ_2 are the wave propagation factors in the inner circuit (cable) and outer circuit (tube), respectively;
- r_{1n}, r_{1f} are the reflection coefficients in the inner circuit (cable) at the near end and far end, respectively;
- r_{2f} is the reflection coefficient in the outer circuit (tube) at the far end.

Figure 6 and Figure 7 show examples of the extrapolation of the measured scattering parameter S_{21} of an RG59 type cable.



Cable measured with a coupling length of 0,5 m and assuming dielectric permittivities of 2,3 and 1,1 for the inner circuit and outer circuit, respectively

Figure 6 – Example of the extrapolation of the scattering parameter S_{21} in logarithmic frequency scale of an RG59 type cable



Cable measured with a coupling length of 0,5 m and assuming dielectric permittivities of 2,3 and 1,1 for the inner circuit and outer circuit, respectively.

Figure 7 – Example of the extrapolation of the scattering parameter S_{21} in linear frequency scale of an RG59 type cable

The measurement was done with a coupling length of 0,5 m. For the extrapolation, a dielectric permittivity of 2,3 and 1,1 was assumed for the inner circuit and outer circuit, respectively. The blue dotted line is the measurement result obtained with a coupling length of 0,5 m. The green dashed line is the measurement result obtained with a coupling length of 2 m. The red solid line is the extrapolation of the measurement with a coupling length of 0,5 m.

A good concordance is observed between the from 0,5 m extrapolated results and the 2 m measured results. The extrapolation works well up to 300 MHz. The deviations observed above 300 MHz are due to slight differences between the real and assumed dielectric permittivities.

8 Determination of the relative dielectric permittivity and impedance of the inner and outer circuits

8.1 General

In the conversion formulae, the exact dielectric permittivity and impedance of the inner and outer circuit are needed. The relative dielectric permittivity and impedance of the inner circuit (CUT) is in general known or may be obtained from an open/short measurement (see IEC 61156-1:2007/AMD1:2009, 6.3.10 [5], IEC TR 62152:2009, Clause A.6 [6]) or a TDR measurement.

For the determination of the impedance and relative dielectric permittivity of the outer circuit (tube), one can use a TDR measurement (rise-time maximum 200 ps) or use the theory of the transformation characteristics of a line. The input impedance of a line is expressed by the following equation (neglecting the attenuation):

$$Z_{in} = Z_c \frac{\frac{Z_{load}}{Z_c} + j \tan\left(2\pi \frac{L}{\lambda}\right)}{1 + \frac{Z_{load}}{Z_c} j \tan\left(2\pi \frac{L}{\lambda}\right)} \quad (4)$$

where

Z_{in} is the input impedance of the transmission line;
 Z_{load} is the load impedance of the transmission line;
 Z_c is the characteristic impedance of the transmission line;
 λ is the wave length of the transmission line;
 L is the length of the transmission line.

For even multiples of the half wavelength ($\lambda/2$), the input impedance is equal to the load impedance and for odd multiples of the quarter wavelength ($\lambda/4$), the transmission line acts as a dual transformer.

With the short circuit in the outer circuit of the triaxial set-up, one gets:

$$\begin{aligned} Z_{in} = 0 & \quad \text{or} \quad S_{11} = -1 & \quad \text{when} \quad L = n \lambda/2 \\ Z_{in} = \infty & \quad \text{or} \quad S_{11} = +1 & \quad \text{when} \quad L = (2n+1) \lambda/4 \end{aligned}$$

So by measuring the scattering parameter S_{11} and observing two successive resonances where the real part $\text{Re}(S_{11}) = -1$ (and the imaginary part $\text{Im}(S_{11}) = 0$), or two successive resonances where the real part $\text{Re}(S_{11}) = +1$ (and the imaginary part $\text{Im}(S_{11}) = 0$), one can obtain the relative dielectric permittivity:

When $\text{Re}(S_{11}) = -1$ or $\text{Re}(S_{11}) = +1$

$$\varepsilon_r = \left[\frac{c_0}{2L\Delta f} \right]^2 \quad (5)$$

where

ε_r is the relative dielectric permittivity;
 c_0 is the speed of light in free space;
 L is the length of the transmission line;
 Δf is the frequency spacing between two successive resonances where the real part $\text{Re}(S_{11}) = -1$ (and $\text{Im}(S_{11}) = 0$), or two successive resonances where the real part $\text{Re}(S_{11}) = +1$ (and $\text{Im}(S_{11}) = 0$).

The observation of two successive resonances also allows for the determination of the characteristic impedance in the outer circuit. From Formula (4), the input impedance for a short circuited transmission line is obtained:

$$Z_{in}|_{Z_{load}=0} = Z_c j \tan(\beta L) \quad (6)$$

Hence:

$$Z_{in} = jZ_c \quad \text{for} \quad \tan \beta L = 1, \quad \beta L = (n\pi + \pi/4), \quad f = (4n+1)/4 \Delta f$$

or

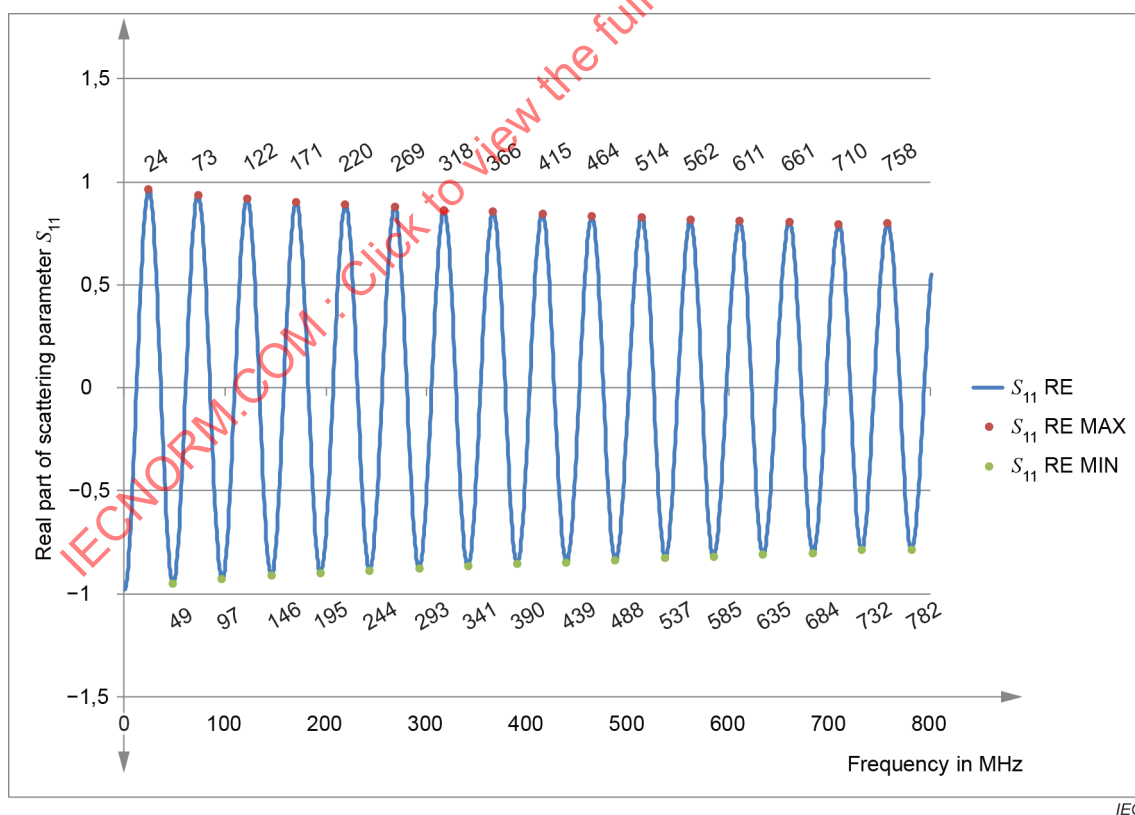
$$Z_{in} = -jZ_c \quad \text{for} \quad \tan \beta L = -1, \quad \beta L = (n\pi - \pi/4), \quad f = (4n-1)/4 \Delta f$$

where

- Z_{in} is the input impedance of the transmission line;
- Z_c is the characteristic impedance of the transmission line;
- L is the length of the transmission line;
- β is the phase constant of transmission line.

The principle of this method is shown in Figure 8, which shows the test results of a short circuited RG58 cable having a length of 203 cm. Subclause 8.2 describes how to apply this method to determine the relative dielectric permittivity and impedance of the outer circuit.

It is recommended to take the average frequency spacing of at least five successive resonances as shown in Figure 8. The average frequency spacing of two successive resonances is 48,90 MHz. Formulae (5) and (6) result in a relative dielectric permittivity of 2,28 and a characteristic impedance of 49,5 Ω which correspond to the typical values for this type of cable.



Test results of the real part of the scattering parameter S_{11} of an RG58 type cable (with solid PE insulation) having a length of 203 cm and a short circuit at the far end, where the average distance between two successive maxima is 48,93 MHz and between two successive minima is 48,87 MHz, i.e. the global average distance is 48,90 MHz.

Figure 8 – Measurement of S_{11} of the outer circuit (tube) having a length of 203 cm

The characteristic impedance in the outer circuit can also be obtained if the dimensions of the cable and the tube and the relative dielectric permittivity in the outer circuit are known:

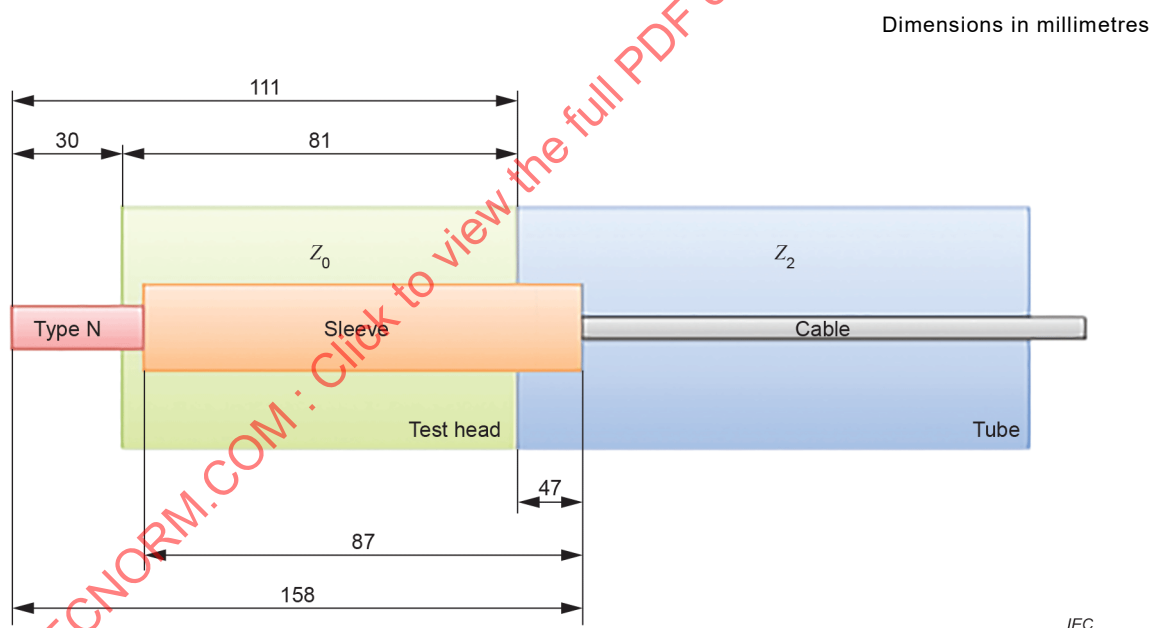
$$Z_2 = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_{r2}}} \ln\left(\frac{D}{d}\right) \quad (7)$$

where

- Z_2 is the characteristic impedance of the outer circuit in Ω ;
- ϵ_{r2} is the relative dielectric permittivity of the outer circuit;
- D is the inner diameter of the tube in mm;
- d is the outer diameter of the cable screen in mm.

8.2 Influence of the test head

To obtain the relative dielectric permittivity and impedance in the outer circuit from the measurement of the scattering parameter S_{11} , the configuration of the triaxial tube shall be taken into account. The well-known COMET set-up has a test head which is attached to the measuring tube, see Figure 9.



Key

Z_2 characteristic impedance in the outer circuit (tube)

Z_0 characteristic impedance of the test head

Figure 9 – Example of test head (COMET set-up)

This test head is built to have a characteristic impedance of 50Ω to match with the test receiver. As the characteristic impedance in the outer circuit, Z_2 is different from the impedance of the test head, the test head will act as a line transformer and the S_{11} measurement shall be corrected.

$$S_{11}^{\text{cor}} = S_{11}^{\text{meas}} \times e^{j2\beta_H L_H^{\text{mech}}} = S_{11}^{\text{meas}} \times e^{j4\pi L_H^{\text{elec}} \cdot f / c_0} \quad (8)$$

$$L_H^{\text{elec}} = L_H^{\text{mech}} \sqrt{\epsilon_{r,H}} \quad (9)$$

where

- S_{11}^{cor} is the corrected scattering parameter S_{11} ;
- S_{11}^{meas} is the measured scattering parameter S_{11} ;
- L_H^{mech} is the mechanical length of the test head;
- L_H^{elec} is the electrical length of the test head;
- β_H is the phase constant of the test head;
- f is the frequency;
- $\epsilon_{r,H}$ is the relative dielectric permittivity of the test head.

The electrical length of the test head can be obtained when replacing the cable in Figure 9 by a bare copper wire. Using such a DUT, the relative dielectric permittivity in the tube is equal to the one of air (1,00). The exact mechanical length of the tube is 948 mm, which is the 1 000 mm overall length minus 47 mm for the exceeding length of the screening cap (sleeve) minus 5 mm for the thickness of the short circuit disc.

In this configuration, the expected frequency spacing is 158 MHz in the measurement of the scattering parameter S_{11} measured at the test head, see Formula (5). In Figure 10, one can observe that the results are distorted (red line) due to the line transformation of the test head. The expected frequency spacing of 158 MHz is obtained by taking an electrical length of 175 mm for the test head. This is shown in the blue line which represents the corrected scattering parameter S_{11} , see Formula (8).

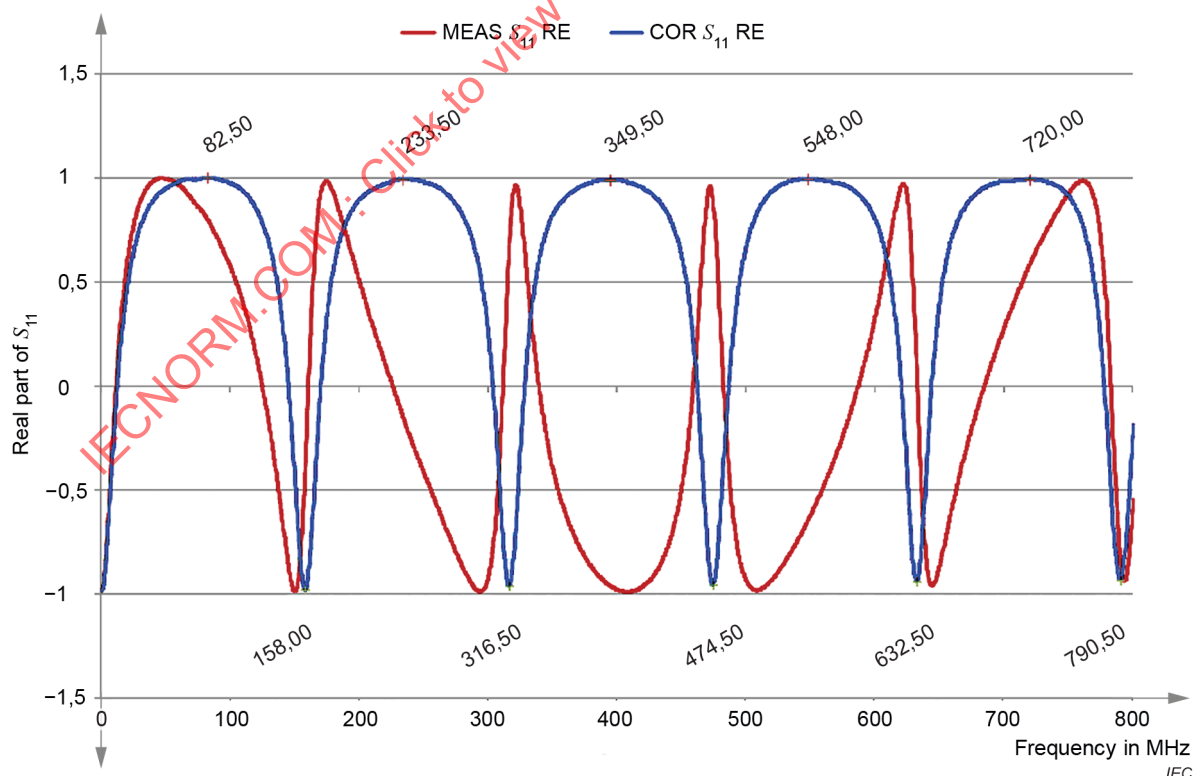


Figure 10 – Example of how to obtain the electrical length of the test head from the S_{11} measurement using a bare copper wire as DUT (COMET set-up)

The so determined electrical length of the test head is used to correct the results in the case of a real CUT.

Figure 11 shows the test results of the scattering parameter S_{11} measured from the test head with an RG58 type cable as a CUT in the 2 m tube. The results are distorted (red line) due to the line transformation of the test head. The blue line shows the corrected results using Formula (8) and an electrical length for the test head of 175 mm.

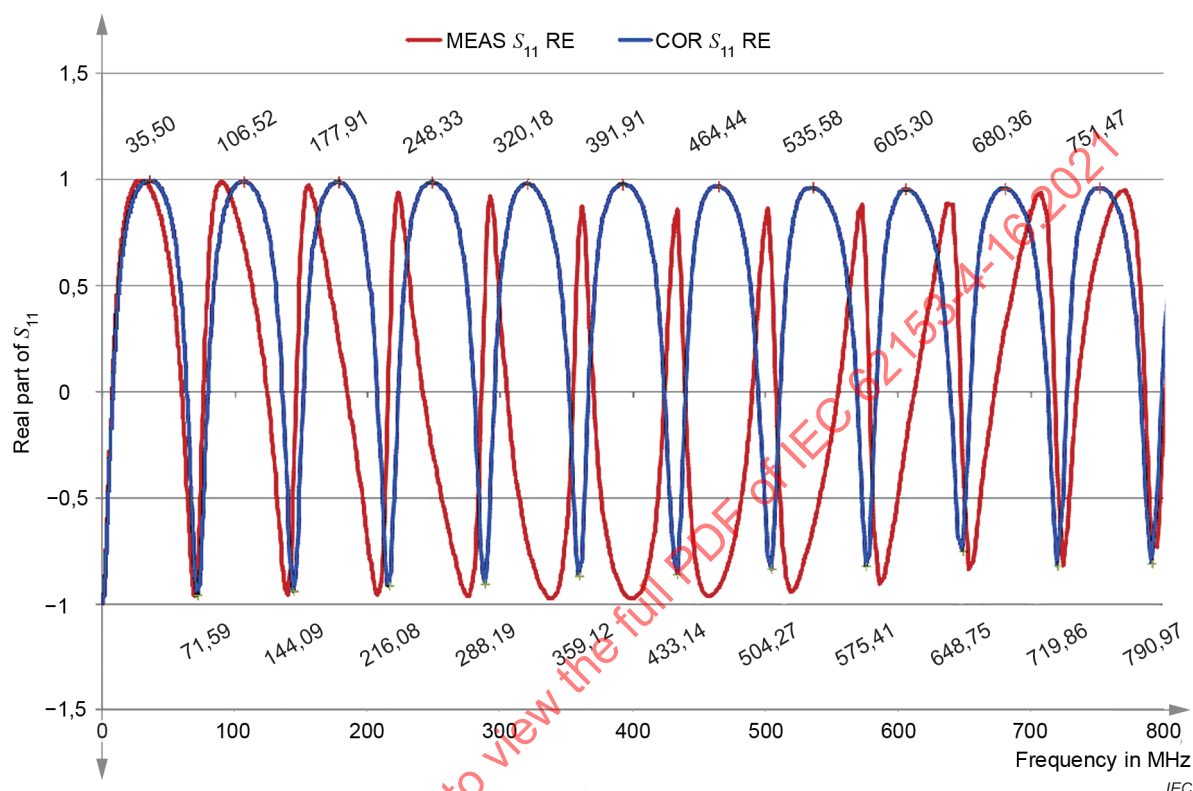


Figure 11 – Example of an RG58 type cable in 2 m triaxial set-up (COMET)

The exact mechanical length of the tube is 1 948 mm which is the 2 000 mm overall length minus 47 mm for the exceeding length of the screening cap (sleeve) minus 5 mm for the thickness of the short circuit disc. The average frequency spacing is 71,8 MHz which results in a relative dielectric permittivity in the outer circuit of 1,15 and a characteristic impedance in the outer circuit of 137 Ω , see Formulae (5) and (6).

Bibliography

- [1] IEC 62153-4-4, *Metallic communication cable test methods – Part 4-4: Electromagnetic compatibility (EMC) – Test method for measuring of the screening attenuation as up to and above 3 GHz, triaxial method*
- [2] IEC TS 62153-4-1:2014, *Metallic communication cable test methods – Part 4-1: Electromagnetic compatibility (EMC) – Introduction to electromagnetic screening measurements*
- [3] KLEY, T., *Optimierte Kabelschirme Theorie und Messung*, Diss. ETH Nr. 9354, 1991
- [4] HÄHNER, T., *The scattering and transfer matrix of screening effectiveness, modelling of the triaxial setup*, IWCS proceedings 2018
- [5] IEC 61156-1:2007, *Multicore and symmetrical pair/quad cables for digital communications – Part 1: Generic specification*
IEC 61156-1:2007/AMD1:2009
- [6] IEC TR 62152:2009, *Transmission properties of cascaded two-ports or quadripols – Background of terms and definitions*
- [7] JUNGFER, H., *Die Messung des Kopplungswiderstandes von Kabelschirmungen bei hohen Frequenzen*, NTZ, 1956, Heft 12

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62153-4-16:2021

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62153-4-16:2021

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	23
1 Domaine d'application	25
2 Références normatives	25
3 Termes, définitions et termes abrégés	25
3.1 Termes et définitions	25
3.2 Termes abrégés	26
4 Vue d'ensemble	26
5 Comportement en fréquence du montage triaxial	27
6 Extrapolation des résultats de mesure de l'impédance de transfert	29
6.1 Généralités	29
6.2 Exemple de mesurage selon l'IEC 62153-4-3, Méthode B	29
6.3 Exemple de mesurage selon l'IEC 62153-4-3, Méthode C	30
7 Extrapolation des résultats de mesure de l'affaiblissement d'écran	32
8 Détermination de la permittivité diélectrique relative et de l'impédance du circuit interne et du circuit externe, respectivement	34
8.1 Généralités	34
8.2 Influence de la tête d'essai	37
Bibliographie	41
Figure 1 – Simulation du paramètre de diffusion S_{21} (échelle de gauche) et de l'impédance de transfert (échelle de droite) d'un écran à une seule tresse	27
Figure 2 – Comparaison des formules de conversion entre le paramètre de diffusion de transmission d'exécution et l'impédance de transfert	29
Figure 3 – Exemple d'extrapolation de l'impédance de transfert d'un câble de type RG59	30
Figure 4 – Mesurage de l'impédance de transfert d'un câble à tressage simple	31
Figure 5 – Conversion du paramètre de diffusion mesuré S_M en impédance de transfert d'un câble à tressage simple	32
Figure 6 – Exemple d'extrapolation du paramètre de diffusion S_{21} dans l'échelle de fréquences logarithmique d'un câble de type RG59	33
Figure 7 – Exemple d'extrapolation du paramètre de diffusion mesuré S_{21} dans l'échelle de fréquences linéaire d'un câble de type RG59	34
Figure 8 – Mesurage de S_{11} du circuit externe (tube) d'une longueur de 203 cm	36
Figure 9 – Exemple de tête d'essai (montage COMET)	37
Figure 10 – Exemple de la manière d'obtenir la longueur électrique de la tête d'essai à partir du mesurage de S_{11} en utilisant un câble en cuivre nu en tant que DUT (montage COMET)	39
Figure 11 – Exemple de câble de type RG58 dans le montage triaxial de 2 m (COMET)	40
Tableau 1 – Paramètres de simulation du montage triaxial	28

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**MÉTHODES D'ESSAI DES CÂBLES MÉTALLIQUES
ET AUTRES COMPOSANTS PASSIFS –****Partie 4-16: Compatibilité électromagnétique (CEM) –
Extension de la plage de fréquences à des fréquences supérieures pour
l'impédance de transfert et à des fréquences inférieures pour mesurer
l'affaiblissement d'écran à l'aide d'un montage triaxial**

AVANT-PROPOS

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

L'IEC 62153-4-16 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. Il s'agit d'une Norme internationale.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 2016. Cette édition constitue une révision technique.

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

- Remplacement de la formule de conversion, qui était limitée à un DUT adapté, par une nouvelle formule correspondant à toutes les conditions de charge.

Le texte de cette Norme internationale est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
46/817/FDIS	46/826/RVD

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à son approbation.

La langue employée pour l'élaboration de cette Norme internationale est l'anglais.

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2, il a été développé selon les Directives ISO/IEC, Partie 1 et les Directives ISO/IEC, Supplément IEC, disponibles sous www.iec.ch/members_experts/refdocs. Les principaux types de documents développés par l'IEC sont décrits plus en détail sous www.iec.ch/standardsdev/publications.

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

Les futurs documents de cette série porteront dorénavant le nouveau titre général cité ci-dessus. Le titre des documents existant déjà dans cette série sera mis à jour lors de la prochaine édition.

Le comité a décidé que le contenu de ce document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous webstore.iec.ch dans les données relatives au document recherché. À cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

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

MÉTHODES D'ESSAI DES CABLES METALLIQUES ET AUTRES COMPOSANTS PASSIFS

Partie 4-16: Compatibilité électromagnétique (CEM) – Extension de la plage de fréquences à des fréquences supérieures pour l'impédance de transfert et à des fréquences inférieures pour mesurer l'affaiblissement d'écran à l'aide d'un montage triaxial

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 62153 décrit une méthode d'extrapolation des résultats d'essai de l'impédance de transfert à des fréquences supérieures et des résultats d'essai de l'affaiblissement d'écran à des fréquences inférieures mesurées à l'aide d'un montage triaxial selon l'IEC 62153-4-3, l'IEC 62153-4-4 [1]¹ et l'IEC 62153-4-15, respectivement. Cette méthode s'applique aux écrans homogènes, c'est-à-dire aux écrans dont l'impédance de transfert est directement proportionnelle à la longueur. L'impédance de transfert peut présenter un comportement en fréquence, c'est-à-dire qu'elle peut ne pas augmenter de 20 dB par décade comme cela est observé pour les écrans constitués d'une feuille et d'une tresse.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

IEC 62153-4-3:2013, *Metallic communication cable test methods – Part 4-3: Electromagnetic compatibility (EMC) – Surface transfer impedance – Triaxial method* (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, définitions et termes abrégés

3.1 Termes et définitions

Aucun terme n'est défini dans le présent document.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <http://www.iso.org/obp>

¹ Les chiffres entre crochets se réfèrent à la bibliographie.

3.2 Termes abrégés

CUT Cable Under Test (câble en essai)

DUT Device Under Test (dispositif en essai)

TDR Time Domain Reflectometer (réflectomètre dans le domaine temporel)

VNA Vector Network Analyser (analyseur de réseau vectoriel)

4 Vue d'ensemble

Le montage triaxial peut être utilisé pour mesurer tant l'impédance surfacique de transfert (IEC 62153-4-3, IEC 62153-4-15) que l'affaiblissement d'écran (IEC 62153-4-4, IEC 62153-4-15). L'impédance de transfert est en général mesurée avec une longueur de couplage maximale de 0,5 m, ce qui donne lieu à une limite de fréquence supérieure d'environ 100 MHz, alors que l'affaiblissement d'écran est en général mesuré avec une longueur de couplage de 2 m à 3 m, ce qui donne lieu à une limite de fréquence supérieure d'environ 10 MHz pour l'impédance de transfert et à une limite de fréquence inférieure d'environ 100 MHz pour l'affaiblissement d'écran (voir également l'IEC TS 62153-4-1:2014 Article 8 et Article 9 [2]).

La Figure 1 représente la zone grise entre l'électriquement court (étendue de mesure de l'impédance de transfert) et l'électriquement long (étendue de mesure de l'affaiblissement d'écran). Les paramètres utilisés dans la simulation sont les suivants:

- le paramètre de diffusion de transmission d'exécution S_{21} selon l'IEC 62153-4-3, méthode B, dans lequel la valeur de la résistance de charge est égale à l'impédance caractéristique du CUT;
- l'impédance du circuit interne est de 50 Ω ;
- l'impédance du circuit externe est de 150 Ω ;
- la permittivité diélectrique relative du circuit interne de 2,3;
- la permittivité diélectrique relative du circuit externe de 1,1;
- la longueur de couplage de 50 cm et de 200 cm;
- l'impédance de transfert calculée selon T. KLEY [3] pour une tresse en cuivre de: diamètre sous tresse 2,95 mm, nombre d'axes 16, nombre de fils par axe 5, diamètre de fil 0,12 mm, longueur de pas 15 mm.

Dans cet exemple représenté à la Figure 1, l'impédance de transfert peut être mesurée jusqu'à environ 30 MHz avec une longueur de couplage de 50 cm et l'affaiblissement d'écran peut être mesuré à partir de 150 MHz avec une longueur de couplage de 200 cm.

Le présent document décrit une méthode d'extrapolation des résultats d'essai de l'impédance de transfert à des fréquences supérieures et des résultats d'essai de l'affaiblissement d'écran à des fréquences inférieures mesurées à l'aide d'un montage triaxial selon l'IEC 62153-4-3, l'IEC 62153-4-4 et l'IEC 62153-4-15, respectivement.

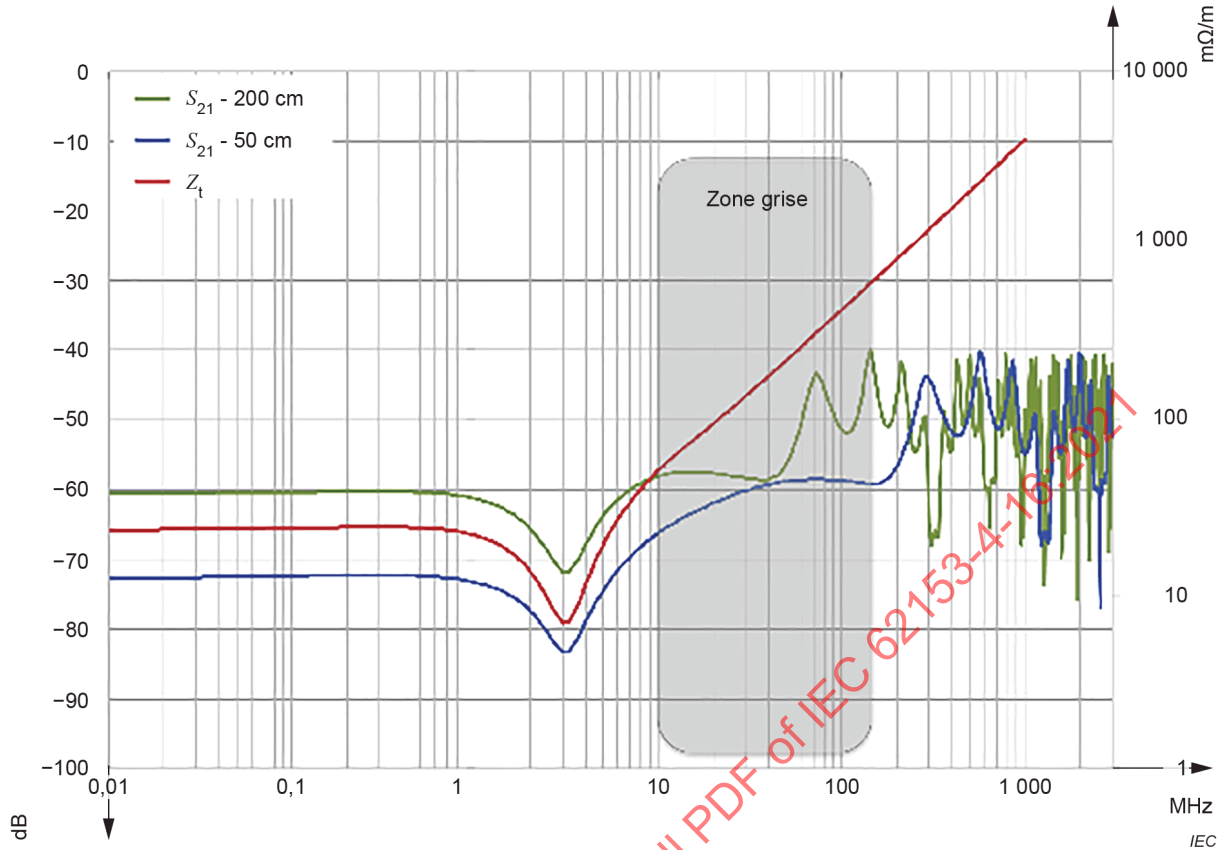


Figure 1 – Simulation du paramètre de diffusion S_{21} (échelle de gauche) et de l'impédance de transfert (échelle de droite) d'un écran à une seule tresse

5 Comportement en fréquence du montage triaxial

En connaissant le comportement en fréquence du montage triaxial, une mesure de l'affaiblissement d'écran peut être convertie en impédance de transfert, et inversement. D'autre part, les résultats de mesure de l'impédance de transfert peuvent être étendus à des fréquences plus élevées.

Les équations générales pour le couplage entre le circuit interne et le circuit externe correspondant à toutes les conditions de charge sont décrites en [3] et [4].

La relation entre le paramètre de diffusion de transmission d'exécution mesuré et l'affaiblissement d'écran respectif de l'impédance de transfert est décrite en [4].

Dans la formule (1), le couplage capacitif à travers l'écran est ignoré. Dans ce cas, l'impédance de transfert Z_T est obtenue à partir du paramètre de diffusion de transmission d'exécution mesuré S_M comme suit:

$$Z_T|_{Z_F=0} = S_M \frac{2\sqrt{Z_1 Z_2}}{\sqrt{1-r_{1n}^2} \sqrt{1-r_{2f}^2}} \times \frac{\left[1 + r_{1n} r_{1f} e^{-2\gamma_1 L} + r_{2f} e^{-2\gamma_2 L} + r_{1n} r_{1f} r_{2f} e^{-2(\gamma_1 + \gamma_2)L} \right]}{e^{-\gamma_2 L} \left[\frac{1 - e^{-(\gamma_1 - \gamma_2)L}}{\gamma_1 - \gamma_2} \left(1 - r_{1f} e^{-(\gamma_1 + \gamma_2)L} \right) + \frac{1 - e^{-(\gamma_1 + \gamma_2)L}}{\gamma_1 + \gamma_2} \left(1 - r_{1f} e^{-(\gamma_1 - \gamma_2)L} \right) \right]} \quad (1)$$

Pour les basses fréquences ($\gamma L \ll 1$), la formule (1) devient

$$Z_T = S_M \frac{Z_{2f} (Z_{1n} + Z_{1f})}{2L \sqrt{Z_{1n} Z_{2f}}} \quad (2)$$

où

- Z_T est l'impédance de transfert;
- Z_F est l'impédance de couplage capacitif ($Z_F = 0$);
- S_M est le paramètre de diffusion de transmission d'exécution mesuré;
- L est la longueur de couplage;
- Z_1, Z_2 sont les impédances caractéristiques du circuit interne (câble) et du circuit externe (tube) respectivement;
- γ_1, γ_2 sont les coefficients de propagation de l'onde dans le circuit interne (câble) et le circuit externe (tube) respectivement;
- r_{1n}, r_{1f} sont les coefficients de réflexion dans le circuit interne (câble) à l'extrémité proche et l'extrémité distante, respectivement;
- r_{2f} est le coefficient de réflexion dans le circuit externe (tube) à l'extrémité distante.

La formule (2) est la base des formules de conversion données dans l'IEC 62153-4-3 et l'IEC 62153-4-15.

La Figure 2 compare les résultats de l'impédance de transfert obtenus avec la formule (1) et la formule de conversion la plus souvent utilisée entre le paramètre de diffusion de transmission d'exécution et l'impédance de transfert (voir l'IEC 62153-4-3). La configuration est présentée en détail dans le Tableau 1. Le circuit interne est mal adapté, car il présente un court-circuit à l'extrémité distante (c'est-à-dire la méthode C de l'IEC 62153-4-3)

Tableau 1 – Paramètres de simulation du montage triaxial

Paramètre	Valeurs
Impédance de référence du VNA, Z_0	50 Ω
Longueur de couplage, L	0,5 m
Impédance du circuit interne (CUT), Z_1	75 Ω
Charge à l'extrémité proximale du circuit interne, Z_{1n}	50 Ω
Charge à l'extrémité distante du circuit interne, Z_{1f}	0 Ω
Permittivité diélectrique du circuit interne, ϵ_{r1}	2,25
Affaiblissement du circuit interne, α_1	0 dB/m
Impédance du circuit externe (tube), Z_2	150 Ω
Charge à l'extrémité proximale du circuit externe, Z_{2n}	0 Ω
Charge à l'extrémité distante du circuit externe, Z_{2f}	50 Ω
Permittivité diélectrique du circuit externe, ϵ_{r2}	1,0
Affaiblissement du circuit externe, α_2	0 dB/m
Résistance en courant continu de l'écran, R_T	13,6 m Ω /m
Inductance de couplage de l'écran, M_T	0,93 nH/m
Capacité de couplage de l'écran, C_T	0 pF/m

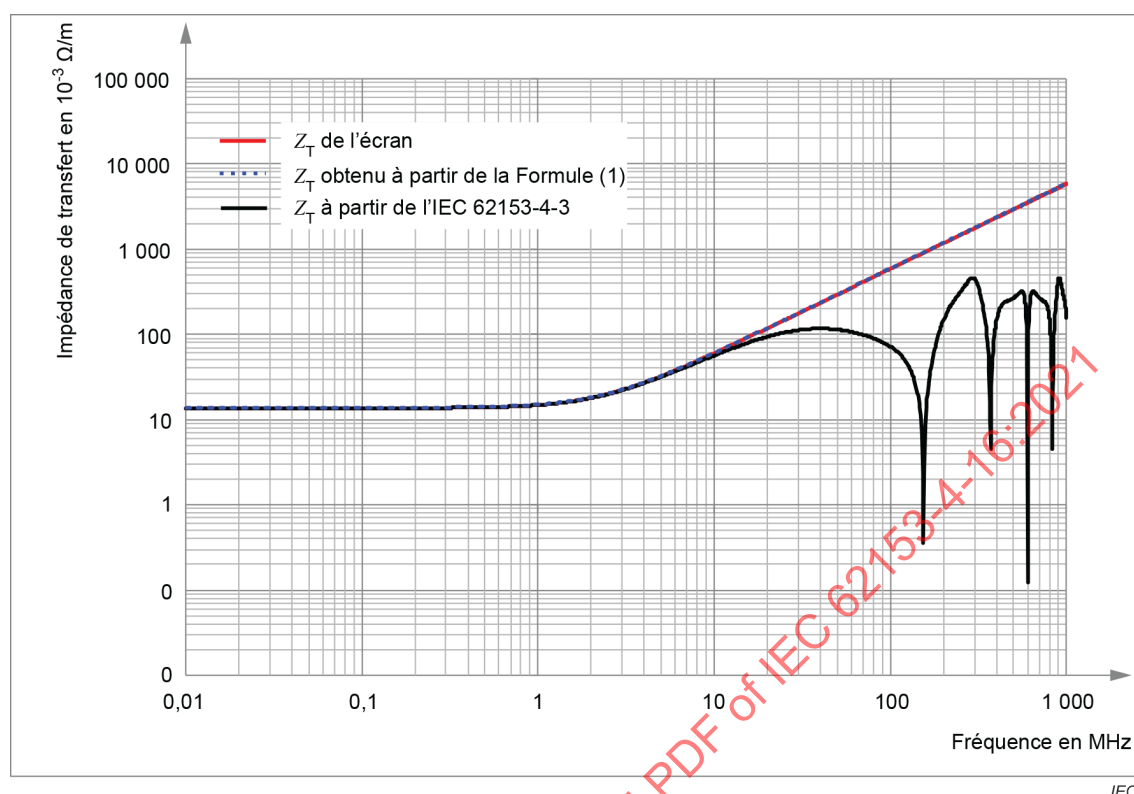


Figure 2 – Comparaison des formules de conversion entre le paramètre de diffusion de transmission d'exécution et l'impédance de transfert

L'impédance de transfert obtenue par la formule (1) correspond, comme prévu, à l'impédance de transfert obtenue à partir du paramètre d'écran (R_T , M_T et C_T). Toutefois, l'utilisation de la formule (12) décrite dans l'IEC 62153-4-3:2013 pour convertir le paramètre de diffusion de transmission d'exécution mesuré en impédance de transfert limite la fréquence supérieure de l'impédance de transfert à environ 30 MHz.

6 Extrapolation des résultats de mesure de l'impédance de transfert

6.1 Généralités

Les résultats d'essai de l'impédance de transfert doivent être extrapolés à des fréquences plus élevées à l'aide de la formule (1) plutôt que des formules présentées dans l'IEC 62153-4-3 et l'IEC 62153-4-15 respectivement pour convertir le paramètre de diffusion de transmission d'exécution mesuré S_M en impédance de transfert.

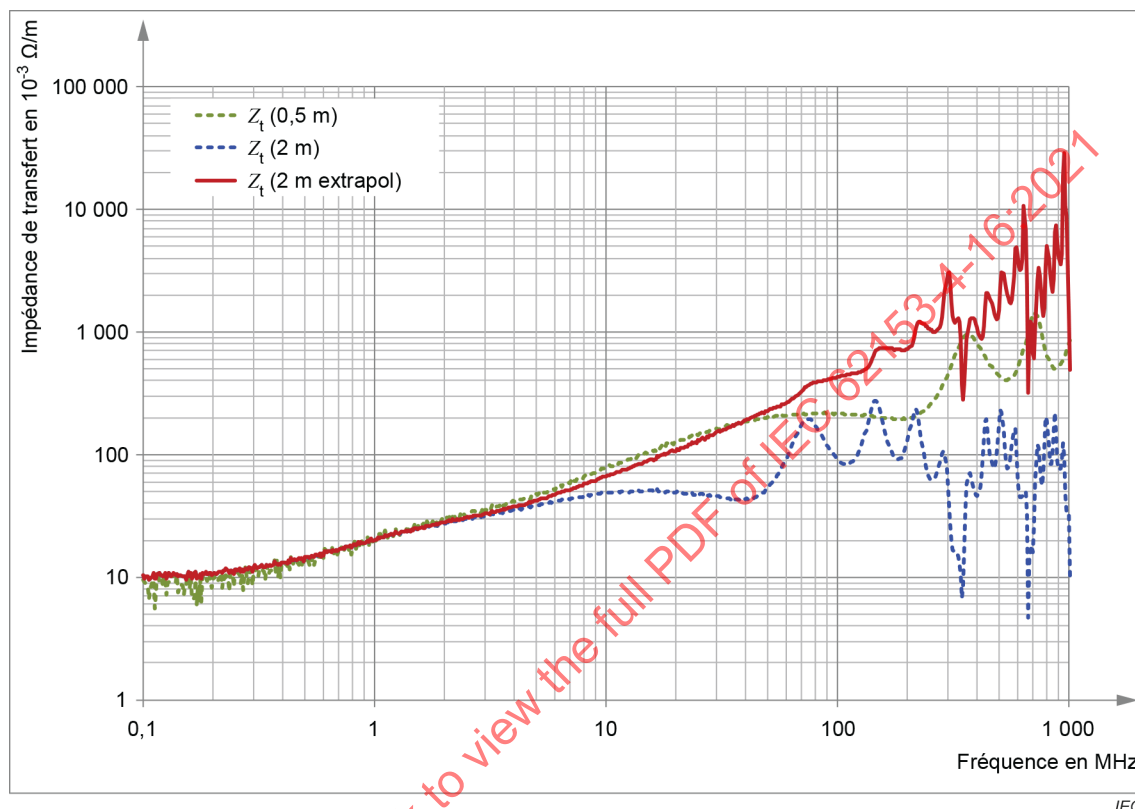
6.2 Exemple de mesure selon l'IEC 62153-4-3, Méthode B

La Figure 3 donne un exemple d'extrapolation de l'impédance de transfert mesurée d'un câble de type RG59. Le mesurage a été réalisé selon la méthode B de l'IEC 62153-4-3 (circuit interne adapté) avec une longueur de couplage de 2 m. Pour l'extrapolation, une permittivité diélectrique relative de 2,3 et de 1,1 a été prise pour hypothèse pour le circuit interne et le circuit externe, respectivement. La ligne bleue en pointillés est le résultat de mesure obtenu avec une longueur de couplage de 2 m. La ligne verte en pointillés est le résultat de mesure obtenu avec une longueur de couplage de 0,5 m. La ligne rouge continue est l'extrapolation du mesurage avec une longueur de couplage de 2 m.

Une bonne concordance est observée entre les résultats extrapolés à 2 m et les résultats mesurés à 0,5 m. L'extrapolation fonctionne bien jusqu'à 100 MHz. Les pointes observées

au-dessus de 100 MHz sont dues à de légères différences entre les permittivités diélectriques réelles et celles prises pour hypothèse.

Cet exemple démontre qu'il est possible, à l'aide de la formule (1), de mesurer l'impédance de transfert et l'affaiblissement d'écran avec un seul et même montage triaxial avec une longueur de couplage de 2 m, au lieu de procéder à deux mesurages, l'un avec une longueur de couplage courte et l'autre avec une longueur de couplage importante pour l'affaiblissement d'écran.



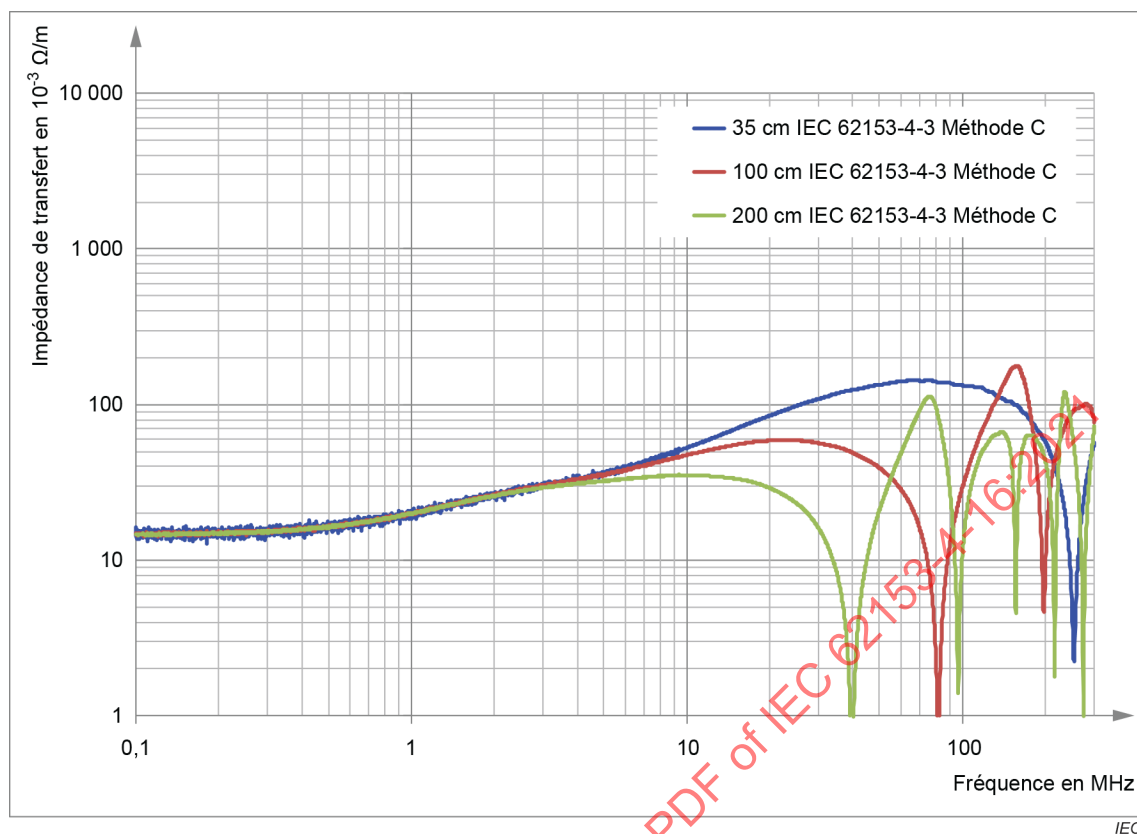
Câble mesuré avec une longueur de couplage de 2 m et en prenant pour hypothèse une permittivité diélectrique de 2,3 et de 1,1 pour le circuit interne et le circuit externe, respectivement.

Figure 3 – Exemple d'extrapolation de l'impédance de transfert d'un câble de type RG59

6.3 Exemple de mesurage selon l'IEC 62153-4-3, Méthode C

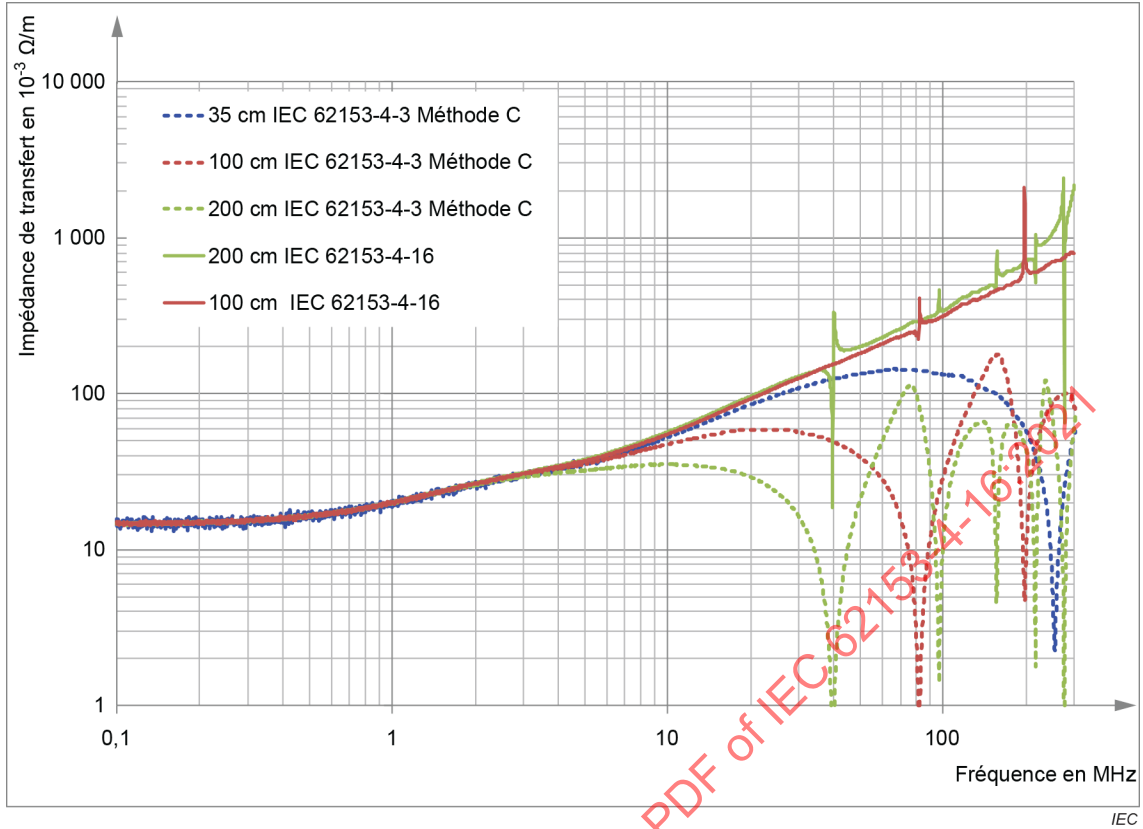
La Figure 4 représente les résultats d'essai de mesure de l'impédance de transfert (IEC 62153-4-3, Méthode C) d'un câble coaxial à tressage simple avec une impédance de 50 Ω . Le DUT est court-circuité à l'extrémité distante ($Z_{1f} = 0$). Les résultats sont présentés pour trois longueurs de couplage différentes: 35 cm, 100 cm et 200 cm. La fréquence de coupure pour le mesurage de l'impédance de transfert diminue au fur et à mesure de l'augmentation de la longueur, de 60 MHz pour 35 cm à 10 MHz pour 200 cm.

La Figure 5 représente la conversion entre le paramètre de diffusion mesuré S_M et l'impédance de transfert à l'aide de la formule (1) au lieu de la formule (12) donnée dans l'IEC 62153-4-3:2013. La conversion a été réalisée en utilisant une permittivité diélectrique relative du circuit interne (DUT) de 2,3 (diélectrique en polyéthylène) et de 1,0 pour le circuit externe (gaine de câble retirée). La fréquence de coupure a été augmentée de 10 MHz et 20 MHz pour 200 cm et 100 cm respectivement à 200 MHz. Les crêtes résiduelles observées aux fréquences supérieures sont dues à l'impédance de couplage capacitif Z_F qui n'est pas parfaitement nulle, et aux incertitudes de permittivité diélectrique dans la formule de conversion.



Câble avec une impédance de 50Ω ; court-circuit du circuit interne; longueurs de couplage de 35 cm, 100 cm, 200 cm.

Figure 4 – Mesurage de l'impédance de transfert d'un câble à tressage simple



Câble avec une impédance de 50 Ω; Formule (1); court-circuit du circuit interne; en prenant pour hypothèse une permittivité diélectrique de 2,3 et de 1,0 pour le circuit interne et le circuit externe, respectivement.

Figure 5 – Conversion du paramètre de diffusion mesuré S_M en impédance de transfert d'un câble à tressage simple

7 Extrapolation des résultats de mesure de l'affaiblissement d'écran

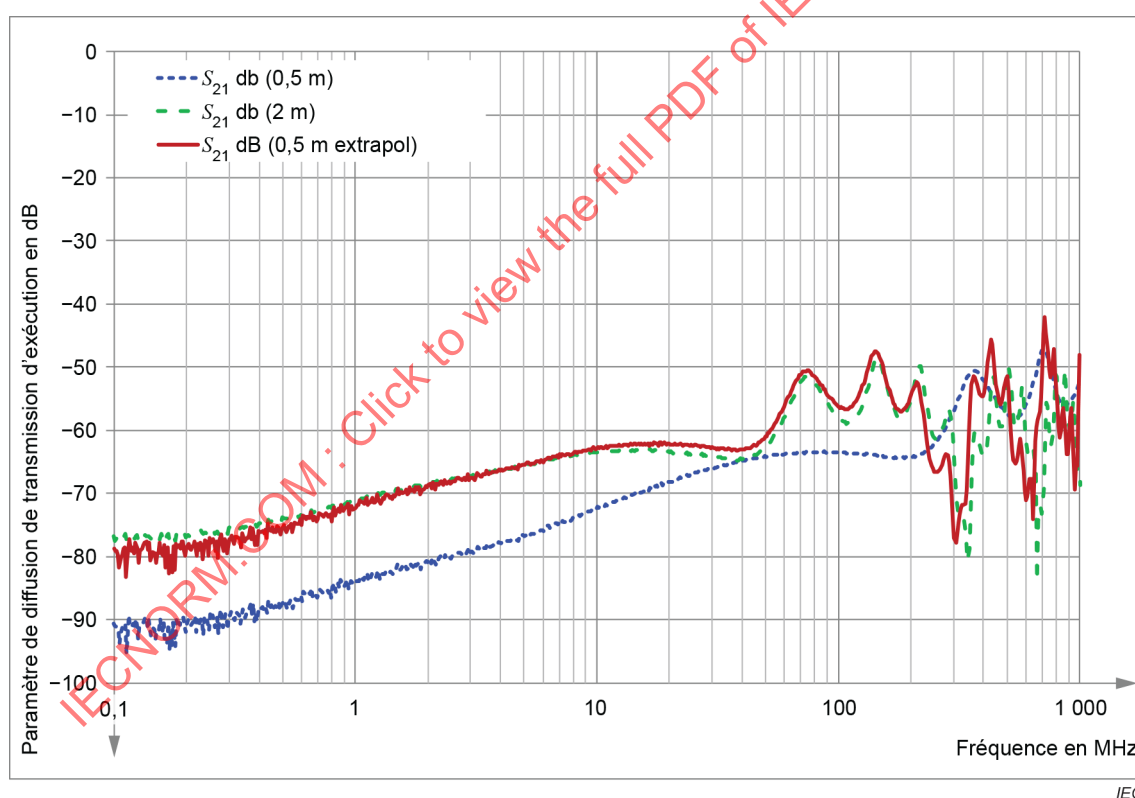
Les résultats d'essai de l'affaiblissement d'écran, respectivement, le paramètre de diffusion de transmission d'exécution mesuré S_M doivent être extrapolés aux fréquences inférieures ou, en d'autres termes, extrapolés entre une longueur courte et une longueur importante en convertissant en premier lieu S_M en impédance de transfert à l'aide de la formule (1). Dans un second lieu, l'impédance de transfert ainsi obtenue est convertie en paramètre de diffusion de transmission d'exécution extrapolé S_E par:

$$S_E|_{L_2} = \frac{1}{Z_T} \frac{2\sqrt{Z_1 Z_2}}{\sqrt{1-r_{1n}^2} \sqrt{1-r_{2f}^2}} \times \frac{\left[1 + r_{1n} r_{1f} e^{-2\gamma_1 L_2} + r_{2f} e^{-2\gamma_2 L_2} + r_{1n} r_{1f} r_{2f} e^{-2(\gamma_1 + \gamma_2) L_2} \right]}{e^{-\gamma_2 L_2} \left[\frac{1 - e^{-(\gamma_1 - \gamma_2) L_2}}{\gamma_1 - \gamma_2} (1 - r_{1f} e^{-(\gamma_1 + \gamma_2) L_2}) + \frac{1 - e^{-(\gamma_1 + \gamma_2) L_2}}{\gamma_1 + \gamma_2} (1 - r_{1f} e^{-(\gamma_1 - \gamma_2) L_2}) \right]} \quad (3)$$

où

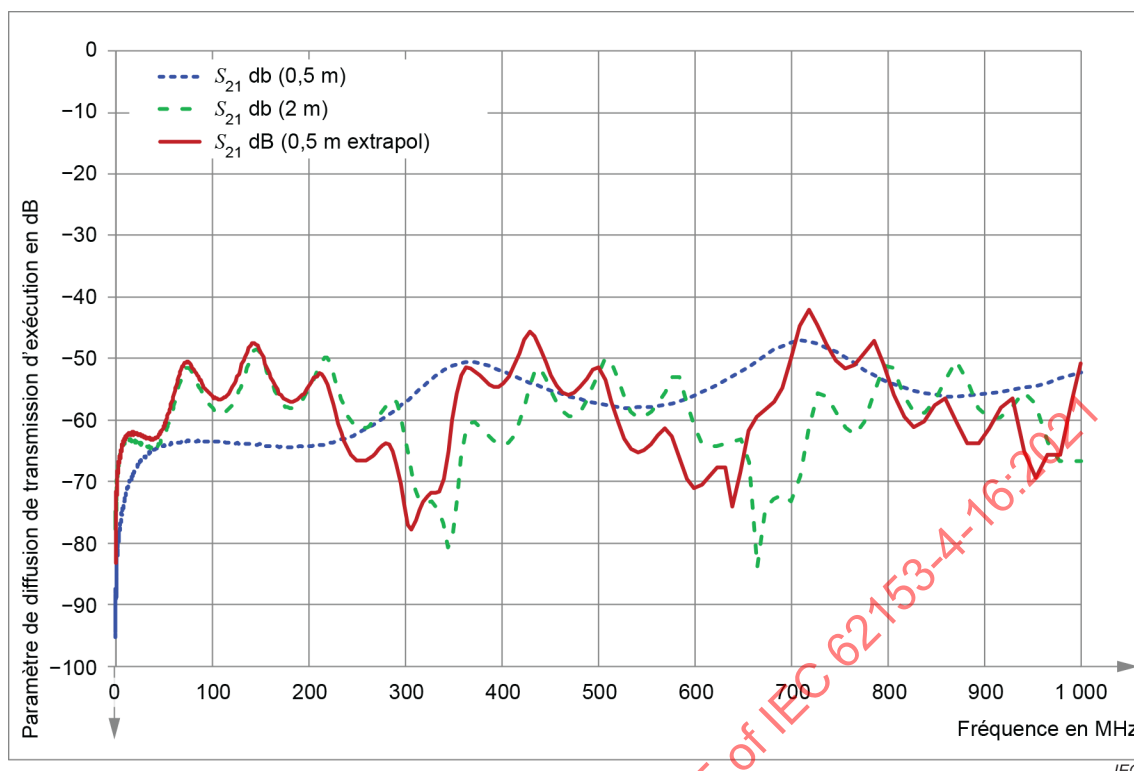
- S_E est le paramètre de diffusion de transmission d'exécution extrapolé à la longueur L_2 ;
- Z_T est l'impédance de transfert obtenue à partir du paramètre de diffusion de transmission d'exécution mesuré S_M ;
- L_2 est la longueur de couplage extrapolée;
- Z_1, Z_2 sont les impédances caractéristiques du circuit interne (câble) et du circuit externe (tube) respectivement;
- γ_1, γ_2 sont les coefficients de propagation de l'onde dans le circuit interne (câble) et le circuit externe (tube) respectivement;
- r_{1n}, r_{1f} sont les coefficients de réflexion dans le circuit interne (câble) à l'extrémité proche et l'extrémité distante, respectivement;
- r_{2f} est le coefficient de réflexion dans le circuit externe (tube) à l'extrémité distante.

La Figure 6 et la Figure 7 donnent des exemples d'extrapolation du paramètre de diffusion mesuré S_{21} d'un câble de type RG59.



Câble mesuré avec une longueur de couplage de 0,5 m et en prenant pour hypothèse une permittivité diélectrique de 2,3 et de 1,1 pour le circuit interne et le circuit externe, respectivement

Figure 6 – Exemple d'extrapolation du paramètre de diffusion S_{21} dans l'échelle de fréquences logarithmique d'un câble de type RG59



Câble mesuré avec une longueur de couplage de 0,5 m et en prenant pour hypothèse une permittivité diélectrique de 2,3 et de 1,1 pour le circuit interne et le circuit externe, respectivement.

Figure 7 – Exemple d'extrapolation du paramètre de diffusion mesuré S_{21} dans l'échelle de fréquences linéaire d'un câble de type RG59

Le mesurage a été réalisé avec une longueur de couplage de 0,5 m. Pour l'extrapolation, une permittivité diélectrique de 2,3 et de 1,1 a été prise pour hypothèse pour le circuit interne et le circuit externe, respectivement. La ligne bleue en pointillés est le résultat de mesure obtenu avec une longueur de couplage de 0,5 m. La ligne verte en pointillés est le résultat de mesure obtenu avec une longueur de couplage de 2 m. La ligne rouge continue est l'extrapolation du mesurage avec une longueur de couplage de 0,5 m.

Une bonne concordance est observée entre les résultats extrapolés à 0,5 m et les résultats mesurés à 2 m. L'extrapolation fonctionne bien jusqu'à 300 MHz. Les écarts observés au-dessus de 300 MHz sont dus à de légères différences entre les permittivités diélectriques réelles et celles prises pour hypothèse.

8 Détermination de la permittivité diélectrique relative et de l'impédance du circuit interne et du circuit externe, respectivement

8.1 Généralités

Dans les formules de conversion, la permittivité diélectrique et l'impédance exactes du circuit interne et du circuit externe sont nécessaires. La permittivité diélectrique relative et l'impédance du circuit interne (CUT) sont en général connues ou peuvent être obtenues à partir d'un mesurage ouvert/court (voir l'IEC 61156-1:2007/AMD1:2009, 6.3.10 [5], l'IEC TR 62152:2009, Article A.6 [6]) ou d'un mesurage TDR (*time domain reflectometer* - réflectomètre dans le domaine temporel).

Pour déterminer l'impédance et la permittivité diélectrique relative du circuit externe (tube), un mesurage TDR (temps de montée maximal 200 ps) ou la théorie des caractéristiques de transformation d'une ligne peut être utilisé(e). L'impédance d'entrée d'une ligne est exprimée par l'équation suivante (en ignorant l'affaiblissement):