

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Metallic communication cable test methods –
Part 4-5: Electromagnetic compatibility (EMC) – Screening or coupling
attenuation – Absorbing clamp method**

**Méthodes d'essai des câbles métalliques de communication –
Partie 4-5: Compatibilité électromagnétique (CEM) – Affaiblissement d'écran ou
de couplage – Méthode de la pince absorbante**



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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.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 communication cable test methods –
Part 4-5: Electromagnetic compatibility (EMC) – Screening or coupling
attenuation – Absorbing clamp method**

**Méthodes d'essai des câbles métalliques de communication –
Partie 4-5: Compatibilité électromagnétique (CEM) – Affaiblissement d'écran ou
de couplage – Méthode de la pince absorbante**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 33.100.10; 33.120.10

ISBN 978-2-8322-1013-5

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

CONTENTS

FOREWORD	4
1 Scope	6
2 Normative references	6
3 Terms and definitions	6
4 Principles of the test method	7
5 Equipment	8
5.1 General	8
5.2 Balun requirements	9
5.3 TP connecting unit requirements	11
5.4 Test sample	12
5.4.1 Tested cable length	12
5.4.2 Preparation of test sample	12
6 Test set-up	14
6.1 Test set-up calibration	14
6.2 Composite loss of the test set-up	14
6.2.1 General	14
6.2.2 Reflection loss of the absorbing clamp in the calibration set-up	15
6.3 Attenuation of the measuring set-up	16
6.4 Insertion loss of the absorbers	16
6.5 Test set-up arrangement	17
6.5.1 Test set-up verification	20
6.6 Pulling force on cable	20
7 Procedure	21
7.1 General	21
7.2 Screening attenuation of coaxial respectively quasi coaxial cables	22
7.2.1 Matched conditions	22
7.2.2 Unmatched conditions	23
7.3 Coupling attenuation of balanced cables	24
7.3.1 Coupling attenuation measurement with balun	24
7.3.2 Balunless coupling attenuation measurement – Set-up	25
7.3.3 Expression of test results	25
8 Test report	25
9 Requirement	26
Annex A (normative) Determination of the impedance of the inner circuit	27
A.1 Determination of impedance of inner circuit	27
A.2 Impedance matching device if $Z_1 < 50 \Omega$	27
A.3 Impedance matching device if $Z_1 > 50 \Omega$	28
Annex B (informative) Example of a self-made impedance matching adapter	29
Annex C (informative) Evaluation of test results for the coupling attenuation of balanced cables	31
C.1 Worst case	31
C.2 Examples	31
Annex D (informative) Reflection loss of a junction	34
Annex E (informative) Mixed mode parameters	36
E.1 Definition of mixed mode S -parameters	36

E.2 Reference impedance of VNA	39
Bibliography	40
Figure 1 – Measurement of near end screening attenuation, principle	9
Figure 2 – Measurement of near end coupling attenuation with balun	11
Figure 3 – Balunless measuring of near end coupling attenuation with multiport VNA	12
Figure 4 – Termination of a screened symmetrical cable	13
Figure 5 – Preparation of test sample (symmetrical and multi conductor cables)	13
Figure 6 – Calibration set-up	15
Figure 7 – Termination during calibration	15
Figure 8 – Measurement of the insertion loss of an absorber	17
Figure 9 – Example of screen connections for screened twisted pair cable measurement	18
Figure 10 – Test set-up for near end measurement of symmetrical cable	19
Figure 11 – Measurement of surface wave at near end of sample, principle	19
Figure 12 – Measurement of surface wave at far end of sample, principle	20
Figure 13 – Shielding arrangements for a far end measurement	21
Figure A.1 – Impedance matching for $Z_1 < 50 \Omega$	28
Figure A.2 – Impedance matching for $Z_1 > 50 \Omega$	28
Figure B.1 – Attenuation and return loss	29
Figure B.2 – Attenuation and return loss	30
Figure C.1 – Example measurement of a foil screen symmetrical cable	31
Figure C.2 – Example measurement of a well screened symmetrical cable	32
Figure C.3 – Example measurement of a well screened coaxial cable	32
Figure C.4 – Frequent measurement error of a symmetrical cable	33
Figure C.5 – Frequent measurement error of a symmetrical cable	33
Figure D.1 – Source with R_1 and R_L	34
Figure E.1 – Common two-port network	36
Figure E.2 – Common four port network	36
Figure E.3 – Physical and logical ports of VNA	37
Figure E.4 – Nomenclature of mixed mode S -parameters	37
Figure E.5 – Measurement configuration, single ended response	38
Figure E.6 – Measurement configuration, differential mode response	38
Table 1 – Balun performance characteristics (30 MHz to 1,0 GHz)	10
Table 2 – Balun performance characteristics (30 MHz to 2,4 GHz)	10
Table 3 – TP-connecting unit performance characteristics (30 MHz to 2,4 GHz)	11

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

METALLIC COMMUNICATION CABLE TEST METHODS –**Part 4-5: Electromagnetic compatibility (EMC) –
Screening or coupling attenuation – Absorbing clamp 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.

IEC 62153-4-5 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 2006. This edition constitutes a technical revision.

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

- a) reorganisation of clauses and annexes;
- b) extension of frequency range to 2,4 GHz;
- c) application of a virtual balun respectively balunless test procedure with multiport VNA.

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

FDIS	Report on voting
46/819/FDIS	46/829/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.

This standard is intended to be read in conjunction with IEC TS 62153-4-1:2014, which describes the theoretical background.

A list of all parts in the IEC 62153-4-n series, under the general title: *Metallic communication cable test methods – Electromagnetic Compatibility (EMC)* can be found on the IEC website.

The committee has decided that the contents of this document will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website under "<http://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 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.

METALLIC COMMUNICATION CABLE TEST METHODS –

Part 4-5: Electromagnetic compatibility (EMC) – Screening or coupling attenuation – Absorbing clamp method

1 Scope

The absorbing clamp method is suitable to determine the screening- or the coupling-attenuation of metallic communication cables in the frequency range of 30 MHz to 1 000 MHz (2 400 MHz), depending on the performance of the clamp. It is an alternative method to the triaxial method of IEC 62153-4-4 or IEC 62153-4-9. Due to the undefined outer circuit of this absorbing clamp method, the test results obtained at different places and laboratories could vary by at least ± 6 dB.

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 60050-726, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 726: Transmission lines and waveguides*

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

CISPR 16-1-3:2004, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 1-3: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – Ancillary equipment – Disturbance power*

ITU-T G.117:1996, *Transmission aspects of unbalance about earth*

ITU-T O.9:1999, *Measuring arrangements to assess the degree of unbalance about earth*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC 60050-726 and IEC TS 62153-4-1 and the following apply.

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

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

3.1

quasi-coaxial cable

cable construction with two or more inner conductors enclosed by cable screens acting as an outer conductor, connected together on both ends

Note 1 to entry: Screened balanced or multiconductor cables become a quasi-coaxial system by short circuiting the inner conductive elements.

4 Principles of the test method

The cable (for unbalanced respectively coaxial cables) or one cable pair (for balanced cables) is fed with the power P_1 . Due to the electromagnetic coupling between the cable or pair and the environment, surface waves are excited which propagate in both directions along the screen surface (or the cable surface where there is not a screen). A surface current transformer is used for picking up the power of the surface waves in combination with an absorber (usually a ferrite tube) to suppress unwanted common mode currents. These kinds of combinations are known as absorbing clamps.

On the basis of the peak values of the measured surface currents, it is possible to calculate the maximum peak power, $P_{2\max}$, in the secondary system formed by the screen of the cable (or the cable itself) and the environment.

The logarithmic ratio of the powers P_1 and $P_{2\max}$ is termed screening or coupling attenuation, expressed in dB.

In case of balunless measurement, coupling attenuation is termed by the logarithmic ratio of the powers P_{diff} and $P_{\text{com,max}}$.

For unbalanced (coaxial) or quasic coaxial cables, the measurement result is the screening attenuation. For balanced (symmetrical) cables, we have to consider two cases:

- a) disturbing power fed in differential mode: the measurement result is the coupling attenuation, which is the combined result of both unbalance attenuation and screening attenuation;
- b) disturbing power fed in common mode: the measurement result is the screening attenuation.

To measure coupling attenuation, a balanced signal is required to feed the balanced pair under test. This can be achieved by using a two port VNA and a balun to transform unbalanced (usually 50 Ω) generator signal into the balanced (usually 100 Ω) signal of the balanced cable.

Another option is the “balun-less” test method by using a 4 port vector network analyser or similar test equipment. The preferred method is the balunless (virtual balun) method.

The surface current is measured on a swept-frequency basis with a stationary clamp.

Taking into account the maximum effect of either near or far end surface waves, the coupling attenuation a_c (or the screening attenuation a_s) is defined by:

$$a_c = 10 \log_{10} \left(\frac{P_1}{\max[P_{2n}, P_{2f}]} \right) \quad (1)$$

where

P_1 is the input power of inner circuit of the sample;

P_{2n} is the maximum near end coupling peak power;

P_{2f} is the maximum far end coupling peak power.

A detailed description of the physical background of screening attenuation and coupling attenuation measurement is given in IEC TS 62153-4-1.

5 Equipment

5.1 General

The test set-up shall have a noise floor at least 6 dB better than the instrument reading required for the value to be reported. This means, for instance, that a test with an equipment dynamic range of at least 115 dB is required for measuring coupling attenuation or screening attenuation up to approximately 90 dB, when the full attenuation of a normal absorbing clamp and balun or TP-connecting unit (if applicable) are taken into account. The accuracy of any equipment shall be better than ± 1 dB.

To measure high values of screening and coupling attenuation, in general higher than 80 dB, it is recommended to carry out the measurements in a screened room (e.g. anechoic chamber).

The equipment shall be capable of measuring coupling attenuation or screening attenuation in the full frequency range from 30 MHz to 1 GHz and/or 500 MHz to 2,4 GHz if not specified otherwise in the relevant cable specification. For measurements at frequencies above 1 GHz, it is recommended to use the balunless test procedure.

The measurement set-up can be performed using a network analyser or alternatively a discrete signal generator and selective measuring receiver.

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, see Figure 1 and Figure 2.

Alternatively, a balanced signal may be obtained by using a vector network analyser (VNA) having two generators with a phase shift of 180°. Another alternative is to measure with a multi-port VNA (virtual balun). The properties of balanced pairs are determined mathematically from the measured values of each single conductor of the pair against reference ground. The coverable frequency range for the determination of the reflection and transmissions characteristics of symmetrical pairs is no longer limited by the balun but by the VNA and the connection technique.

A detailed definition of mixed mode *S*-parameters for measurements with virtual balun is given in Annex E.

NOTE Impedance matching adapters (Annex B) and accounting for mismatch loss (Annex D) can be replaced by the calibration and fixture de-embedding functions, which are included with multi-port VNA measurements.

A vertical metallic reflector plate whose height and width shall both be at least 800 mm shall be placed directly in front of the generator. The plate shall have a central hole to accommodate the cable under test.

The measuring set-up for the maximum radiated power at the near end (using discrete instruments) is shown in Figure 1 to Figure 3 and consists of:

- a) an absorbing clamp with a minimum frequency range from 30 MHz to 1 GHz, see CISPR 16-1-3:2004. An alternative absorbing clamp may be required if measurements are performed outside this frequency range, e.g. from 500 MHz to 2,4 GHz;
- b) a ferrite absorber with a minimum frequency range from 30 MHz to 1 GHz with a minimum attenuation of 10 dB;
- c) a reflector plate (min. 800 mm $\times$ 800 mm);
- d) a signal generator or vector network analyser with the same characteristic impedance as the unbalanced port of the balun (if applicable), coupled by a power amplifier if necessary for very high dynamic range requirements;

or alternatively:

- e) a receiver with a calibrated step attenuator or vector network analyser, coupled by a low noise amplifier if necessary for very high dynamic range requirements;
- f) a 4-port vector network analyser or similar test equipment. Such a configuration allows testing with both a common or differential mode stimulus and responses;
- g) an electronic calibration kit in case of a 4-port vector network analyser;
- h) a twisted pair (TP)-connecting unit to connect multiport VNA to the balanced DUT;
- i) a printing facility;
- j) load resistance networks which terminate the nominal characteristic common and differential mode impedances (if applicable);
- k) if the equipment does not observe the requirement for the level of noise floor, when well screened and balanced cables are measured, the dynamic range of the set-up may be improved by the use of an external amplifier. The amplifier shall be well screened and the enclosure shall be connected to the reflector plate.

The gain of the amplifier shall be measured and corrected for in the test result. When the gain of the amplifier is measured, precautions shall be taken not to saturate the amplifier. In order not to overload the equipment, an attenuator may be needed in front of the receiving input during the measurement. The attenuation of this attenuator shall be measured and used for correction of the result.

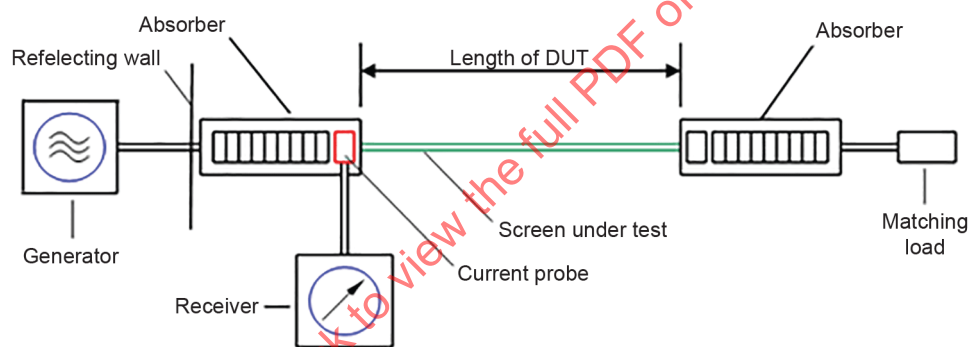


Figure 1 – Measurement of near end screening attenuation, principle

5.2 Balun requirements

For the measurement of symmetrical cables, a balun is required for conversion of the primary impedance of the unbalanced output from the signal generator to the nominal characteristic impedance of the balanced cable pair under test. The minimum requirements of the balun are specified in Table 1 (up to 1 GHz) and Table 2 (up to 2,4 GHz). For measurements above 1 GHz, it is recommended to use the balunless test procedure.

The attenuation of the balun shall be kept as low as possible because it will limit the dynamic range of the coupling attenuation measurements.

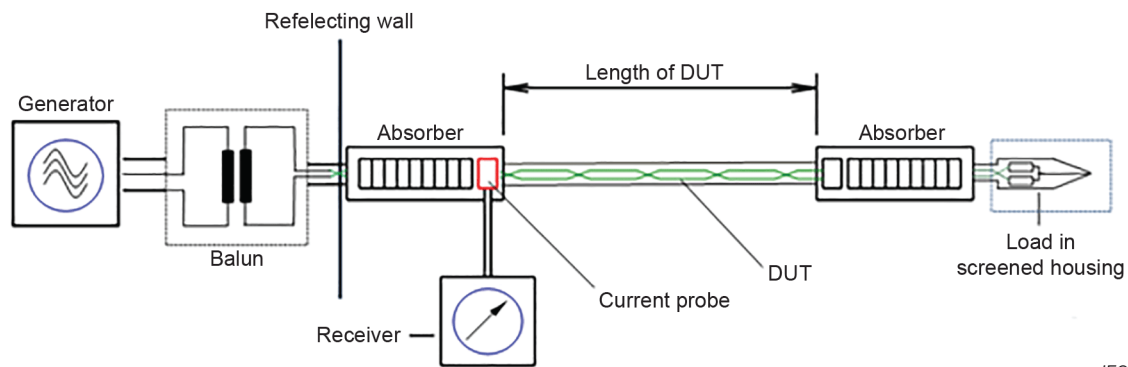
Table 1 – Balun performance characteristics (30 MHz to 1,0 GHz)

Parameter	Value
Impedance, primary ^a	50 Ω (unbalanced)
Impedance, secondary ^b	100 Ω or 150 Ω (balanced)
Insertion loss ^c (including matching pads if used)	≤ 10 dB
Return loss, bi-directional	≥ 6 dB
Power rating	To accommodate the power of the generator and amplifier (if applicable)
Output signal balance ^d	≥ 50 dB from 30 MHz to 100 MHz ≥ 30 dB from 100 MHz to 1 GHz
^a Primary impedance may differ if necessary to accommodate analyser outputs other than 50 Ω . ^b Balanced outputs of the test baluns shall be matched to the nominal impedance of the symmetrical cable pair. 100 Ω shall be used for termination of 120 Ω cabling. The error introduced by the mismatch between 100 Ω test system and 120 Ω cabling is neglectable. ^c The operational attenuation of a balun shall be mathematically deduced from 3 operational attenuation measurements with 3 baluns back-to-back. ^d Measured per ITU-T Recommendations G.117 and O.9.	

Table 2 – Balun performance characteristics (30 MHz to 2,4 GHz)

Parameter	Value
Impedance, primary ^a	50 Ω (unbalanced)
Impedance, secondary ^b	100 Ω (balanced)
Insertion loss ^c (including matching pads if used)	$\leq 2,0$ dB (30 MHz to 2 000 MHz) $\leq 3,0$ dB (2 000 MHz to 2 400 MHz)
Return loss, bi-directional	≥ 20 dB (30 MHz to 2 000 MHz), ≥ 15 dB (2 000 MHz to 2 400 MHz)
Common mode return loss	≥ 20 dB (30 MHz to 400 MHz), ≥ 15 dB (400 MHz to 2 000 MHz), ≥ 12 dB (2 000 MHz to 2 400 MHz)
Minimum power	0.1 Watt, (30 MHz to 2 400 GHz)
Longitudinal signal balance	≥ 60 dB (30 MHz to 100 MHz), ≥ 50 dB (100 MHz to 2 000 MHz), ≥ 40 dB (2 000 MHz to 2 400 MHz)
Output signal balance ^d	≥ 50 dB (30 MHz to 2 000 MHz), ≥ 40 dB (2 000 MHz to 2 400 MHz)
Common mode rejection	≥ 50 dB (30 MHz to 2 000 MHz), ≥ 40 dB (2 000 MHz to 2 400 MHz)
^a Primary impedance may differ if necessary to accommodate analyser outputs other than 50 Ω . ^b Balanced outputs of the test baluns shall be matched to the nominal impedance of the symmetrical cable pair. 100 Ω shall be used for termination of 120 Ω cabling. ^c The operational attenuation of a balun shall be mathematically deduced from 3 operational attenuation measurements with 3 baluns back-to-back. ^d Measured per ITU-T Recommendations G.117 and O.9.	

NOTE For measurements at frequencies above 1 GHz, the preferred procedure is the balunless test procedure.



IEC

Figure 2 – Measurement of near end coupling attenuation with balun

5.3 TP connecting unit requirements

When measuring with balunless, respectively with “virtual balun”, a TP connecting unit is required. See Table 3.

**Table 3 – TP-connecting unit performance characteristics
(30 MHz to 2,4 GHz)**

Parameter	Value
Characteristic impedance, primary side (single ended) ^a	50 Ω
Characteristic impedance, secondary side (differential) ^a	1 $\times$ 100 Ω (differential)
Return loss, differential mode ^b	> 20 dB
Attenuation, differential mode ^c	< 0,3 dB
Unbalance attenuation (TCTL) ^d	> 60 dB-10*log (f), 40 dB max.
^a Two ports with single ended impedances of 50 Ω generate a common mode impedance of 25 Ω and a differential mode impedance of 100 Ω. ^b To be measured e.g. with a 4 port mixed mode network analyser. One logical port is generated by the combination of two single ended ports. A second logical port is generated by the combination of two other single ended ports. The absolute dB value of the S-parameter S_{dd11} then represents the return loss of the differential mode. ^c With the test set-up according to ^b, the absolute dB value of the S-parameter S_{dd21} then represents the attenuation of the differential mode. ^d With the test set-up according to ^b, the absolute dB value of the S-parameter S_{cd21} then represents the unbalance attenuation (TCTL).	

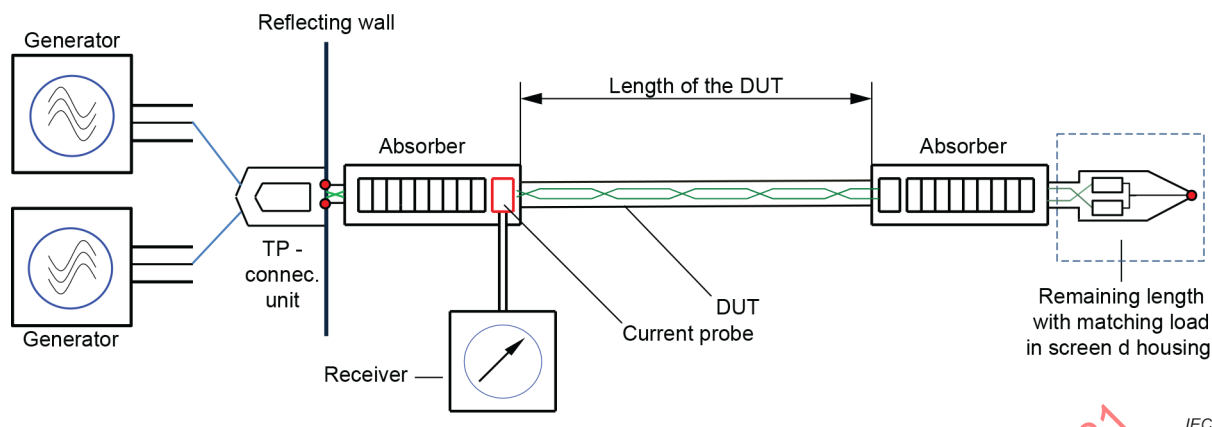


Figure 3 – Balunless measuring of near end coupling attenuation with multiport VNA

5.4 Test sample

5.4.1 Tested cable length

The effective length of the test specimen is limited by the absorbing clamp and the ferrite tube, as shown in Figure 3. The minimum test length depends on the lowest frequency to be measured. For the lowest frequency of 30 MHz, the minimum length shall be 600 cm + 2 × the length of the absorber ± 10 cm.

5.4.2 Preparation of test sample

5.4.2.1 General

If the bore of the absorbing clamp is smaller than the diameter of the test specimen, it shall be extended at both ends by means of smaller indicator lines. The extension lines shall have a much better screening attenuation than the test specimen. If possible, lines with a tubular outer conductor should be used. The characteristic impedance and the velocity of propagation of the extension cables shall correspond to the cable under test (same type of insulation, e.g. foamed or solid).

5.4.2.2 Symmetrical cables

The entire length of the cable shall be at least 100 m. The tested cable length (from absorbing clamp to the absorber) shall comply with 5.4.1.

A differential mode termination is required for each pair at the near and far end of the cable.

$$R_1 = R_{DM} = \frac{Z_{diff}}{2} \quad (2)$$

The termination of the common mode shall be 25 Ω, i.e. two resistors of value R_{DM} in series with the centre point connected to ground, see Figure 4.

NOTE Modern mixed mode VNAs use a 25 Ω generator and receiver impedance as default value for the common mode (see Clause E.2).

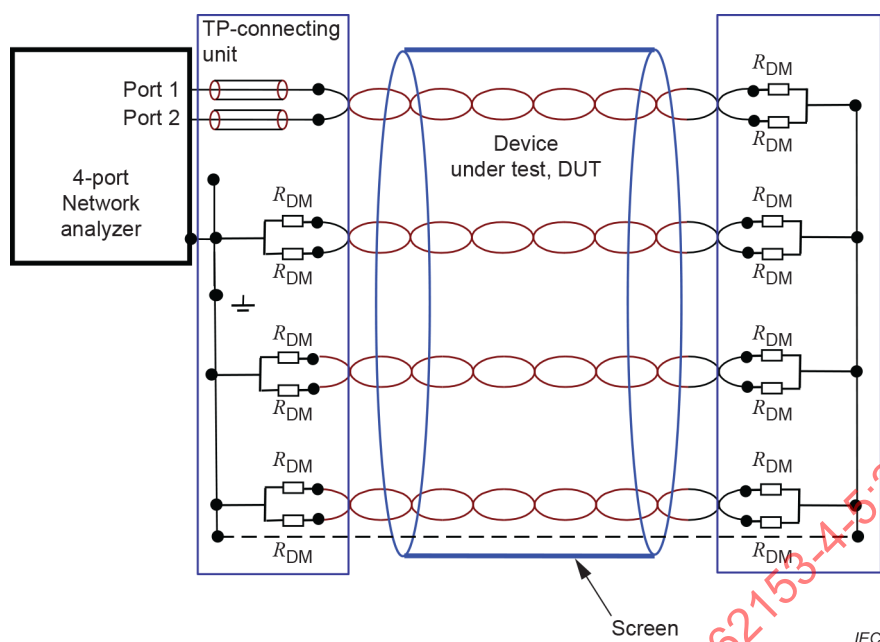


Figure 4 – Termination of a screened symmetrical cable

5.4.2.3 Preparation for the measurement of the screening attenuation for coaxial or quasi-coaxial cables

The entire length of the cable need not be longer than the tested cable length plus the length of the clamp and the absorber. The tested cable length (from absorbing clamp to absorber) shall comply with 5.4.1.

Screened symmetrical or screened multiconductor cables are treated as quasi-coaxial cables. Therefore, all conductors (of all pairs if applicable) shall be connected together at both ends. All screens, also those of individually screened pairs or quads, shall be connected together at both ends. The screens shall be connected over the whole circumference (see Figure 5).

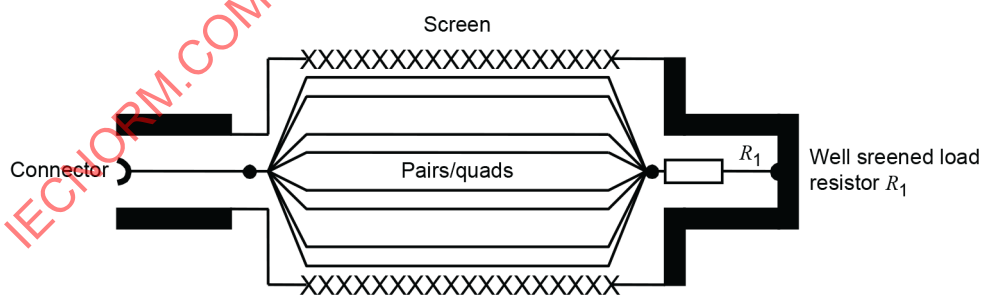


Figure 5 – Preparation of test sample (symmetrical and multi conductor cables)

The quasi coaxial system shall be terminated with its nominal characteristic impedance. The termination shall be well screened, so that the test results are not falsified. The impedance of the quasi coaxial system can either be measured by using a TDR with maximum 200 ps rise time or using below described method. Furthermore, an impedance matching adapter is necessary to match the impedance of the generator and the impedance of the quasi coaxial system.

5.4.2.4 Impedance matching

If unknown, the nominal characteristic impedance of the coaxial or the quasi-coaxial system can either be measured by using a TDR with maximum 200 ps risetime or using the method described in Annex A. An impedance matching adapter to match the impedance of the generator and the impedance of the coaxial or 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 e.g. 75 Ω (see also 7.2.2, unmatched conditions and Annex B).

5.4.2.5 Coaxial or quasi-coaxial cables

The entire length of the cable need not be longer than the tested cable length plus the length of the clamp and the absorber. The tested cable length (from absorbing clamp to absorber) shall comply with 5.4.1.

The cable under test shall be terminated with its nominal characteristic impedance. The termination shall be well screened, so that the test results are not falsified.

6 Test set-up

6.1 Test set-up calibration

The attenuation of the test set-up is determined by first measuring the composite loss and then correcting for the reflection loss in the calibration set-up, see Figure 6.

In this way, the response of the absorbing clamp to the power of an incident surface wave is found.

The reflection loss in the measurement set-up, which is caused by the mismatch between the impedance of the surface wave, Z_2 , and the impedance of the clamp, is not taken into account in the measurement. The error caused by not including this impedance mismatch can be neglected.

Before starting the test set-up calibration, a complete calibration of the VNA shall be performed.

If not known, the attenuation of the balun shall be measured, e.g. by measuring two baluns of the same type back to back.

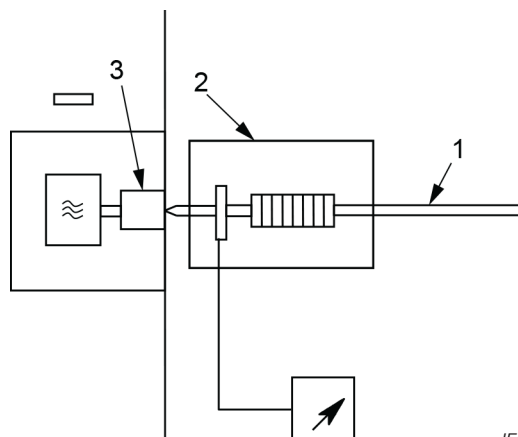
6.2 Composite loss of the test set-up

6.2.1 General

To determine the composite loss a_{cal} , the output power of the generator is fed directly into the outer circuit, composed of the cable screen (for screened cables) or all conductors connected together (for unscreened balanced cables) and the surrounding. The connection of the generator directly to the screen of the cable under test (for screened cables) or to all conductors connected together (for unscreened balanced cables) is shown in Figure 6 (illustrated using discrete instruments) and Figure 7. The composite loss of this calibration set-up a_{cal} is derived from the measurement of output power from the absorbing clamp in the full frequency range of interest. The attenuation of the test leads shall be included in the calibration of the network analyser.

The connection from the generator output to the cable screen or conductors connected together shall be of low resistance (minimum 0,75 mm² copper cross section) and short (maximum 10 mm from the cable end). The cable end shall be in line (± 2 mm) with the front side of the clamp.

The screen of the output cable from the signal generator shall be connected to the reflector plate to provide a return path for the signal. This can be done by mounting a connector (for instance coax connector) in the reflector plate and connecting the generator to this connector through a low loss cable (for instance coax cable). The cable connection is made to the centre contact of this connector.



Key

- 1 screen or outer conductor of test sample
- 2 absorbing clamp
- 3 connector mounted in reflector plate

Figure 6 – Calibration set-up

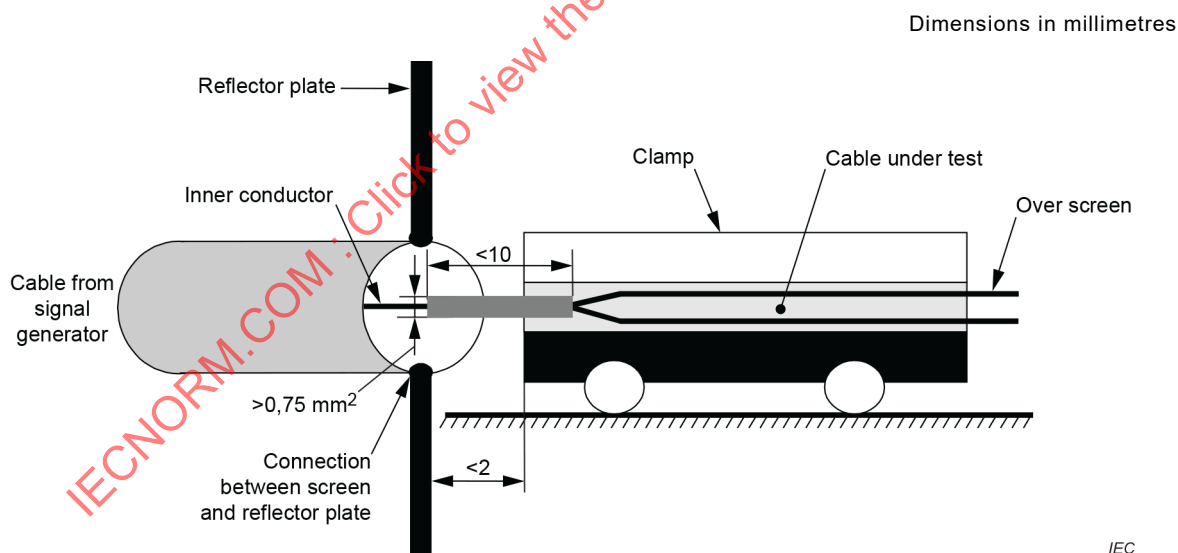


Figure 7 – Termination during calibration

6.2.2 Reflection loss of the absorbing clamp in the calibration set-up

The composite loss measurement includes the reflection loss caused by the mismatch between the generator and the cable sample positioned in the clamp in the calibration set-up.

The reflection loss, a_{rfl} , is determined by measuring the complex reflection coefficients of the clamp in the calibration set-up and calculating a_{rfl} as:

$$a_{\text{rfl}} = -10 \log_{10} |1 - (S_{11})^2| \quad (3)$$

where

S_{11} is the measured scattering parameter when the power is fed directly to the outer circuit and the reflected power is measured.

The measurement is normally performed by measuring the scattering parameter S_{11} with a vector network analyser. S_{11} is equal to the reflection coefficient. The calibration point for this S_{11} measurement is the interface where the cable under test is connected to the generator output. This means, for instance, at the output pin of the connector in the reflector plate.

6.3 Attenuation of the measuring set-up

The attenuation of the clamp a_{cl} including the attenuation of the test leads is calculated as:

$$a_{\text{cl}} = a_{\text{cal}} - a_{\text{rfl}} \quad (4)$$

where

a_{cal} is the measured composite loss of the measuring set-up;

a_{rfl} is the measured reflection loss.

$$a_{\text{cal}} = -20 \log_{10} (|S_{21}|) \quad (5)$$

where

S_{21} is the measured scattering parameter when the power is fed directly to the outer circuit and the output power of the absorbing clamp is measured.

The attenuation, a_{m} , of the measuring set-up, which shall be subtracted from all cable under test measurements, can now be calculated as:

$$a_{\text{m}} = a_{\text{cl}} + a_{\text{balun}} \text{ (if applicable) or } a_{\text{m}} = a_{\text{cl}} + a_{\text{TP-connecting unit}} \text{ (if applicable)} \quad (6)$$

where

a_{m} is the attenuation of the measuring set-up;

a_{cl} is the measured composite loss of the measuring set-up;

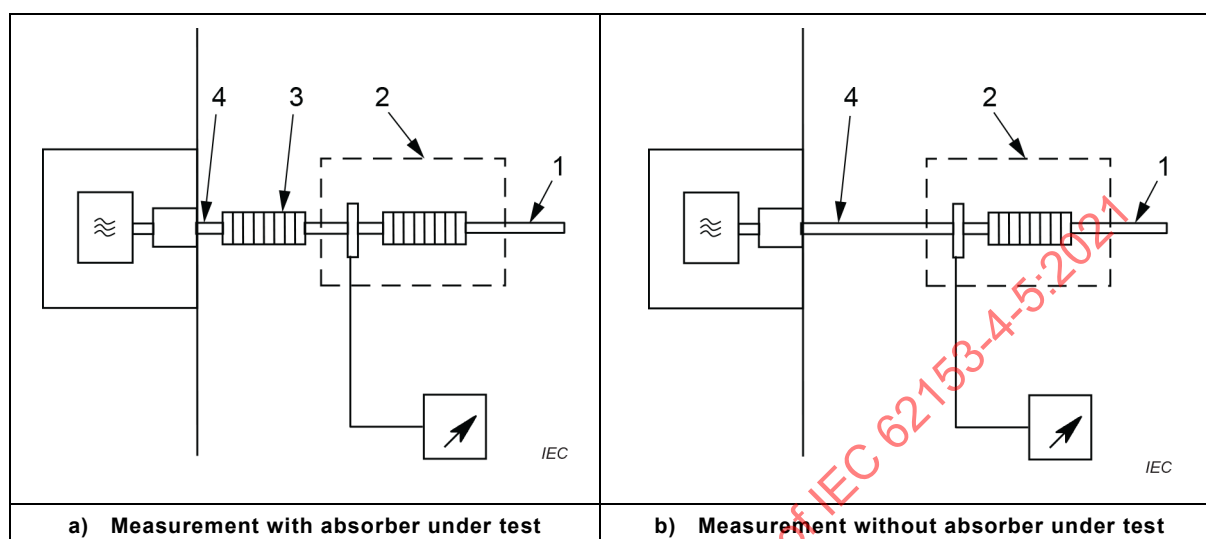
a_{balun} is the attenuation of the balun used (if applicable).

6.4 Insertion loss of the absorbers

The insertion loss of the absorbers shall ensure that waves reflected by the cable section behind the absorber are suppressed. Therefore, a value greater than 10 dB is necessary. The measuring arrangement is shown in Figure 10.

The absorber to be measured is to be positioned as close as possible to connection point 4 in Figure 8. The gap shall be much smaller than 1/4 of the wavelength in the secondary system at the highest frequency to be measured.

Directly behind the absorber under test, as viewed from the generator, the current in the outer cable conductor (using a coax cable) or cable screen (using a balanced cable) is measured with an absorbing clamp, see Figure 8a. The termination of the outer cable conductor or cable screen to the generator output is made as described in 6.2. The absorber under test is then removed, and, with the absorbing clamp in an unchanged position, the clamp current is measured again, see Figure 8b. The level difference is the insertion loss of the absorber.



Key

- 1 cable sample
- 2 absorbing clamp
- 3 absorber under test
- 4 connection of insulated outer conductor of coax cable or screen of balanced cable (sample 1) to inner conductor of generator

Figure 8 – Measurement of the insertion loss of an absorber

If the requirement cannot be met at low frequencies (under 100 MHz), the results at these frequencies shall be replaced by the results obtained at the higher frequencies for which the requirements are met. The extrapolation shall be performed using a horizontal straight line.

NOTE Insertion loss measurements of the absorbers are for information respectively for verification only and are not included in the expression of the test results.

6.5 Test set-up arrangement

The principle test set-up for measurement of the coupling attenuation of balanced cables or screening attenuation of unbalanced cables from the near end is shown in Figure 1 to Figure 3, Figure 10 and Figure 11. In measurements of unbalanced (coaxial) or quasi-coaxial cables, the balun transformer (or the TP connecting unit) is not included.

The test set-up for the measurement of the coupling attenuation or screening attenuation from the far end is shown on Figure 12 where the position of the absorbing clamp and the ferrite tube are interchanged. The direction of the absorbing clamp is changed in order to make the current transformer point towards the cable under test. Otherwise, near end and far end measurements are identical.

The cable under test is connected to the output terminal of the signal generator or balun (for balanced cables) or TP-connecting unit (in case of balunless coupling attenuation measurement). The principle of the balunless measurement is shown in Figure 3.

For balanced cables, care should be taken not to untwist pairs more than necessary.

Through the hole in the reflector plate, the cable is suspended, for instance using wire supports, with a minimum distance of 600 mm to any metallic or non-metallic objects. The absorbing clamp is placed on a non-metallic table with the sensor side maximum 50 mm from the edge of the table.

Well screened test leads (i.e. as a minimum, double screened) shall be used to connect the network analyser or signal generator to the balun (if applicable) or cable under test.

The screens of the feeding cable from the generator, the balun (if applicable) and the screen of the cable under test (if applicable) shall have low impedance connections to the plate (see Figure 9).

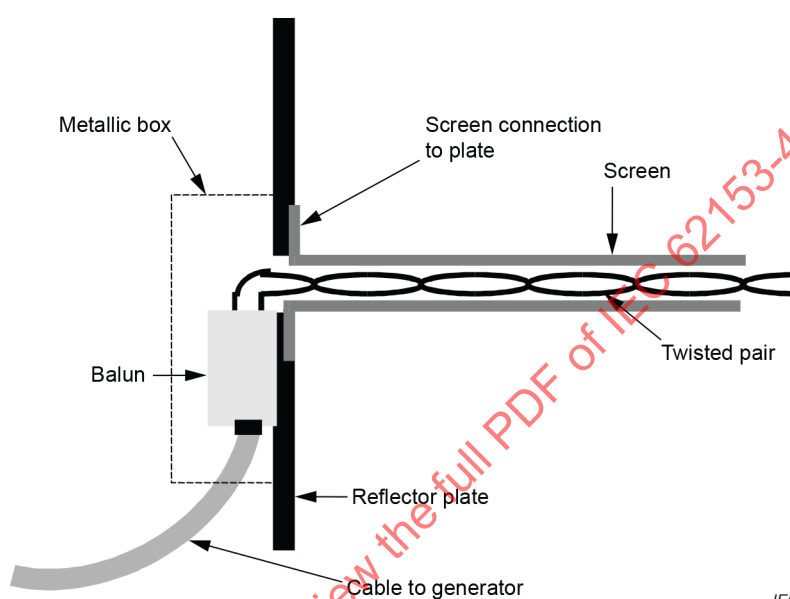


Figure 9 – Example of screen connections for screened twisted pair cable measurement

The absorber is placed on a non-metallic table positioned maximum 50 mm from the edge of the table. The distance between absorbing clamp and the absorber shall be in accordance with 5.4.1. The height of the table shall be 800 mm minimum.

The connection of the cable to the balun and the terminations at the far end shall be screened. At the near end, this shall be performed by using a metal box fixed to the ground plane.

The balun and the connecting cables shall be enclosed in this box and the screens of the cables shall be connected to the metal where they are fed into the box.

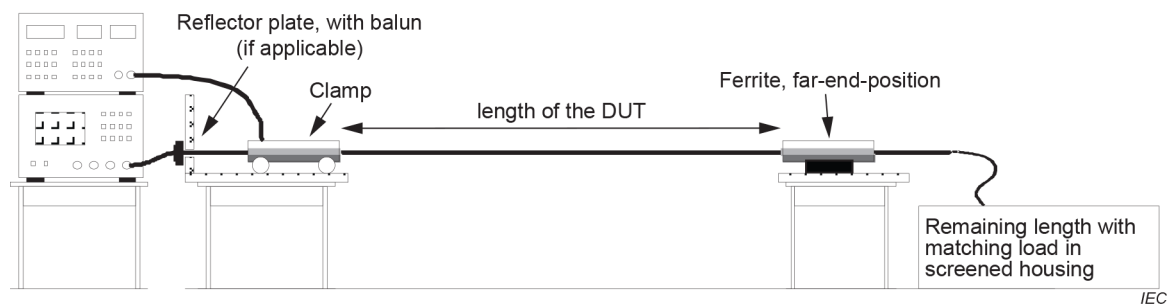
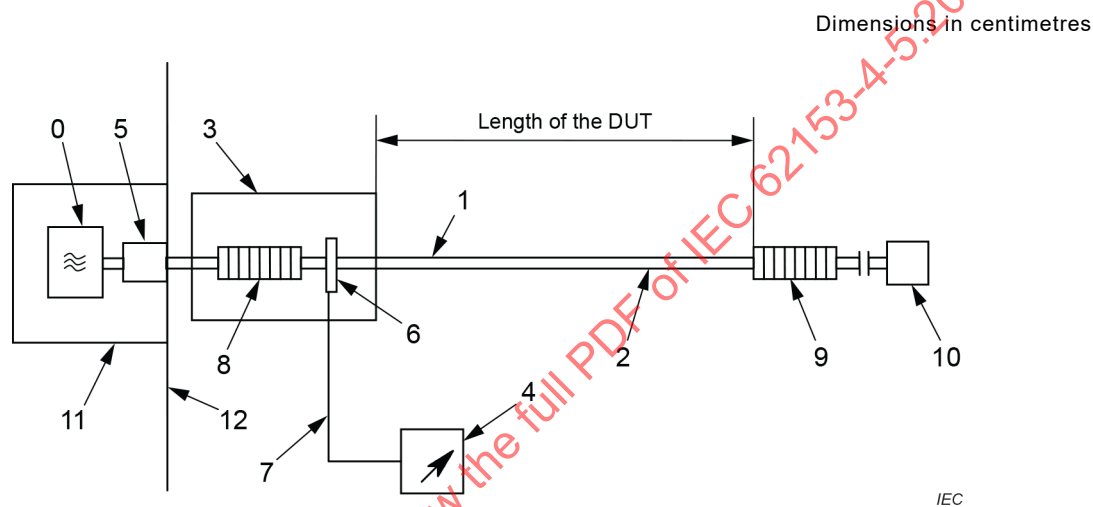


Figure 10 – Test set-up for near end measurement of symmetrical cable

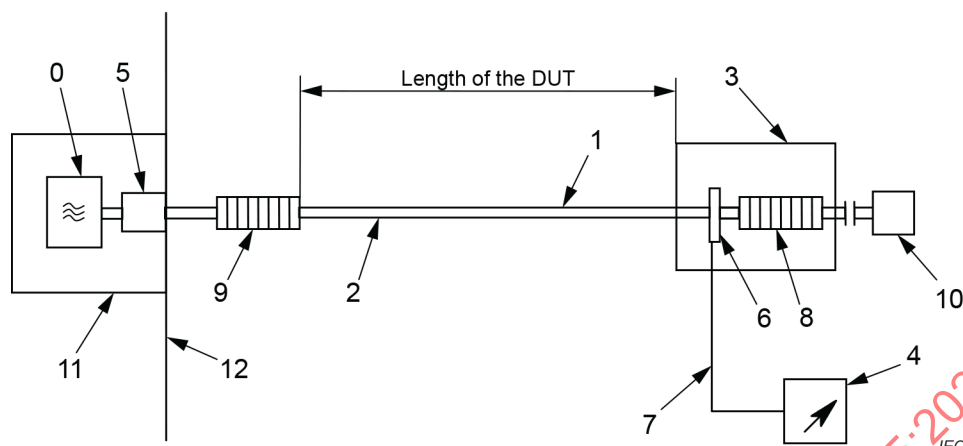


Key

- 0 signal generator, output impedance Z_0
- 1 cable under test, nominal characteristic impedance Z_1
- 2 outer circuit of cable under test, impedance Z_2
- 3 absorbing clamp, impedance Z_3
- 4 measuring receiver
- 5 balun (if applicable)
- 6 current transformer of the clamp
- 7 measuring receiver cable (use the same in measurement and calibration)
- 8 absorber (ferrite tube) of the clamp
- 9 absorber (or second clamp)
- 10 termination of the cable under test
- 11 shield of signal generator and balun if needed for very high dynamic range
- 12 reflector plate

Figure 11 – Measurement of surface wave at near end of sample, principle

Dimensions in centimetres



For the key to the figure, refer to Figure 11.

Figure 12 – Measurement of surface wave at far end of sample, principle

6.5.1 Test set-up verification

6.5.1.1 Determination of measurement sensitivity of the set-up

Before measurements are performed, the measurement sensitivity of the test set-up shall be determined.

This is done by measuring the coupling- or screening attenuation of a cable, which has a higher coupling- or screening attenuation (as high as possible) than the cable under test. The cable for the determination of the measurement sensitivity shall be of the same kind (coaxial or symmetrical) as the cable under test.

The measurement set-up shall be exactly as the measurement set-up for the cable under test. The measured coupling- or screening attenuation of this cable, used for the determination of the measurement sensitivity, defines the highest coupling- or screening attenuation, which can be measured by the set-up. This is also denoted as the noise floor of the set-up.

One example for a reliable way to determine the noise floor of the test set-up is to use a plain copper tube, which contains one or more twisted pairs, with differential and common mode termination. The theoretical coupling attenuation of this device is better than 100 dB over the entire frequency range. The measured coupling attenuation thus reflects precisely the quality of the connecting workmanship and the level of the residual noise floor.

6.5.1.2 Verification of test set-up calibration

For frequencies where the available absorbers do not comply with the requirement of 10 dB insertion loss, typically below 100 MHz, a higher uncertainty is expected.

By carefully bonding of screens at the reflector plate and termination of unused pairs, the uncertainty can be minimised.

6.6 Pulling force on cable

The maximum pulling force shall be 20 N.

7 Procedure

7.1 General

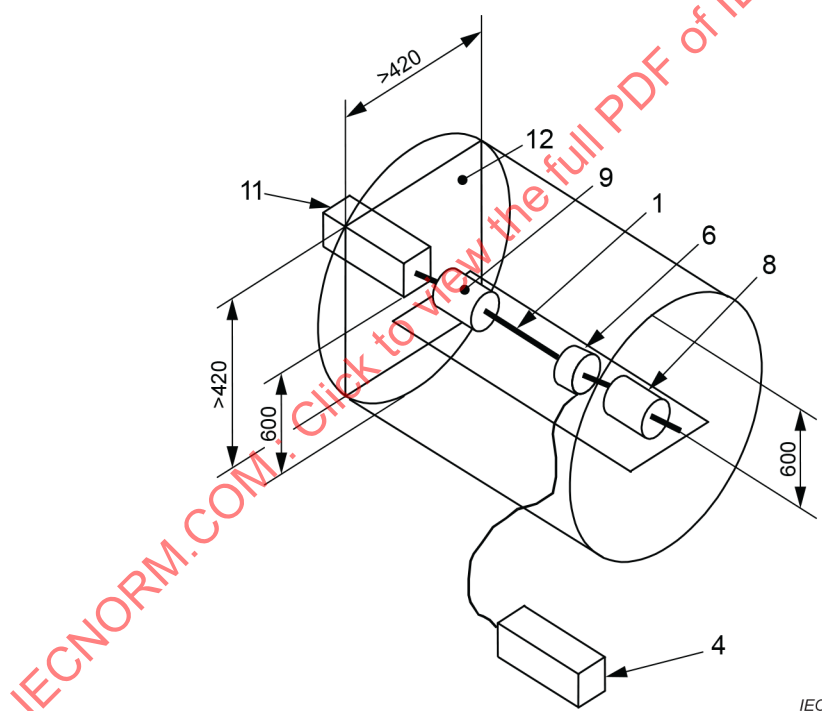
The surface current is measured on a swept frequency basis with a stationary clamp. Measurements are performed in both the near and far end position. The position at which the worst measurement occurs is used for the full measurement.

Coupling attenuation or screening attenuation varies significantly at a specific frequency, also for repeated measurements on the same cable after handling. Therefore, a worst value of coupling attenuation or screening attenuation shall be specified over a certain frequency interval. Any interval shall cover as a minimum 200 MHz in order to level out normal frequency variations.

For symmetrical cables, all pairs shall be individually measured.

The cable under test is placed in aerial span. No metallic object or person shall be closer than at least 600 mm from the cable under test in any direction that is normal to the axis of the cable, see Figure 13.

Dimensions in millimetres



For the key to the figure, refer to Figure 11.

Figure 13 – Shielding arrangements for a far end measurement

The absorbing clamp is placed as near as practically possible from the reflector plate for a near end measurement.

For a far end measurement, the absorbing clamp and the absorber shall be interchanged. In both cases, the current probe of the absorbing clamp shall be directed towards the absorber.

The quotient of the power of the output from the absorbing clamp and the output from the generator is measured in a linear frequency sweep over the whole specified frequency range and at the same frequency points as for the calibration procedure. The measurement shall be done either directly by a network analyser or with a discrete signal generator and measuring receiver.

7.2 Screening attenuation of coaxial respectively quasi coaxial cables

7.2.1 Matched conditions

7.2.1.1 General

If not known, the characteristic impedance of the DUT shall be measured according to Annex A.

The coaxial or quasi-coaxial cable under test shall be connected directly to the generator where the generator impedance and nominal cable impedance are equal. Otherwise, an impedance matching adapter shall be used.

The DUT shall be terminated at the far end with a well screened matching resistor with the characteristic impedance of the DUT.

NOTE An impedance matching adapter can be assembled in accordance with Annex A.

7.2.1.2 Expression of test results

The measured powers (see Figure 1) are P_{2n} (near end) and P_{2f} (far end) respectively. Considering only the worst case of measured power ($P_{2,n}$ or $P_{2,f}$), we have:

$$\begin{aligned} a_s &= 10 \log_{10} \left(\frac{P_1}{\max[P_{2n}, P_{2f}]} \right) - a_m + 20 \log_{10}(k_m) \\ &= \min \left(10 \log_{10} \left| \frac{P_1}{P_{2n}} \right|; 10 \log_{10} \left| \frac{P_1}{P_{2f}} \right| \right) - a_m + 20 \log_{10}(k_m) \\ &= \min(-20 \log_{10} |S_{21n}|; -20 \log_{10} |S_{21f}|) - a_m + 20 \log_{10}(k_m) \end{aligned} \quad (7)$$

where

P_1 is the power of the r.f. generator;

$P_{2n,f}$ is the power (measured with absorbing clamps) in the outer circuit at near respectively far end;

a_m is the attenuation in dB of the measuring set up;

k_m is the voltage gain of the impedance matching circuit;

(k_m according to Annex A, $k_m = 1$ if no impedance matching circuit is used);

$S_{21n,f}$ is the forward transfer scattering parameter at near respectively far end.

$|S_{21n}|, |S_{21f}|$ is directly read on a network analyser (i.e. the worst of the near end or far end measurements).

7.2.2 Unmatched conditions

7.2.2.1 General

The coaxial or quasi-coaxial cable under test shall be connected directly to the generator and shall be terminated at the far end with a well screened matching resistor with the characteristic impedance of the DUT. Impedance matching is not necessary.

The reflection loss (see Annex D) caused by the mismatch between the generator and DUT shall be taken into account. To do this in principle one should measure the (complex) scattering parameter S_{11} of the DUT. However, it has been shown that this measurement is prone to error due to the "poor" load resistance of the DUT. Thus, S_{11} is calculated according to equation (9).

7.2.2.2 Expression of test results

The measured powers (see Figure 1) are P_{2n} (near end) and P_{2f} (far end) respectively. Considering only the worst case of measured power (P_{2n} or P_{2f}), we have:

$$\begin{aligned} a_s &= 10 \log_{10} \left(\frac{P_1}{\max[P_{2n}; P_{2f}]} \right) - a_m - \Gamma_s \\ &= \min \left(10 \log_{10} \left| \frac{P_1}{P_{2n}} \right|; 10 \log_{10} \left| \frac{P_1}{P_{2f}} \right| \right) - a_m - \Gamma_s \\ &= \min \left(-20 \log_{10} |S_{21n}|; -20 \log_{10} |S_{21f}| \right) - a_m - \Gamma_s \end{aligned} \quad (8)$$

where

P_1 is the power of the r.f. generator;

$P_{2n,f}$ is the power (measured with absorbing clamps) in the outer circuit at near respectively far end;

a_m is the attenuation in dB of the measuring set up;

$S_{21n,f}$ is the forward transfer scattering parameter at near respectively far end;

Γ_s is the reflection loss¹ (see Annex D) caused by the mismatch between the generator and DUT

$$\begin{aligned} \Gamma_s &= 10 \log_{10} |1 - r^2| \\ &= -10 \log_{10} \left| 1 - \left(\frac{Z_1 - Z_0}{Z_1 + Z_0} \right)^2 \right| \end{aligned} \quad (9)$$

where

r is the reflection coefficient;

Z_0 is the characteristic impedance of the generator;

¹ Reflection loss shall not be confused with return loss or mismatch loss.

Z_1 is the characteristic impedance of the DUT.

$|S_{21n}|; |S_{21f}|$ is directly read on a network analyser (i.e. the worst of the near end or far end measurements).

7.3 Coupling attenuation of balanced cables

7.3.1 Coupling attenuation measurement with balun

The balanced (symmetrical) cable under test shall be connected to the generator via an impedance matching balun. The balun and the connecting cables shall be well screened and connected to the reflector plate.

The measured powers (see Figure 3) are P_{2n} (near end) and P_{2f} (far end), respectively. Considering only the worst case of measured power (P_{2n} or P_{2f}), we have:

$$\begin{aligned} a_c &= 10 \log_{10} \left(\frac{P_1}{\max[P_{2n}; P_{2f}]} \right) - a_m + 20 \log_{10}(k_m) \\ &= \min \left(10 \log_{10} \left| \frac{P_1}{P_{2n}} \right|; 10 \log_{10} \left| \frac{P_1}{P_{2f}} \right| \right) - a_m + 20 \log_{10}(k_m) \\ &= \min(-20 \log_{10} |S_{21n}|; -20 \log_{10} |S_{21f}|) - a_m + 20 \log_{10}(k_m) \end{aligned} \quad (10)$$

where

P_1 is the power of the r.f. generator;

$P_{2n,f}$ is the power (measured with absorbing clamps) in the outer circuit at near respectively far end;

a_m is the attenuation in dB of the measuring set up;

k_m is the voltage gain of the impedance matching circuit;

(k_m according to Annex A, $k_m = 1$ if no impedance matching circuit is used);

$S_{21n,f}$ is the forward transfer scattering parameter at near respectively far end

where

$|S_{21n}|; |S_{21f}|$ is directly read on a network analyser (i.e. the worst of the near end or far end measurements).

The coupling attenuation is expressed by a value A of an envelope line. The value A shall be deduced by drawing a curve derived from the following equations:

30 MHz to 100 MHz: A dB

100 MHz to 1 GHz: $(A - 20 \log_{10}(f/100))$ dB

where f is the frequency in MHz.

This curve shall be raised until the first peak of the measurement trace is intersected. The value A (in dB) is read where the curve intersects the Y axis, see also Annex C.

7.3.2 Balunless coupling attenuation measurement – Set-up

A full 3 port calibration of the VNA, or preferably a full 4 port calibration of the VNA shall be performed before starting the calibration measurements of the set-up according to Clause 6.

The principle of the balunless measurement of coupling attenuation with multiport VNA is shown in Figure 3.

The pair under test shall be connected to the two ports of the VNA via a TP connecting unit.

The TP-connecting unit and the connecting cables shall be well screened and connected to the reflector plate.

7.3.3 Expression of test results

The measured powers (see Figure 3) are P_{2n} (near end) and P_{2f} (far end) respectively. Considering only the worst case of measured power (P_{2n} or P_{2f}), we have:

$$\begin{aligned}
 a_c &= 10 \log_{10} \left(\frac{P_1}{\max[P_{2n}, P_{2f}]} \right) - a_m \\
 &= \min \left(10 \log_{10} \left| \frac{P_1}{P_{2n}} \right|; 10 \log_{10} \left| \frac{P_1}{P_{2f}} \right| \right) - a_m \\
 &= \min \left(-20 \log_{10} |S_{sd21n}|; -20 \log_{10} |S_{sd21f}| \right) - a_m
 \end{aligned} \tag{11}$$

where

P_1 is the differential mode power at the output of the TP-connecting unit;

$P_{2n,f}$ is the power (measured with absorbing clamps) in the outer circuit at near respectively far end;

a_m is the attenuation in dB of the measuring set up;

$S_{sd21n,f}$ is the forward transfer scattering parameter between the differential mode (power injection) and the single ended mode (power measurement with absorbing clamps).

$|S_{sd21n}|; |S_{sd21f}|$ is directly read on a network analyser (i.e. the worst of the near end or far end measurements).

The coupling attenuation is expressed by a value A of an envelope line. The value A shall be deduced by drawing a curve derived from the following equations:

30 MHz to 100 MHz: A dB

100 MHz to 1 GHz: $(A - 20 \log_{10} (f/100))$ dB

where f is the frequency in MHz.

This curve shall be raised until the first peak of the measurement trace is intersected. The value A (in dB) is read where the curve intersects the Y axis, see also Annex C.

8 Test report

The coupling or screening attenuation of the cable under test shall be at least 6 dB lower than the measurement sensitivity of the test set-up. Otherwise, the report shall state that the coupling or screening attenuation is better than the measured value of the cable under test.

In the case of coaxial cables, the screening attenuation is normally independent of frequency. The worst-case value corresponds to the maximum peak value over the entire frequency range.

In the case of symmetrical cables, the coupling attenuation normally decreases with frequency by approximately 20 dB per decade.

The inner pairs of a multi pair cable, which are enclosed entirely by other pairs over its full length, should not be measured. All other pairs shall be measured and the worst-case value for any pair shall be taken as the coupling attenuation of the cable.

If required in the relevant cable specification, a recording of a_c versus frequency scan in any specified full frequency ranges shall be reported.

9 Requirement

The results of the minimum coupling or screening attenuation shall comply with the value indicated in the relevant cable specification.

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62153-4-5:2021

Annex A (normative)

Determination of the impedance of the inner circuit

A.1 Determination of impedance of 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 risetime 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.

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

where

- f_{test} is the test frequency;
- c_0 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:

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

A.2 Impedance matching device if $Z_1 < 50 \Omega$

If the impedance of the inner system Z_1 and subsequently the load resistor R_1 is less than 50Ω (the generator impedance), the formulas below are used:

$$R_s = 50 \sqrt{1 - \frac{R_1}{50}} \quad (\text{A.3})$$

$$R_p = \frac{R_1}{\sqrt{1 - \frac{R_1}{50}}} \quad (\text{A.4})$$

where

- R_s is the series resistor;
- R_p is the parallel resistor.

The configuration is depicted in Figure A.1.

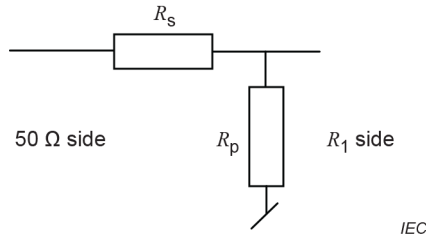


Figure A.1 – Impedance matching for $Z_1 < 50 \Omega$

The voltage gain k_m of the circuit is:

$$k_m = \frac{R_1 R_p}{R_1 R_p + R_p R_s + R_1 R_s} \quad (\text{A.5})$$

A.3 Impedance matching device if $Z_1 > 50 \Omega$

If the impedance of the inner system Z_1 and subsequently R_1 is greater than 50Ω (the generator impedance), the formulas below are used:

$$R_s = R_1 \sqrt{1 - \frac{50}{R_1}} \quad (\text{A.6})$$

$$R_p = \frac{50}{\sqrt{1 - \frac{50}{R_1}}} \quad (\text{A.7})$$

The configuration is depicted in Figure A.2.

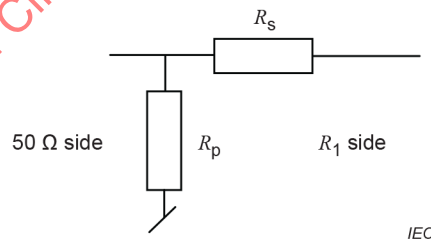


Figure A.2 – Impedance matching for $Z_1 > 50 \Omega$

The voltage gain, k_m , of the circuit is:

$$k_m = \frac{R_1}{R_s + R_1} \quad (\text{A.8})$$

Annex B (informative)

Example of a self-made impedance matching adapter

Figure B.1 and Figure B.2 show the attenuation and return loss of an 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.

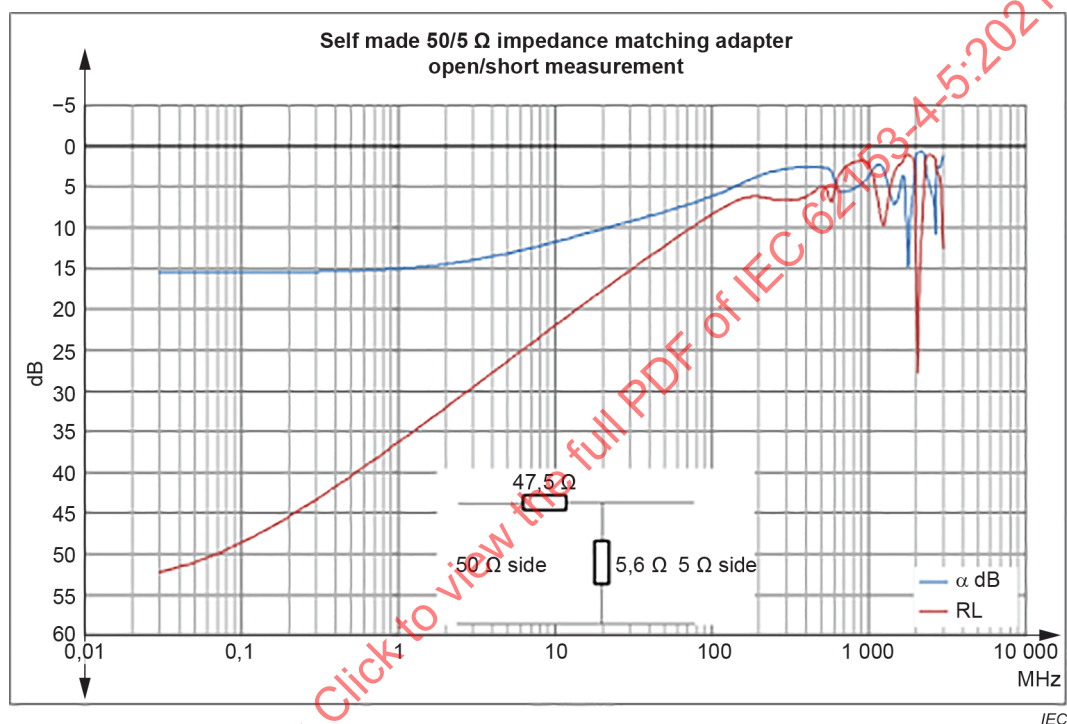


Figure B.1 – Attenuation and return loss

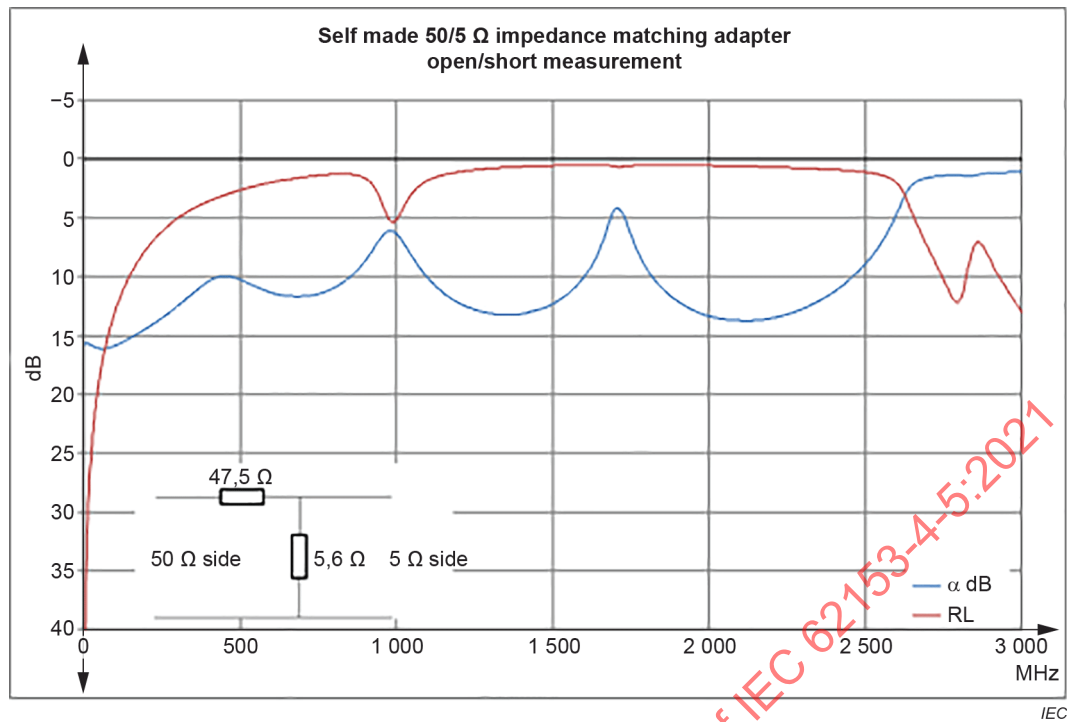


Figure B.2 – Attenuation and return loss

Annex C (informative)

Evaluation of test results for the coupling attenuation of balanced cables

C.1 Worst case

The worst case value, A dB, should be deduced by drawing a curve derived from the following:

$$\begin{array}{ll} 30 \text{ MHz to } 100 \text{ MHz:} & A \text{ dB} \\ 100 \text{ MHz to } 1 \text{ GHz:} & (A - 20 \log f/100) \text{ dB} \end{array}$$

where

f is the frequency in MHz.

This curve should be raised until the first peak is intersected. See examples in Figure C.1 to Figure C.5.

The value A dB is read where the curve intersects the Y axis.

C.2 Examples

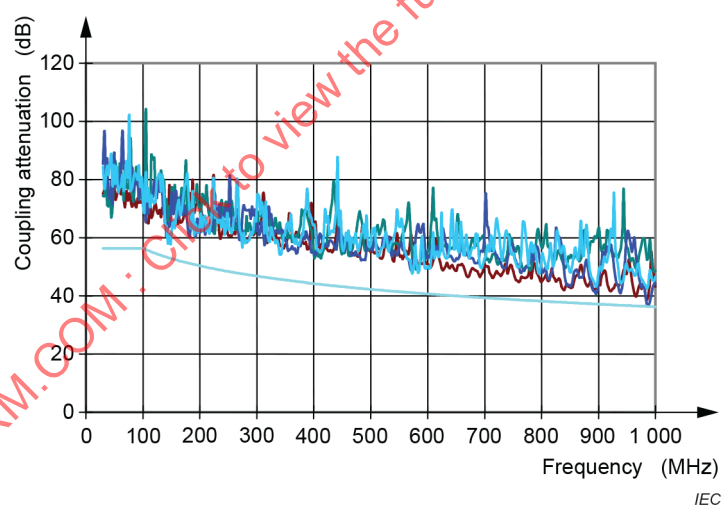


Figure C.1 – Example measurement of a foil screen symmetrical cable

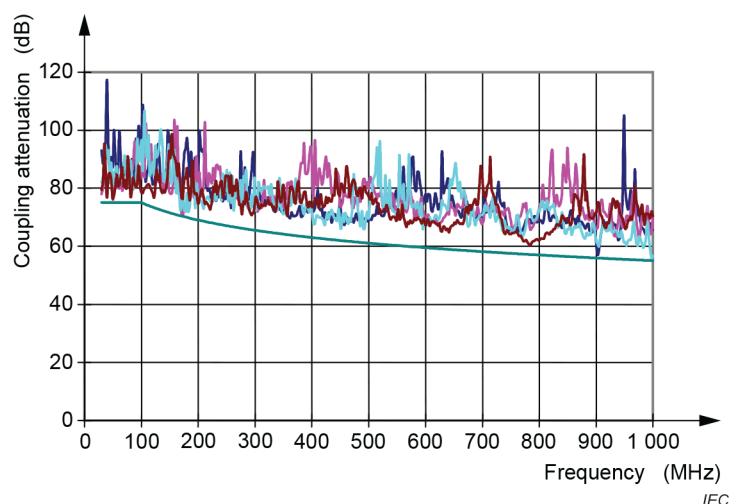


Figure C.2 – Example measurement of a well screened symmetrical cable

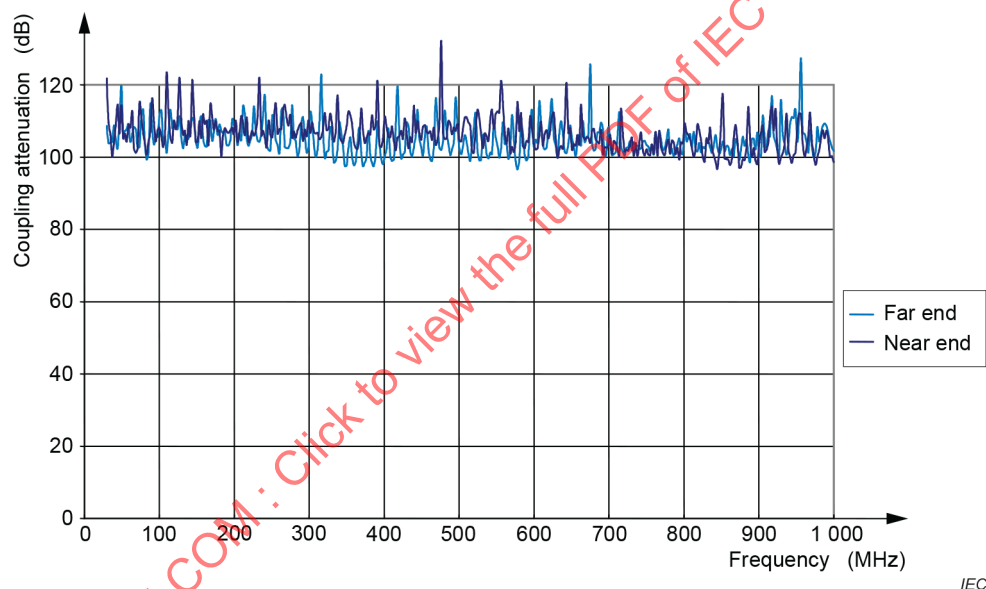


Figure C.3 – Example measurement of a well screened coaxial cable

An example measurement of a well screened coaxial cable is given in Figure C.3.

Two common measurement errors may lead to confusing test results and shall be avoided by repeating testing. Examples like uncharacteristic high values at low frequencies and uncharacteristic high values at a single frequency are shown in Figure C.4 and Figure C.5.

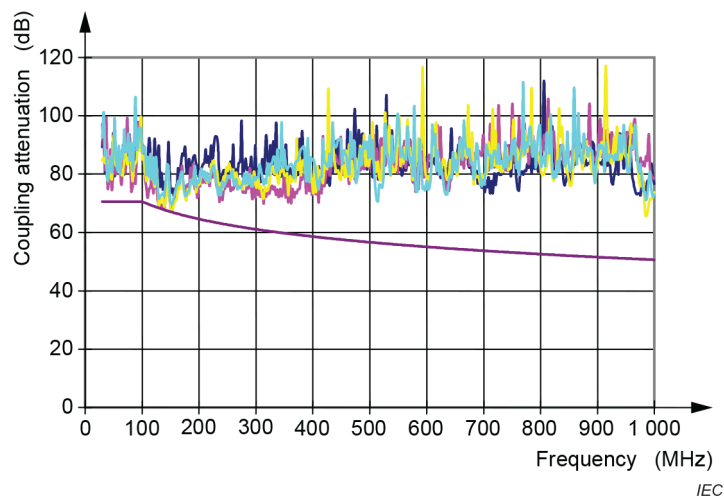


Figure C.4 – Frequent measurement error of a symmetrical cable

The measurement result should be critically evaluated by measurement of noise floor. Coupling attenuation could be masked by the noise floor of the measurement set-up.

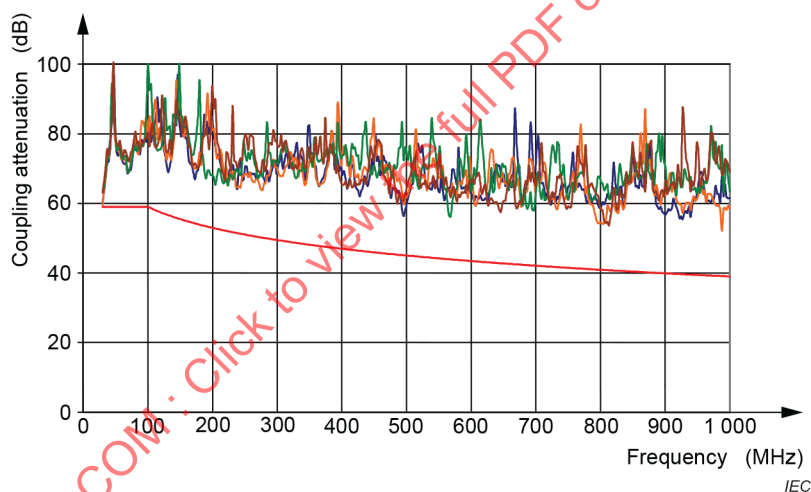


Figure C.5 – Frequent measurement error of a symmetrical cable

Annex D (informative)

Reflection loss of a junction

In case a source with an inner resistance R_i feeds a load with a different resistance R_L , power is lost compared to the matched case due to the mismatch. If the source is connected to the junction by a transmission line with a characteristic impedance $Z_1 = R_i$ and the load is connected to the junction by a transmission line with a characteristic impedance $Z_2 = R_L$, the equivalent circuit is the following (see Figure D.1):

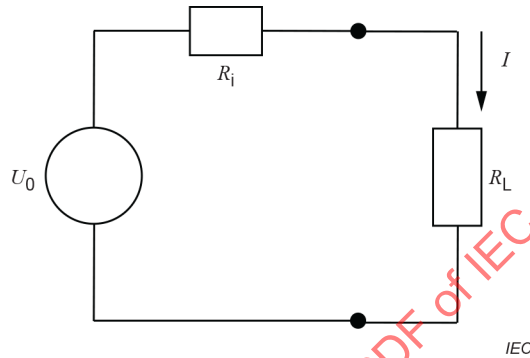


Figure D.1 – Source with R_i and R_L

The power in the load resistance R_L is given by:

$$P = I^2 R_L = \left(\frac{U_0}{R_i + R_L} \right)^2 R_L = U_0^2 \frac{R_L}{(R_i + R_L)^2} \quad (\text{D.1})$$

In case of impedance matching ($R_L = R_i$), the maximum power P_0 is fed:

$$P_0 = U_0^2 \frac{R_i}{4R_i^2} = \frac{1}{4} U_0^2 \frac{1}{R_i} \quad (\text{D.2})$$

The ratio of Formulas (D.1) and (D.2) describes the loss:

$$\frac{P}{P_0} = \frac{U_0^2 R_L}{(R_i + R_L)^2} \frac{4R_i}{U_0^2} = \frac{4R_L R_i}{(R_i + R_L)^2} \quad (\text{D.3})$$

The following auxiliary calculation introduces the reflection coefficient r :

$$1 - r^2 = 1 - \left(\frac{R_L - R_i}{R_L + R_i} \right)^2 = \frac{(R_L + R_i)^2}{(R_L + R_i)^2} - \frac{(R_L - R_i)^2}{(R_L + R_i)^2} =$$

$$\frac{R_L^2 + 2R_L R_i + R_i^2 - R_L^2 + 2R_L R_i - R_i^2}{(R_L + R_i)^2} = \frac{4R_L R_i}{(R_L + R_i)^2} \quad (\text{D.4})$$

Using Formula (D.4), the power ratio (Formula (D.3)) becomes:

$$\frac{P}{P_0} = 1 - r^2 \quad (\text{D.5})$$

The magnitude in dB therefore is (see also IEC TR 62152:2009, A.5.3)

$$\Gamma_s = -10 \log_{10} |1 - r^2| \quad (\text{D.6})$$

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62153-4-5:2021

Annex E (informative)

Mixed mode parameters

E.1 Definition of mixed mode *S*-parameters

The transmission characteristics of four poles or two ports, such as coaxial cables, may be described by the scattering parameter or abbreviated “*S*-parameter”. In matrix notation, it is written as illustrated in Figure E.1.

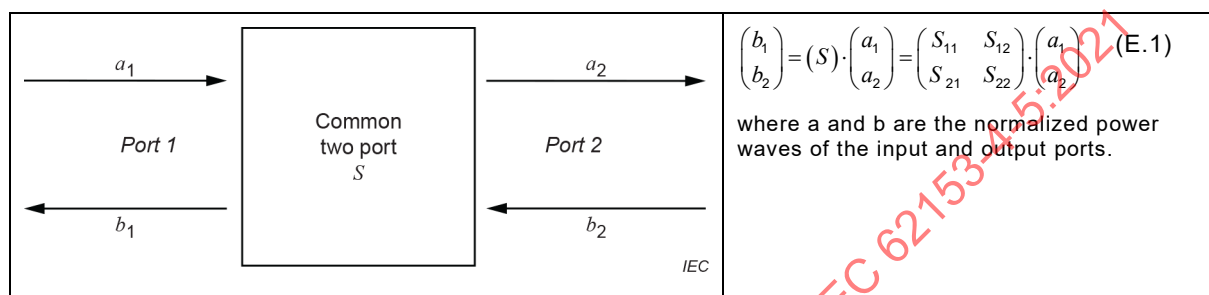


Figure E.1 – Common two-port network

The definition of the scattering matrix can be easily extended to arbitrary *N* gates. For a four-port, these result in the network illustrated in Figure E.2.

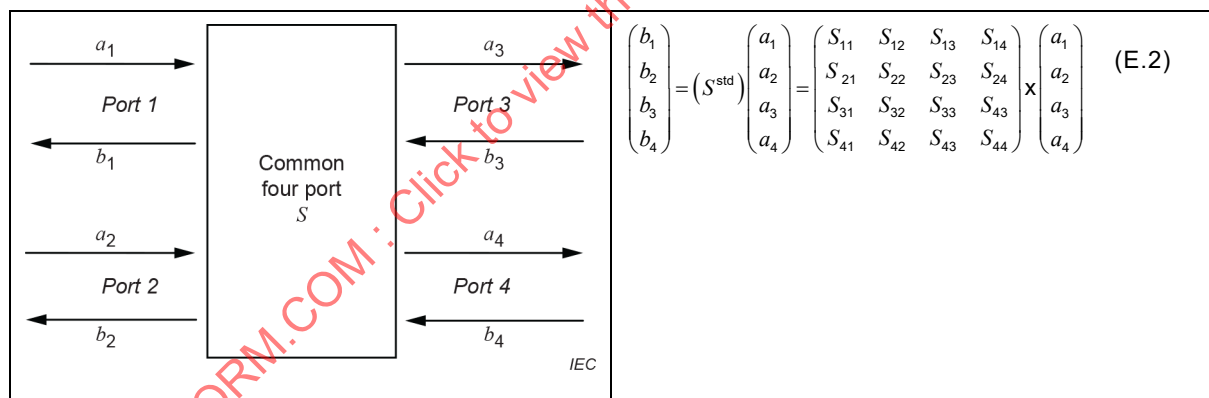


Figure E.2 – Common four port network

For the measurement of symmetrical two-ports, the physical ports of the multi-port VNA are combined into logical ports, as illustrated in Figure E.3.

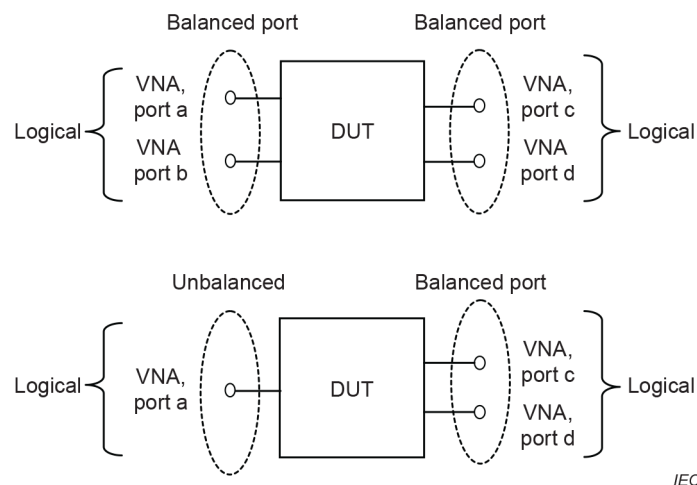
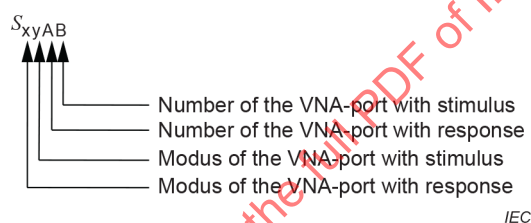


Figure E.3 – Physical and logical ports of VNA

The nomenclature in Figure E.4 is used.



Modus	s: Single ended (unbalanced, coaxial)
	d: Differential mode (balanced)
	c: Common mode

Figure E.4 – Nomenclature of mixed mode S -parameters

Accordingly, the S -parameters can be understood as ratios of power waves.

$$S_{xyAB} = \frac{\text{input signal at VNA - port A at modus } x}{\text{input signal at VNA - port B at modus } y} \quad (\text{E.3})$$

The conversion of the asymmetrical four-port scattering parameters S^{std} to mixed mode scattering parameters S^{mm} for a symmetrical two-port network is given by:

$$S^{\text{mm}} = M \cdot S^{\text{std}} \cdot M^{-1} \text{ where}$$

$$M = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{E.4})$$

$$S^{\text{mm}} = \begin{bmatrix} S_{\text{dd}11} & S_{\text{dd}12} \\ S_{\text{dd}21} & S_{\text{dd}22} \\ S_{\text{cd}11} & S_{\text{cd}12} \\ S_{\text{cd}21} & S_{\text{cd}22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_{\text{dc}11} & S_{\text{dc}12} \\ S_{\text{dc}21} & S_{\text{dc}22} \\ S_{\text{cc}11} & S_{\text{cc}12} \\ S_{\text{cc}21} & S_{\text{cc}22} \end{bmatrix} \quad (\text{E.5})$$

For the measurement of a two-port with an unbalanced port (single ended) and a balanced port, the following measurement configurations arise:

			Stimulus		
			Single ended	Differential mode	Common mode
			Logical port 1	Logical port 2	Logical port 2
Response	Single ended	Logical port 1	$S_{\text{ss}11}$	$S_{\text{sd}12}$	$S_{\text{sc}12}$
	Differential mode	Logical port 2	$S_{\text{ds}21}$	$S_{\text{dd}22}$	$S_{\text{dc}22}$
	Common mode	Logical port 2	$S_{\text{cs}21}$	$S_{\text{cd}22}$	$S_{\text{cc}22}$

IEC

Figure E.5 – Measurement configuration, single ended response

The measurement of the coupling attenuation corresponds to a stimulus in the differential mode and to a response in the unbalanced (coaxial) mode (single ended), i.e. a measurement of the S -parameter $S_{\text{sd}12}$, see Figure E.5. The measurement of the screening attenuation corresponds to a stimulus in common mode and to a response in the unbalanced (coaxial) mode (single ended), i.e. a measurement of the S -parameter $S_{\text{sc}12}$.

For the measurement of a two-port with two balanced ports, the following test configurations are obtained:

			Stimulus			
			Differential mode		Common mode	
			Logical port 1	Logical port 2	Logical port 1	Logical port 2
Response	Differential mode	Logical port 1	$S_{\text{dd}11}$	$S_{\text{dd}12}$	$S_{\text{dc}11}$	$S_{\text{dc}12}$
		Logical port 2	$S_{\text{dd}21}$	$S_{\text{dd}22}$	$S_{\text{dc}21}$	$S_{\text{dc}22}$
	Common mode	Logical port 1	$S_{\text{cd}11}$	$S_{\text{cd}12}$	$S_{\text{cc}11}$	$S_{\text{cc}12}$
		Logical port 2	$S_{\text{cd}21}$	$S_{\text{cd}22}$	$S_{\text{cc}21}$	$S_{\text{cc}22}$

IEC

Figure E.6 – Measurement configuration, differential mode response

The measurement of the attenuation of a balanced pair corresponds to a stimulus and a response in differential mode, i.e. a measurement of the S -parameter S_{dd21} , see Figure E.6. The measurement of the unbalance attenuation with stimulus in differential mode and common mode response corresponds at the near end with the S -parameter S_{cd11} or S_{cd21} when measured at the far end.

E.2 Reference impedance of VNA

When measuring with 4 port VNA with mixed mode parameters, a full calibration, e.g. with electronic calibration units, shall be achieved. The VNA ($Z_0 = 50 \, \Omega$ physical analyser ports) sets the default values reference impedances for the differential mode $Z_{0d} = 100 \, \Omega$ ($= 2 \times Z_0$) and for the common mode $Z_{0c} = 25 \, \Omega$ ($= Z_0/2$).

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62153-4-5:2021

Bibliography

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

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*

IEC 62153-4-9, *Metallic communication cable test methods – Part 4-9: Electromagnetic compatibility (EMC) – Coupling attenuation of screened balanced cables, triaxial method*

IEC TR 62152:2009, *Transmission properties of cascaded two-ports or quadripols – Background of terms and definitions*

MUND, B & PFEILER, C, Balunless measurement of coupling attenuation of screened balanced cables up to 2 GHz, IWCS, 64th International Cable Connectivity Symposium, October 05 -10, 2015, Atlanta, GA, USA

HÄHNER, T, MUND, B & SCHMID, T, History and recent trends of triaxial test procedure, Proceedings of the 67th IWCS Conference, Providence, RI, USA, October 2018

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62153-4-5:2021

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62153-4-5:2021

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	44
1 Domaine d'application	46
2 Références normatives	46
3 Termes et définitions	46
4 Principes de la méthode d'essai	47
5 Équipement	48
5.1 Généralités	48
5.2 Exigences du symétriseur	50
5.3 Exigences de l'unité de connexion à TP	51
5.4 Échantillon d'essai	52
5.4.1 Longueur du câble soumise à l'essai	52
5.4.2 Préparation de l'échantillon d'essai	52
6 Montage d'essai	54
6.1 Étalonnage du montage d'essai	54
6.2 Perte composite du montage d'essai	55
6.2.1 Généralités	55
6.2.2 Perte de réflexion de la pince absorbante dans le montage d'étalonnage	56
6.3 Affaiblissement du montage de mesure	56
6.4 Perte d'insertion des absorbeurs	57
6.5 Disposition du montage d'essai	58
6.5.1 Vérification du montage d'essai	61
6.6 Force de traction sur le câble	61
7 Procédure	61
7.1 Généralités	61
7.2 Affaiblissement d'écran des câbles coaxiaux ou quasi coaxiaux	62
7.2.1 Conditions adaptées	62
7.2.2 Conditions non adaptées	63
7.3 Affaiblissement de couplage des câbles symétriques	64
7.3.1 Mesurage de l'affaiblissement de couplage avec un symétriseur	64
7.3.2 Mesurage de l'affaiblissement de couplage sans symétriseur – Montage	65
7.3.3 Expression des résultats d'essai	66
8 Rapport d'essai	66
9 Exigences	67
Annexe A (normative) Détermination de l'impédance du circuit interne	68
A.1 Détermination de l'impédance du circuit interne	68
A.2 Dispositif d'adaptation d'impédance si $Z_1 < 50 \Omega$	68
A.3 Dispositif d'adaptation d'impédance si $Z_1 > 50 \Omega$	69
Annexe B (informative) Exemple d'adaptateur d'impédance maison	70
Annexe C (informative) Évaluation des résultats d'essai pour l'affaiblissement de couplage de câbles symétriques	72
C.1 Cas le plus défavorable	72
C.2 Exemples	72
Annexe D (informative) Perte de réflexion d'une jonction	75
Annexe E (informative) Paramètres en mode mixte	77
E.1 Définition des paramètres S en mode mixte	77

E.2 Impédance de référence du VNA.....	80
Bibliographie.....	81
Figure 1 – Mesurage de l'affaiblissement d'écran de l'extrémité la plus proche, principe.....	49
Figure 2 – Mesurage de l'affaiblissement de couplage de l'extrémité la plus proche avec un symétriseur.....	51
Figure 3 – Mesurage sans symétriseur de l'affaiblissement de couplage de l'extrémité la plus proche avec un VNA à plusieurs ports.....	52
Figure 4 – Terminaison d'un câble symétrique blindé.....	53
Figure 5 – Préparation de l'échantillon d'essai (câbles symétriques et multiconducteurs).....	54
Figure 6 – Montage d'étalonnage.....	55
Figure 7 – Terminaison pendant l'étalonnage.....	56
Figure 8 – Mesurage de la perte d'insertion d'un absorbeur.....	58
Figure 9 – Exemple de connexions d'écran pour mesurer un câble à paire torsadée blindée.....	59
Figure 10 – Montage d'essai pour le mesurage d'extrémité la plus proche de câble symétrique.....	60
Figure 11 – Mesurage des ondes de surface au niveau de l'extrémité la plus proche de l'échantillon, principe.....	60
Figure 12 – Mesurage des ondes de surface au niveau de l'extrémité la plus éloignée de l'échantillon, principe.....	61
Figure 13 – Disposition de blindage pour un mesurage d'extrémité la plus éloignée.....	62
Figure A.1 – Adaptation d'impédance pour $Z_1 < 50 \Omega$	69
Figure A.2 – Adaptation d'impédance pour $Z_1 > 50 \Omega$	69
Figure B.1 – Affaiblissement et affaiblissement de réflexion.....	70
Figure B.2 – Affaiblissement et affaiblissement de réflexion.....	71
Figure C.1 – Exemple de mesurage d'un câble symétrique à écran papier.....	72
Figure C.2 – Exemple de mesurage d'un câble symétrique correctement blindé.....	73
Figure C.3 – Exemple de mesurage d'un câble coaxial correctement blindé.....	73
Figure C.4 – Erreur de mesure fréquente d'un câble symétrique.....	74
Figure C.5 – Erreur de mesure fréquente d'un câble symétrique.....	74
Figure D.1 – Source avec R_i et R_L	75
Figure E.1 – Réseau commun à deux ports.....	77
Figure E.2 – Réseau à quatre ports communs.....	77
Figure E.3 – Ports physiques et logiques du VNA.....	78
Figure E.4 – Nomenclature des paramètres S en mode mixte.....	78
Figure E.5 – Configuration de mesure, réponse en mode une seule extrémité.....	79
Figure E.6 – Configuration de mesure, réponse en mode différentiel.....	79
Tableau 1 – Caractéristiques des performances du symétriseur (30 MHz à 1,0 GHz).....	50
Tableau 2 – Caractéristiques des performances du symétriseur (30 MHz à 2,4 GHz).....	51
Tableau 3 – Caractéristiques des performances de l'unité de connexion à TP (30 MHz à 2,4 GHz).....	52

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MÉTHODES D'ESSAI DES CÂBLES MÉTALLIQUES DE COMMUNICATION –

Partie 4-5: Compatibilité électromagnétique (CEM) – Affaiblissement d'écran ou de couplage – Méthode de la pince absorbante

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 62153-4-5 a été établie par le comité 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 2006. Cette édition constitue une révision technique.

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

- a) réorganisation des articles et des annexes;
- b) extension de la plage de fréquences à 2,4 GHz;
- c) application d'une procédure d'essai avec symétriseur virtuel et sans symétriseur avec un analyseur de réseau vectoriel (VNA) à plusieurs ports.

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

FDIS	Rapport de vote
46/819/FDIS	46/829/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.

Cette norme est destinée à être lue conjointement avec l'IEC TS 62153-4-1:2014 qui décrit le contexte théorique.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 62153-4, publiées sous le titre général: *Méthodes d'essai des câbles métalliques de communication – Compatibilité électromagnétique (CEM)* peut être consultée sur le site web de l'IEC.

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 "<http://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 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 ce document en utilisant une imprimante couleur.

MÉTHODES D'ESSAI DES CÂBLES MÉTALLIQUES DE COMMUNICATION –

Partie 4-5: Compatibilité électromagnétique (CEM) – Affaiblissement d'écran ou de couplage – Méthode de la pince absorbante

1 Domaine d'application

La méthode de la pince absorbante convient pour déterminer l'affaiblissement d'écran ou de couplage de câbles métalliques de communication dans la plage de fréquences de 30 MHz à 1 000 MHz (2 400 MHz), selon les performances de la pince. Il s'agit d'une variante de la méthode triaxiale de l'IEC 62153-4-4 ou de l'IEC 62153-4-9. Étant donné que le circuit externe de cette méthode de la pince absorbante n'est pas défini, les résultats d'essai obtenus dans différents lieux et laboratoires peuvent varier de plus de ± 6 dB.

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 60050-726, *Vocabulaire électrotechnique international (IEV) – Chapitre 726: Lignes de transmission et guides d'ondes*

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)

CISPR 16-1-3:2004, *Spécifications des méthodes et des appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Partie 1-3: Appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Matériels auxiliaires – Puissance perturbatrice*

UIT-T G.117:1996, *Dissymétrie par rapport à la terre du point de vue de la transmission*

UIT-T O.9:1999, *Montages pour la mesure du degré de dissymétrie par rapport à la terre*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions de l'IEC 60050-726 et l'IEC TS 62153-4-1, ainsi que les suivants s'appliquent.

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

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

3.1

câble quasi coaxial

construction de câble avec deux ou plusieurs conducteurs internes, entourés d'écrans de câble qui servent de conducteur externe, reliés ensemble aux deux extrémités

Note 1 à l'article: Les câbles symétriques ou multiconducteurs blindés deviennent un système quasi coaxial en court-circuitant les éléments conducteurs internes.

4 Principes de la méthode d'essai

Le câble (pour les câbles dissymétriques ou coaxiaux) ou une paire de câbles (pour les câbles symétriques) est alimenté(e) avec la puissance P_1 . En raison du couplage électromagnétique entre le câble ou la paire de câbles et l'environnement, des ondes de surface se propagent dans les deux sens le long de la surface de l'écran (ou la surface du câble lorsqu'il n'y a pas d'écran). Un transformateur de courant de surface est utilisé pour prélever la puissance des ondes de surface en association avec un absorbeur (généralement un tube de ferrite) pour supprimer les courants en mode commun indésirables. Ces types d'association sont connus sous le nom de pinces absorbantes.

En se fondant sur les valeurs de crête des courants de surface mesurés, il est possible de calculer la puissance de crête maximale, $P_{2\max}$, dans le système secondaire formé par l'écran du câble (ou le câble même) et l'environnement.

Le rapport logarithmique des puissances P_1 et $P_{2\max}$ est appelé affaiblissement d'écran ou de couplage. Il s'exprime en dB.

Dans le cas des mesurages sans symétriseur, le rapport logarithmique des puissances P_{diff} et $P_{\text{com,max}}$ est appelé affaiblissement de couplage.

Pour les câbles dissymétriques (coaxiaux) ou quasi coaxiaux, le résultat du mesurage est l'affaiblissement d'écran. Pour les câbles symétriques, deux cas doivent être pris en considération:

- la puissance perturbatrice est délivrée en mode différentiel: le résultat du mesurage est l'affaiblissement de couplage, qui est le résultat combiné de l'affaiblissement d'écran et de l'affaiblissement dû à la dissymétrie;
- la puissance perturbatrice est délivrée en mode commun: le résultat du mesurage est l'affaiblissement d'écran.

Pour mesurer l'affaiblissement du couplage, un signal symétrique destiné à alimenter la paire symétrique en essai est exigé. Cela peut être réalisé à l'aide d'un VNA à deux ports et d'un symétriseur pour transformer le signal dissymétrique du générateur (généralement 50 Ω) en signal symétrique (généralement 100 Ω) du câble symétrique.

Une autre option est la méthode d'essai "sans symétriseur" qui utilise un analyseur de réseau vectoriel à quatre ports ou un équipement d'essai similaire. La méthode préférentielle est la méthode sans symétriseur (symétriseur virtuel).

Le courant de surface est mesuré sur la base d'un balayage de fréquence avec une pince stationnaire.

En prenant en compte l'effet maximal des ondes de surface de l'extrémité la plus proche ou de l'extrémité la plus éloignée, l'affaiblissement de couplage a_c (ou l'affaiblissement d'écran a_S) est défini par:

$$a_c = 10 \log_{10} \left(\frac{P_1}{\max[P_{2n}, P_{2f}]} \right) \quad (1)$$

où

P_1 est la puissance d'entrée du circuit interne de l'échantillon;

P_{2n} est la puissance de crête maximale de couplage de l'extrémité la plus proche;

P_{2f} est la puissance de crête maximale de couplage de l'extrémité la plus éloignée.

L'IEC TS 62153-4-1 décrit de manière détaillée l'arrière-plan physique du mesurage de l'affaiblissement d'écran et de l'affaiblissement de couplage.

5 Équipement

5.1 Généralités

Le montage d'essai doit avoir un bruit de fond de 6 dB, ou meilleur, par rapport à la valeur lue de l'équipement exigée pour que la valeur soit prise en compte. Cela signifie, par exemple, qu'un essai avec un équipement dont la plage dynamique est supérieure ou égale à 115 dB est exigé pour mesurer l'affaiblissement de couplage ou l'affaiblissement d'écran jusqu'à environ 90 dB, lorsque l'affaiblissement total d'une pince absorbante et d'un symétriseur normal ou d'une unité de connexion à paires torsadées (TP - *twisted pair*) (le cas échéant) est pris en considération. L'exactitude des équipements doit être supérieure à ± 1 dB.

Il est recommandé d'effectuer les mesurages des valeurs élevées d'affaiblissement d'écran et d'affaiblissement de couplage, en général supérieures à 80 dB, dans une pièce blindée (par exemple, une chambre anéchoïque).

L'équipement doit être capable de mesurer l'affaiblissement d'écran ou l'affaiblissement de couplage dans toute la plage de fréquences de 30 MHz à 1 GHz et/ou de 500 MHz à 2,4 GHz, sauf indication contraire dans la spécification de câble concernée. Il est recommandé d'utiliser la procédure d'essai sans symétriseur pour les mesurages à des fréquences supérieures à 1 GHz.

Le montage de mesure peut être effectué en utilisant un analyseur de réseau ou, en variante, un générateur de signaux discrets et un récepteur de mesure sélectif.

Pour mesurer l'affaiblissement de couplage, mais aussi pour mesurer l'affaiblissement dû à la dissymétrie, un signal différentiel est exigé. Il peut être par exemple généré à l'aide d'un symétriseur qui convertit le signal dissymétrique d'un analyseur de réseau de 50 Ω en signal symétrique, voir la Figure 1 et la Figure 2.

En variante, un signal symétrique peut être obtenu en utilisant un analyseur de réseau vectoriel (VNA - *vector network analyser*) ayant deux générateurs avec un déplacement de phase de 180°. Une autre alternative consiste à procéder au mesurage avec un VNA à plusieurs ports (symétriseur virtuel). Les propriétés des paires symétriques sont déterminées mathématiquement à partir des valeurs mesurées de chaque conducteur individuel de la paire par rapport à la terre de référence. La plage de fréquences couverte pour la détermination des caractéristiques de réflexion et de transmission des paires symétriques n'est plus limitée par le symétriseur mais par le VNA et la technique de connexion.

Une définition détaillée des paramètres S en mode mixte pour des mesurages avec un symétriseur virtuel est donnée à l'Annexe E.

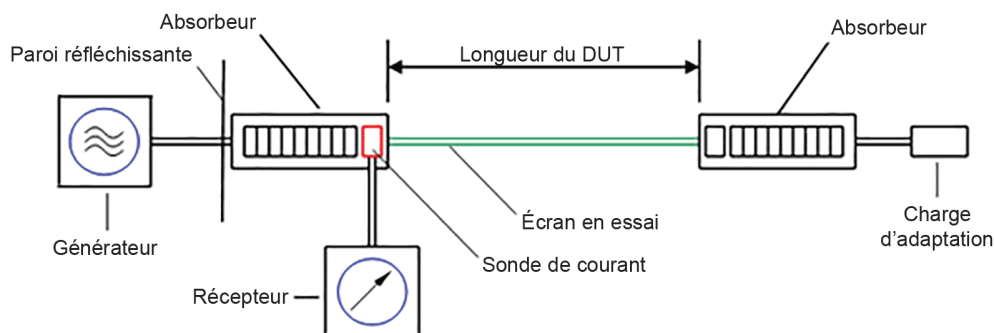
NOTE Les adaptateurs d'impédance (Annexe B) et la prise en compte de la perte par désadaptation (Annexe D) peuvent être remplacés par les fonctions d'étalonnage et de dissociation des montages, qui sont incluses dans les mesurages de VNA à plusieurs ports.

Une plaque de réflexion métallique verticale dont la hauteur et la largeur doivent toutes deux être d'au moins 800 mm doit être placée directement devant le générateur. La plaque doit avoir un trou central pour accueillir le câble en essai.

Le montage de mesure pour la puissance émise maximale au niveau de l'extrémité la plus proche (en utilisant des instruments discrets) est représenté de la Figure 1 à la Figure 3 et est constitué:

- a) d'une pince absorbante avec une plage de fréquences minimale comprise entre 30 MHz et 1 GHz, voir la CISPR 16-1-3:2004. Une autre pince absorbante peut être exigée si des mesurages sont effectués en dehors de cette plage de fréquences, par exemple de 500 MHz à 2,4 GHz;
 - b) d'un absorbeur à ferrite avec une plage de fréquences minimale comprise entre 30 MHz et 1 GHz et un affaiblissement minimal de 10 dB;
 - c) d'une plaque de réflexion (800 mm × 800 mm minimum);
 - d) d'un générateur de signaux ou un analyseur de réseau vectoriel avec la même impédance caractéristique que le port dissymétrique du symétriseur (le cas échéant) couplé par un amplificateur de puissance, si cela est nécessaire, pour les exigences de grandes plages dynamiques;
- ou en variante:
- e) d'un récepteur avec un affaiblisseur à gradins étalonné ou un analyseur de réseau vectoriel, couplé par un amplificateur à faible bruit, si cela est nécessaire, pour les exigences de grandes plages dynamiques;
 - f) d'un analyseur de réseau vectoriel à 4 ports ou un équipement d'essai similaire. Une telle configuration permet d'effectuer des essais avec des stimuli et des réponses en mode commun ou en mode différentiel;
 - g) d'un kit d'étalonnage électronique dans le cas d'un analyseur de réseau vectoriel à 4 ports;
 - h) d'une unité de connexion à paires torsadées (TP) pour raccorder le VNA à plusieurs ports au DUT symétrique;
 - i) d'une imprimante;
 - j) des réseaux de résistance de charge qui terminent les impédances nominales caractéristiques en mode commun et en mode différentiel (le cas échéant);
 - k) si les équipements ne respectent pas les exigences pour le niveau de bruit de fond, lorsque des câbles symétriques et correctement blindés sont mesurés, la plage dynamique du montage peut être améliorée à l'aide d'un amplificateur externe. L'amplificateur doit être correctement blindé et le boîtier doit être connecté à la plaque de réflexion.

Le gain de l'amplificateur doit être mesuré et corrigé dans les résultats d'essai. Lorsque le gain de l'amplificateur est mesuré, des précautions doivent être prises pour ne pas saturer l'amplificateur. Pour ne pas surcharger l'équipement, un affaiblisseur peut être nécessaire devant l'entrée de réception pendant le mesurage. L'affaiblissement de cet affaiblisseur doit être mesuré et utilisé pour corriger le résultat.



IEC

Figure 1 – Mesurage de l'affaiblissement d'écran de l'extrémité la plus proche, principe

5.2 Exigences du symétriseur

Le mesurage de câbles symétriques exige un symétriseur pour convertir l'impédance primaire de la sortie dissymétrique provenant du générateur de signaux en impédance caractéristique nominale de la paire de câbles symétriques en essai. Les exigences minimales du symétriseur sont spécifiées dans le Tableau 1 (jusqu'à 1 GHz) et dans le Tableau 2 (jusqu'à 2,4 GHz). Il est recommandé d'utiliser la procédure d'essai sans symétriseur pour les mesurages à des fréquences supérieures à 1 GHz.

Étant donné que le symétriseur limite la plage dynamique des mesurages d'affaiblissement de couplage, son affaiblissement doit être maintenu aussi bas que possible.

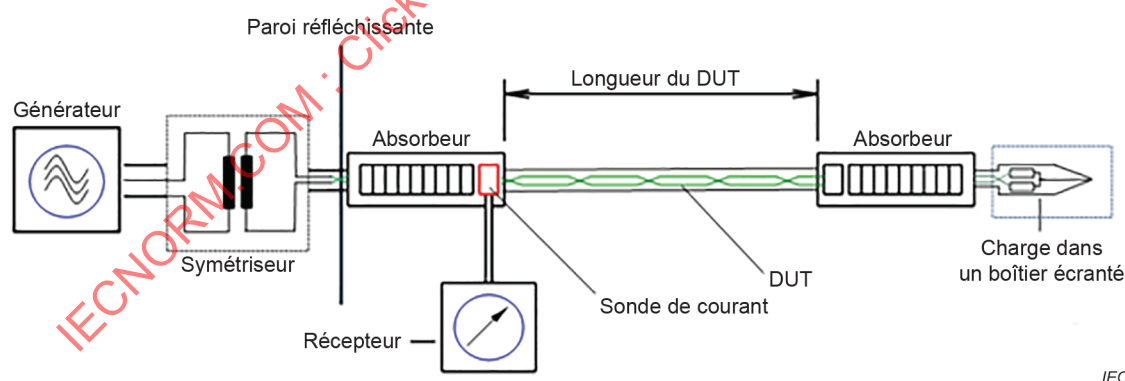
Tableau 1 – Caractéristiques des performances du symétriseur (30 MHz à 1,0 GHz)

Paramètre	Valeur
Impédance, primaire ^a	50 Ω (dissymétrique)
Impédance, secondaire ^b	100 Ω ou 150 Ω (symétrique)
Perte d'insertion ^c (y compris les affaiblisseurs d'adaptation, le cas échéant)	≤ 10 dB
Affaiblissement de réflexion, bidirectionnel	≥ 6 dB
Puissance assignée	Pour s'adapter à la puissance du générateur et de l'amplificateur (le cas échéant)
Équilibre du signal de sortie ^d	≥ 50 dB de 30 MHz à 100 MHz ≥ 30 dB de 100 MHz à 1 GHz
^a L'impédance primaire peut être différente, si cela est nécessaire pour s'adapter aux sorties de l'analyseur autres que 50 Ω . ^b Les sorties symétriques des symétriseurs d'essai doivent être adaptées à l'impédance nominale de la paire de câbles symétriques. Une résistance de 100 Ω doit être utilisée pour une terminaison de câbles de 120 Ω . L'erreur générée par la désadaptation entre un système d'essai de 100 Ω et un câblage de 120 Ω est négligeable. ^c L'affaiblissement opérationnel d'un symétriseur doit être soustrait mathématiquement des 3 mesurages d'affaiblissement opérationnel avec 3 symétriseurs dos à dos. ^d Mesuré selon les Recommandations UIT-T G.117 et UIT-T O.9.	

Tableau 2 – Caractéristiques des performances du symétriseur (30 MHz à 2,4 GHz)

Paramètre	Valeur
Impédance, primaire ^a	50 Ω (dissymétrique)
Impédance, secondaire ^b	100 Ω (symétrique)
Perte d'insertion ^c (y compris les affaiblisseurs d'adaptation, le cas échéant)	$\leq 2,0$ dB (30 MHz à 2 000 MHz) $\leq 3,0$ dB (2 000 MHz à 2 400 MHz)
Affaiblissement de réflexion, bidirectionnel	≥ 20 dB (30 MHz à 2 000 MHz), ≥ 15 dB (2 000 MHz à 2 400 MHz)
Affaiblissement de réflexion en mode commun	≥ 20 dB (30 MHz à 400 MHz), ≥ 15 dB (400 MHz à 2 000 MHz) ≥ 12 dB (2 000 MHz à 2 400 MHz)
Puissance minimale	0,1 Watt, (30 MHz à 2 400 GHz)
Équilibre du signal longitudinal	≥ 60 dB (30 MHz à 100 MHz), ≥ 50 dB (100 MHz à 2 000 MHz) ≥ 40 dB (2 000 MHz à 2 400 MHz)
Équilibre du signal de sortie ^d	≥ 50 dB (30 MHz à 2 000 MHz), ≥ 40 dB (2 000 MHz à 2 400 MHz)
Rejet en mode commun	≥ 50 dB (30 MHz à 2 000 MHz), ≥ 40 dB (2 000 MHz à 2 400 MHz)
^a L'impédance primaire peut être différente, si cela est nécessaire pour s'adapter aux sorties de l'analyseur autres que 50 Ω . ^b Les sorties symétriques des symétriseurs d'essai doivent être adaptées à l'impédance nominale de la paire de câbles symétriques. Une résistance de 100 Ω doit être utilisée pour une terminaison de câbles de 120 Ω . ^c L'affaiblissement opérationnel d'un symétriseur doit être soustrait mathématiquement des 3 mesurages d'affaiblissement opérationnel avec 3 symétriseurs dos à dos. ^d Mesuré selon les Recommandations UIT-T G.117 et UIT-T O.9.	

NOTE La procédure préférentielle pour les mesurages à des fréquences supérieures à 1 GHz est la procédure d'essai sans symétriseur.



IEC

Figure 2 – Mesurage de l'affaiblissement de couplage de l'extrémité la plus proche avec un symétriseur

5.3 Exigences de l'unité de connexion à TP

Une unité de connexion à TP est exigée lors des mesurages sans symétriseur et avec "symétriseur virtuel". Voir le Tableau 3.

**Tableau 3 – Caractéristiques des performances de l'unité de connexion à TP
(30 MHz à 2,4 GHz)**

Paramètre	Valeur
Impédance caractéristique, côté primaire (une seule extrémité) ^a	50 Ω
Impédance caractéristique, côté secondaire (différentiel) ^a	1 × 100 Ω (différentiel)
Affaiblissement de réflexion, mode différentiel ^b	> 20 dB
Affaiblissement, mode différentiel ^c	< 0,3 dB
Affaiblissement dû à la dissymétrie (TCTL) ^d	> 60 dB-10*log (f), 40 dB max.
^a Deux ports avec des impédances à une seule extrémité de 50 Ω génèrent une impédance en mode commun de 25 Ω et une impédance en mode différentiel de 100 Ω. ^b À mesurer par exemple avec un analyseur de réseau en mode mixte à 4 ports. Un port logique est généré par la combinaison de deux ports à une seule extrémité. Un deuxième port logique est généré par la combinaison de deux autres ports à une seule extrémité. La valeur absolue en dB du paramètre S, S_{dd11}, représente alors l'affaiblissement de réflexion du mode différentiel. ^c Avec le montage d'essai conforme à ^b, la valeur absolue en dB du paramètre S, S_{dd21}, représente alors l'affaiblissement du mode différentiel. ^d Avec le montage d'essai conforme à ^b, la valeur absolue en dB du paramètre S, S_{cd21}, représente alors l'affaiblissement dû à la dissymétrie (TCTL).	

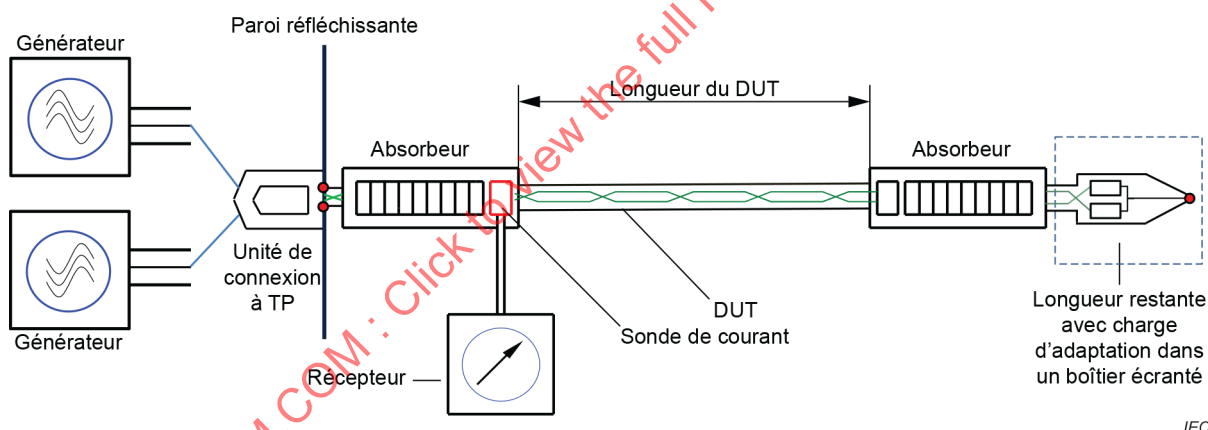


Figure 3 – Mesurage sans symétriseur de l'affaiblissement de couplage de l'extrémité la plus proche avec un VNA à plusieurs ports

5.4 Échantillon d'essai

5.4.1 Longueur du câble soumise à l'essai

La longueur effective de l'éprouvette d'essai est limitée par la pince absorbante et le tube de ferrite, comme cela est représenté à la Figure 3. La longueur d'essai minimale dépend de la fréquence la plus basse à mesurer. Pour la fréquence la plus basse de 30 MHz, la longueur minimale doit être de 600 cm + 2 × la longueur de l'absorbant ± 10 cm.

5.4.2 Préparation de l'échantillon d'essai

5.4.2.1 Généralités

Si le trou de la pince absorbante est plus petit que le diamètre de l'éprouvette d'essai, il doit être étendu aux deux extrémités par des lignes d'indication plus petites. Les lignes d'extension doivent avoir un bien meilleur affaiblissement d'écran que l'éprouvette d'essai. Si possible, il convient d'utiliser des lignes avec un conducteur externe tubulaire. L'impédance caractéristique

et la vitesse de propagation des câbles d'extension doivent correspondre aux caractéristiques du câble en essai (même type d'isolation, par exemple, mousse isolante, isolation solide).

5.4.2.2 Câbles symétriques

La longueur totale du câble doit être supérieure ou égale à 100 m. La longueur du câble soumise à l'essai (de la pince absorbante à l'absorbeur) doit être conforme à 5.4.1.

Une terminaison en mode différentiel est exigée pour chaque paire au niveau de l'extrémité la plus proche et de l'extrémité la plus éloignée du câble.

$$R_1 = R_{DM} = \frac{Z_{diff}}{2} \quad (2)$$

La terminaison en mode commun doit être de 25 Ω , c'est-à-dire deux résistances de valeur R_{DM} en série dont le point central est relié à la terre, voir la Figure 4.

NOTE Les VNA modernes en mode mixte utilisent une impédance de générateur et de récepteur de 25 Ω comme valeur par défaut pour le mode commun (voir l'Article E.2).

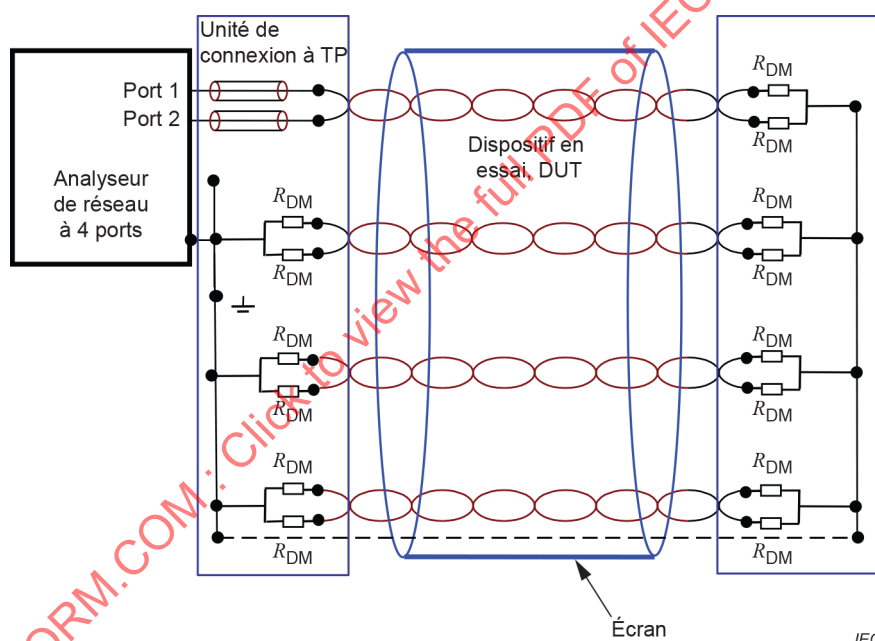


Figure 4 – Terminaison d'un câble symétrique blindé

5.4.2.3 Préparation du mesurage de l'affaiblissement d'écran pour les câbles coaxiaux ou quasi coaxiaux

Il n'est pas nécessaire que la longueur totale du câble soit plus grande que la longueur du câble soumise à l'essai plus la longueur de la pince et de l'absorbeur. La longueur du câble soumise à l'essai (de la pince absorbante à l'absorbeur) doit être conforme à 5.4.1.

Les câbles symétriques blindés ou câbles multiconducteurs blindés sont traités comme des câbles quasi coaxiaux. Ainsi, tous les conducteurs (de toutes les paires le cas échéant) doivent être connectés les uns aux autres aux deux extrémités. Tous les écrans, y compris ceux des paires ou des quartes blindées individuellement, doivent être connectés les uns aux autres aux deux extrémités. Les écrans doivent être connectés sur toute la circonférence (voir la Figure 5).

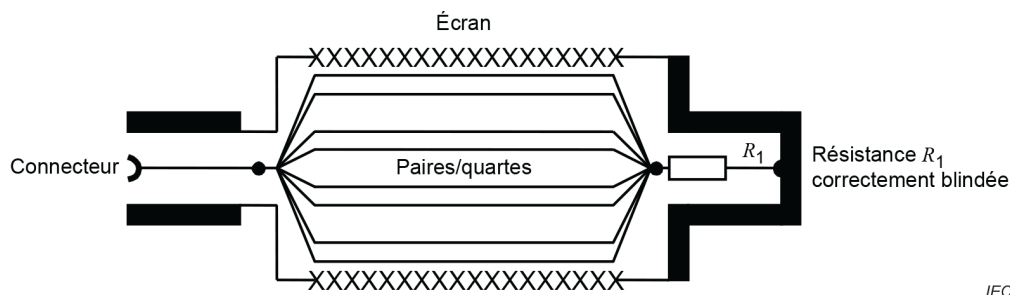


**Figure 5 – Préparation de l'échantillon d'essai
(câbles symétriques et multiconducteurs)**

Le système quasi coaxial doit être terminé sur son impédance caractéristique nominale. La terminaison doit être correctement blindée de manière à ne pas fausser les résultats d'essai. L'impédance du système quasi coaxial peut être mesurée, soit en utilisant un réflectomètre dans le domaine temporel (TDR - *time domain reflectometer*) présentant un temps de montée maximal de 200 ps, soit en utilisant la méthode décrite ci-dessous. En outre, un adaptateur d'impédance est nécessaire pour adapter l'impédance du générateur et l'impédance du système quasi coaxial.

5.4.2.4 Adaptation d'impédance

Si l'impédance caractéristique nominale du système coaxial ou 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 coaxial ou 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 lorsque les adaptateurs maison nécessaires pour les impédances autres que 75 Ω , par exemple, sont utilisés (voir également 7.2.2, les conditions non adaptées et l'Annexe B).

5.4.2.5 Câbles coaxiaux ou quasi coaxiaux

Il n'est pas nécessaire que la longueur totale du câble soit plus grande que la longueur du câble soumise à l'essai plus la longueur de la pince et de l'absorbeur. La longueur du câble soumise à l'essai (de la pince absorbante à l'absorbeur) doit être conforme à 5.4.1.

Le câble en essai doit être terminé sur son impédance caractéristique nominale. La terminaison doit être correctement blindée de manière à ne pas fausser les résultats d'essai.

6 Montage d'essai

6.1 Étalonnage du montage d'essai

L'affaiblissement du montage d'essai est déterminé en commençant par mesurer la perte composite, puis en corrigeant la perte de réflexion dans le montage d'étalonnage, voir la Figure 6.

De cette manière, la réponse de la pince absorbante à la puissance d'une onde de surface incidente est déterminée.

Le mesurage ne prend pas en compte la perte de réflexion dans le montage de mesure, qui est générée par la désadaptation entre l'impédance de l'onde de surface, Z_2 , et l'impédance de la pince. L'erreur générée par la non-prise en compte de cette désadaptation d'impédance peut être négligée.

Un étalonnage complet du VNA doit être effectué avant de commencer l'étalonnage du montage d'essai.

L'affaiblissement du symétriseur, s'il n'est pas connu, doit être déterminé, par exemple en mesurant deux symétriseurs du même type dos à dos.

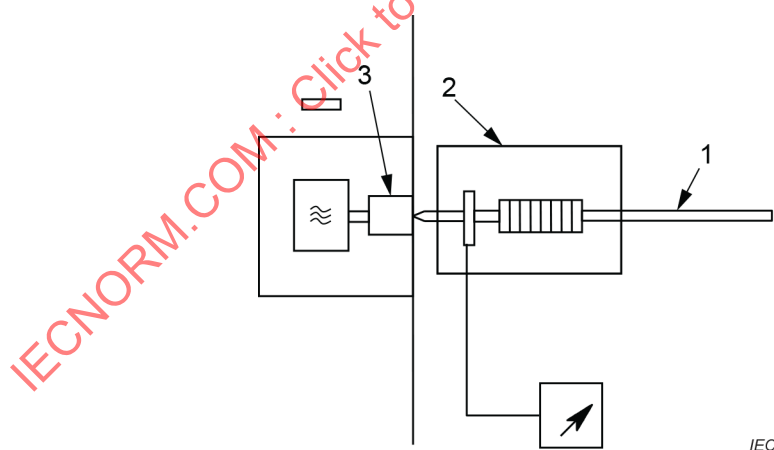
6.2 Perte composite du montage d'essai

6.2.1 Généralités

Pour déterminer la perte composite a_{cal} , la puissance de sortie du générateur est délivrée directement au circuit externe, le circuit externe étant composé de l'écran de câble (pour les câbles blindés) ou de tous les conducteurs connectés ensemble (pour les câbles symétriques non blindés) et de l'entourage. La connexion du générateur directement sur l'écran du câble en essai (pour les câbles blindés) ou sur tous les conducteurs connectés ensemble (pour les câbles symétriques non blindés) est représentée à la Figure 6 (en utilisant des instruments discrets) et à la Figure 7. La perte composite de ce montage d'étalonnage a_{cal} provient du mesurage de la puissance de sortie de la pince absorbante dans toute la plage de fréquences concernée. L'affaiblissement des fils d'essai doit être inclus dans l'étalonnage de l'analyseur de réseau.

La résistance de la connexion entre la sortie du générateur et l'écran de câble ou les conducteurs connectés les uns aux autres doit être faible (section de cuivre de 0,75 mm² minimum) et courte (10 mm maximum depuis l'extrémité du câble). L'extrémité du câble doit être alignée (± 2 mm) sur le côté avant de la pince.

L'écran du câble de sortie provenant du générateur de signaux doit être connecté à la plaque de réflexion pour fournir un chemin de retour pour le signal. Cela peut être réalisé en installant un connecteur (par exemple un connecteur coaxial) dans la plaque de réflexion et en connectant le générateur à ce connecteur à l'aide d'un câble à faibles pertes (par exemple un câble coaxial). La connexion par câble est faite au niveau du contact central de ce connecteur.

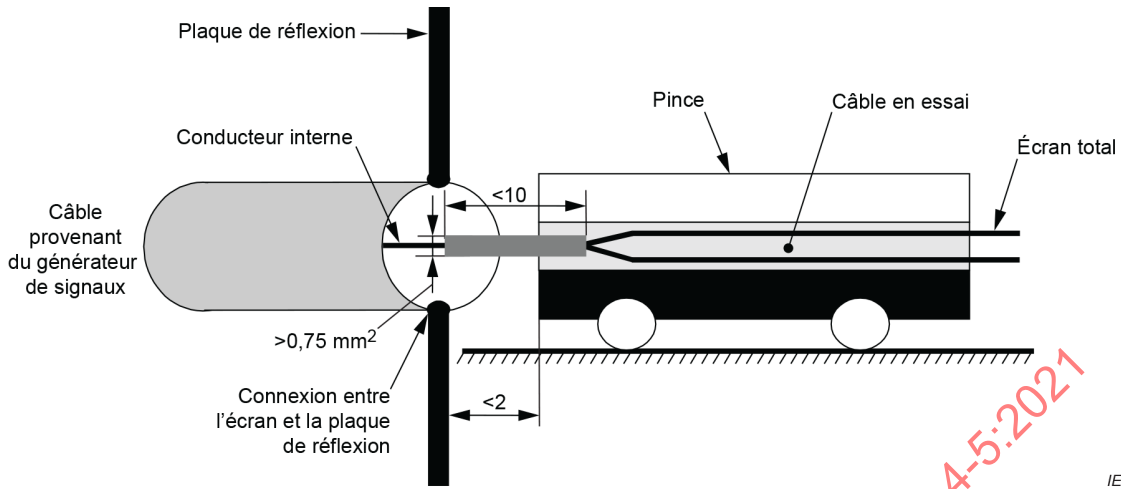


Légende

- 1 écran ou conducteur externe de l'échantillon d'essai
- 2 pince absorbante
- 3 connecteur installé dans la plaque de réflexion

Figure 6 – Montage d'étalonnage

Dimensions en millimètres

**Figure 7 – Terminaison pendant l'étalonnage**

6.2.2 Perte de réflexion de la pince absorbante dans le montage d'étalonnage

Le mesurage de la perte composite inclut la perte de réflexion générée par la désadaptation entre le générateur et l'échantillon de câble placé dans la pince dans le montage d'étalonnage.

La perte de réflexion, a_{rfl} , est déterminée en mesurant les coefficients complexes de réflexion de la pince dans le montage d'étalonnage et en calculant a_{rfl} comme suit:

$$a_{\text{rfl}} = -10 \log_{10} |1 - (S_{11})^2| \quad (3)$$

où

S_{11} est le paramètre de répartition mesuré lorsque la puissance est délivrée directement au circuit externe et la puissance réfléchie est mesurée.

Le mesurage est généralement effectué en mesurant le paramètre de répartition S_{11} à l'aide d'un analyseur de réseau vectoriel. S_{11} est égal au coefficient de réflexion. Le point d'étalonnage pour ce mesurage de S_{11} est l'interface où le câble en essai est connecté à la sortie du générateur. Il s'agit par exemple de la broche de sortie du connecteur dans la plaque de réflexion.

6.3 Affaiblissement du montage de mesure

L'affaiblissement de la pince, a_{cl} , y compris l'affaiblissement des fils d'essai, se calcule comme suit:

$$a_{\text{cl}} = a_{\text{cal}} - a_{\text{rfl}} \quad (4)$$

où

a_{cal} est la perte composite mesurée du montage de mesure;

a_{rfl} est la perte de réflexion mesurée.

$$a_{\text{cal}} = -20 \log_{10} (|S_{21}|) \quad (5)$$

où

S_{21} est le paramètre de répartition mesuré lorsque la puissance est délivrée directement au circuit externe et la puissance de sortie de la pince absorbante est mesurée.

L'affaiblissement a_m du montage de mesure qui doit être soustrait de tous les mesurages de câble en essai peut maintenant se calculer comme suit:

$$a_m = a_{cl} + a_{balun} \text{ (le cas échéant) ou } a_m = a_{cl} + a_{TP\text{-connecting unit}} \text{ (le cas échéant)} \quad (6)$$

où

a_m est l'affaiblissement du montage de mesure;

a_{cl} est la perte composite mesurée du montage de mesure;

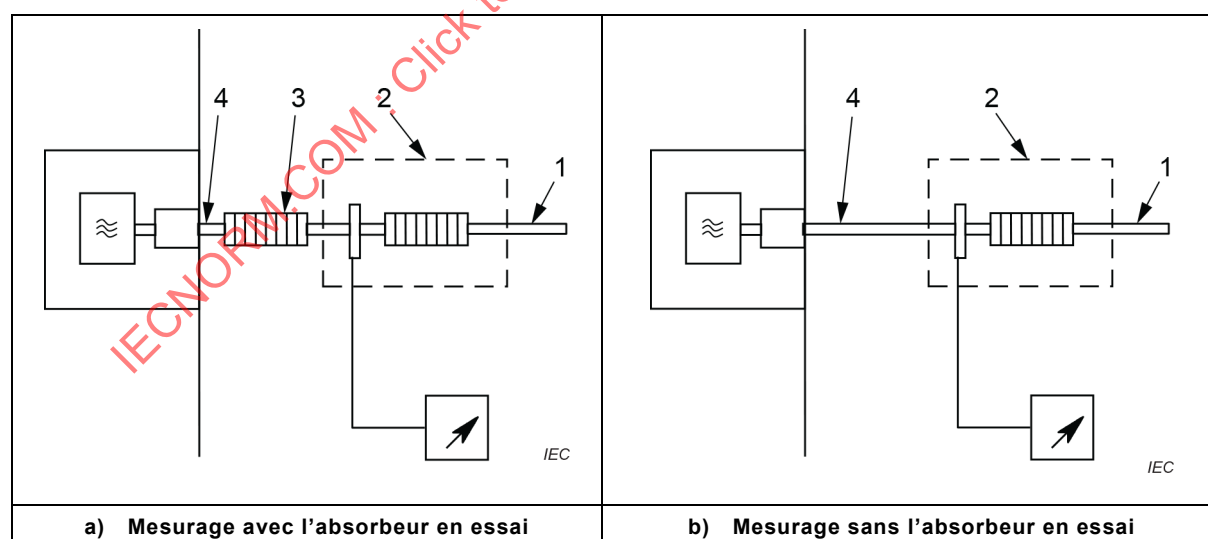
a_{balun} est l'affaiblissement du symétriseur utilisé (le cas échéant).

6.4 Perte d'insertion des absorbeurs

La perte d'insertion des absorbeurs doit assurer que les ondes réfléchies par la section de câble derrière l'absorbeur sont supprimées. Ainsi, une valeur supérieure à 10 dB est nécessaire. Le montage de mesure est représenté à la Figure 10.

L'absorbeur à mesurer doit être placé aussi près que possible du point de connexion no 4 de la Figure 8. L'espace doit être bien inférieur à 1/4 de la longueur d'onde dans le système secondaire à la fréquence la plus élevée à mesurer.

Directement derrière l'absorbeur en essai, tel qu'il est vu depuis le générateur, le courant dans le conducteur du câble externe (en utilisant un câble coaxial) ou l'écran de câble (en utilisant un câble symétrique) est mesuré dans la pince absorbante, voir la Figure 8a. La terminaison du conducteur de câble externe ou de l'écran de câble sur la sortie du générateur se fait comme cela est décrit en 6.2. L'absorbeur en essai est alors retiré, et, sans que la pince absorbante change de position, le courant de la pince est mesuré une nouvelle fois, voir la Figure 8b. La différence de niveau est la perte d'insertion de l'absorbeur.



Légende

- 1 échantillon de câble
- 2 pince absorbante
- 3 absorbeur en essai
- 4 connexion du conducteur externe isolé de câble coaxial ou de l'écran de câble symétrique (échantillon 1) sur le conducteur interne du générateur

Figure 8 – Mesurage de la perte d'insertion d'un absorbeur

Si les exigences ne peuvent pas être satisfaites à de basses fréquences (en dessous de 100 MHz), les résultats à ces fréquences doivent être remplacés par les résultats obtenus à des fréquences plus élevées pour lesquelles les exigences sont satisfaites. L'extrapolation doit être effectuée en utilisant une ligne droite horizontale.

NOTE Les mesurages de la perte d'insertion des absorbeurs sont uniquement indiqués à titre d'information et de vérification et ne sont pas inclus dans l'expression des résultats d'essai.

6.5 Disposition du montage d'essai

Le montage d'essai pour le mesurage de l'affaiblissement de couplage des câbles symétriques ou de l'affaiblissement d'écran des câbles dissymétriques depuis l'extrémité la plus proche est représenté de la Figure 1 à la Figure 3, à la Figure 10 et à la Figure 11. Dans les mesurages des câbles dissymétriques (coaxiaux) ou quasi coaxiaux, le symétriseur (ou l'unité de connexion à TP) n'est pas inclus.

Le montage d'essai pour le mesurage de l'affaiblissement de couplage ou de l'affaiblissement d'écran depuis l'extrémité la plus éloignée est représenté à la Figure 12 sur laquelle la position de la pince absorbante et la position du tube de ferrite sont permutées. La direction de la pince absorbante est modifiée afin d'orienter le transformateur de courant vers le câble en essai. À part cela, les mesurages de l'extrémité la plus proche et de l'extrémité la plus éloignée sont identiques.

Le câble en essai est connecté à la borne de sortie du générateur de signaux ou du symétriseur (pour les câbles symétriques) ou de l'unité de connexion à TP (dans le cas du mesurage de l'affaiblissement de couplage sans symétriseur). Le principe du mesurage sans symétriseur est représenté à la Figure 3.

Pour les câbles symétriques, il convient de veiller à ne pas retirer les torsades des paires plus que cela est nécessaire.

Le câble est suspendu dans le trou dans la plaque de réflexion, par exemple en utilisant des supports de câble, avec une distance minimale de 600 mm jusqu'à n'importe quel objet métallique ou non. La pince absorbante est placée sur une table non métallique, le côté du capteur étant placé à 50 mm au maximum du bord de la table.

Des fils d'essai correctement blindés (c'est-à-dire au minimum un double blindage) doivent être utilisés pour connecter l'analyseur de réseau ou le générateur de signaux au symétriseur (le cas échéant) ou au câble en essai.

Les écrans du câble d'alimentation depuis le générateur, le symétriseur (le cas échéant) et l'écran du câble en essai (le cas échéant) doivent avoir des connexions de faible impédance jusqu'à la plaque (voir la Figure 9).

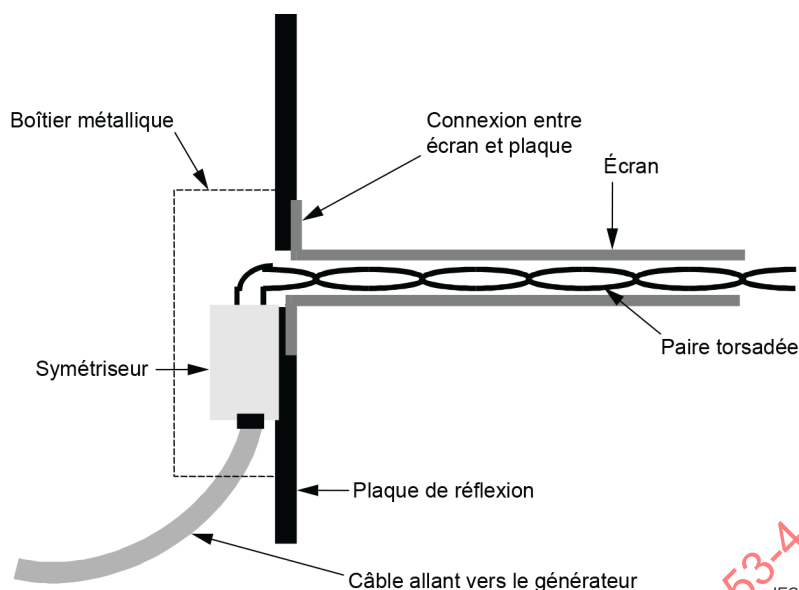


Figure 9 – Exemple de connexions d'écran pour mesurer un câble à paire torsadée blindée

L'absorbeur est placé sur une table non métallique à 50 mm au maximum du bord de la table. La distance entre la pince absorbante et l'absorbeur doit être conforme à 5.4.1. La hauteur de la table doit être de 800 mm au minimum.

La connexion du câble au symétriseur et les terminaisons de l'extrémité la plus éloignée doivent être blindées. À l'extrémité la plus proche, le blindage doit être réalisé par un boîtier métallique fixé au plan de masse.

Le symétriseur et les câbles de connexion doivent être enfermés dans ce boîtier et les écrans des câbles doivent être connectés au métal à l'endroit où ils entrent dans le boîtier.

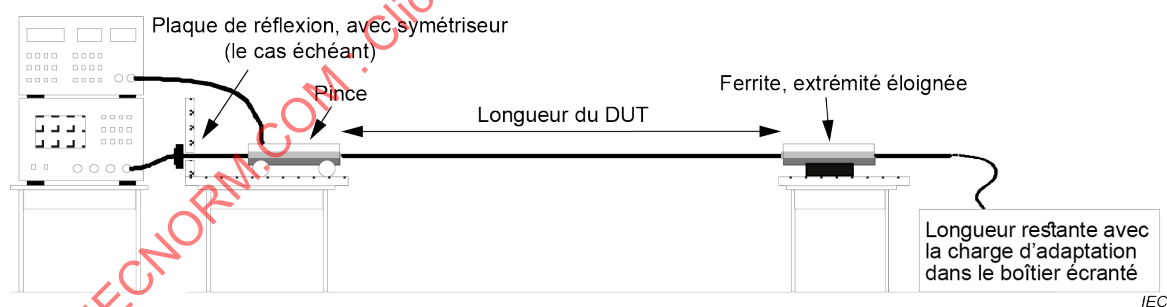
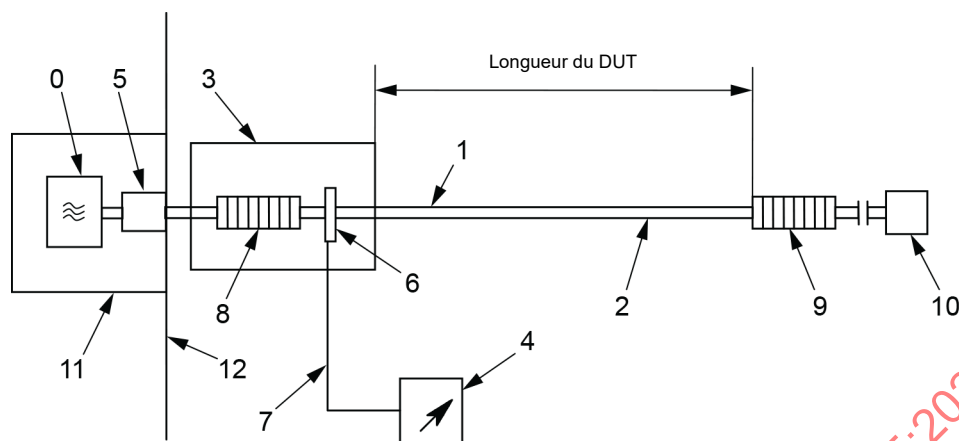


Figure 10 – Montage d'essai pour le mesurage d'extrémité la plus proche de câble symétrique

Dimensions en centimètres

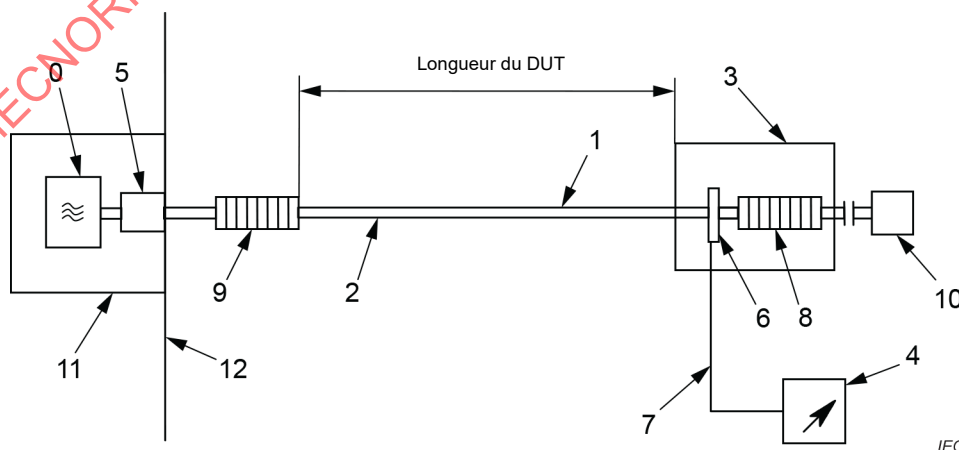


Légende

- 0 générateur de signaux, impédance de sortie Z_0
- 1 câble en essai, impédance caractéristique nominale Z_1
- 2 circuit externe du câble en essai, impédance Z_2
- 3 pince absorbante, impédance Z_3
- 4 récepteur de mesure
- 5 symétriseur (le cas échéant)
- 6 transformateur de courant de la pince
- 7 câble du récepteur de mesure (le même câble est utilisé pour les mesures et l'étalonnage)
- 8 absorbeur (tube de ferrite) de la pince
- 9 absorbeur (ou deuxième pince)
- 10 terminaison du câble en essai
- 11 blindage du générateur de signaux et symétriseur, si cela est nécessaire pour les grandes plages dynamiques
- 12 plaque de réflexion

Figure 11 – Mesurage des ondes de surface au niveau de l'extrémité la plus proche de l'échantillon, principe

Dimensions en centimètres



Pour la légende de la figure, se référer à la Figure 11.

Figure 12 – Mesurage des ondes de surface au niveau de l'extrémité la plus éloignée de l'échantillon, principe

6.5.1 Vérification du montage d'essai

6.5.1.1 Détermination de la sensibilité de mesure du montage

La sensibilité de mesure du montage d'essai doit être déterminée avant d'effectuer les mesurages.

Cela est réalisé en mesurant l'affaiblissement d'écran ou l'affaiblissement de couplage d'un câble qui a un affaiblissement d'écran ou un affaiblissement de couplage supérieur (aussi élevé que possible) à celui du câble en essai. Le câble qui permet de déterminer la sensibilité de mesure doit être du même type (coaxial ou symétrique) que le câble en essai.

Le montage de mesure doit être exactement identique au montage pour le câble en essai. L'affaiblissement d'écran ou l'affaiblissement de couplage mesuré pour ce câble, utilisé pour la détermination de la sensibilité de mesure, définit l'affaiblissement d'écran ou l'affaiblissement de couplage le plus élevé, qui peut être mesuré par le montage. Cela est également représenté par le bruit de fond du montage.

Un exemple de manière fiable pour déterminer le bruit de fond du montage d'essai est d'utiliser un tube en cuivre nu qui contient une ou plusieurs paires torsadées avec une terminaison en mode commun ou en mode différentiel. L'affaiblissement de couplage théorique de ce dispositif est meilleur que 100 dB sur toute la plage de fréquences. Ainsi, l'affaiblissement de couplage mesuré reflète précisément la qualité de la fabrication de la connexion et le niveau de bruit de fond résiduel.

6.5.1.2 Vérification de l'étalonnage du montage d'essai

Pour les fréquences auxquelles les absorbeurs disponibles ne sont pas conformes aux exigences de 10 dB de pertes d'insertion, typiquement en dessous de 100 MHz, l'incertitude est plus élevée.

L'incertitude peut être réduite le plus possible en soudant soigneusement les écrans au niveau de la plaque de réflexion et la terminaison des paires inutilisées.

6.6 Force de traction sur le câble

La force de traction maximale doit être de 20 N.

7 Procédure

7.1 Généralités

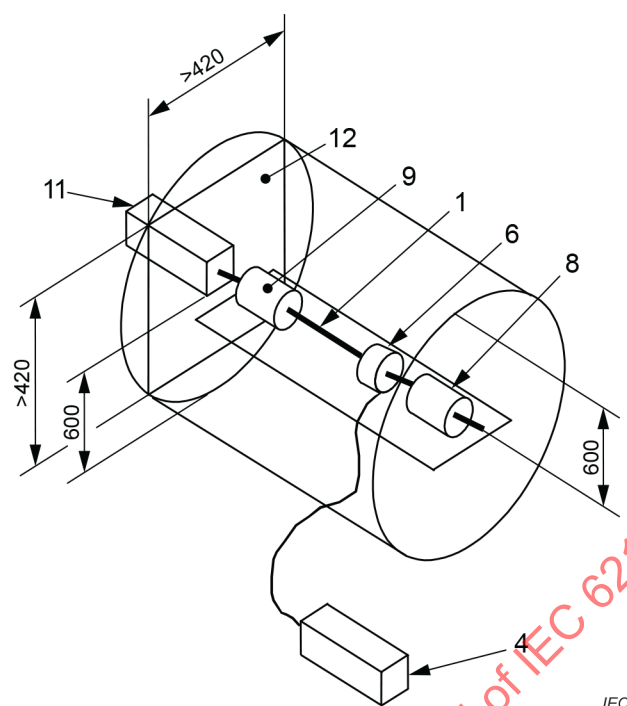
Le courant de surface est mesuré sur la base d'un balayage de fréquence avec une pince stationnaire. Les mesurages sont effectués dans la position d'extrémité la plus proche et dans la position d'extrémité la plus éloignée. La position à laquelle le mesurage le plus défavorable se réalise sert à effectuer l'ensemble des mesurages.

L'affaiblissement d'écran ou l'affaiblissement de couplage varie de manière significative à une fréquence spécifique, également pour des mesurages répétés sur le même câble après sa manipulation. Ainsi, la valeur la plus défavorable d'affaiblissement de couplage ou d'affaiblissement d'écran doit être spécifiée sur un intervalle de fréquences donné. Tout intervalle doit couvrir au minimum 200 MHz pour lisser les variations de fréquences normales.

Pour les câbles symétriques, toutes les paires doivent être mesurées individuellement.

Le câble en essai est placé en portée aérienne. Aucun objet métallique ou aucune personne ne doit se trouver à moins de 600 mm du câble en essai dans n'importe quelle direction normale par rapport à l'axe du câble, voir la Figure 13.

Dimensions en millimètres



Pour la légende de la figure, se référer à la Figure 11.

Figure 13 – Disposition de blindage pour un mesurage d'extrémité la plus éloignée

La pince absorbante est placée aussi près que possible de la plaque de réflexion pour un mesurage d'extrémité la plus proche.

Pour un mesurage d'extrémité la plus éloignée, la pince absorbante et l'absorbeur doivent être intervertis. Dans les deux cas, la sonde de courant de la pince absorbante doit être dirigée vers l'absorbeur.

Le quotient de la puissance de la sortie de la pince absorbante et de la sortie du générateur est mesuré en balayage de fréquence linéaire sur toute la plage de fréquences spécifiée et aux mêmes fréquences que pour la procédure d'étalonnage. Le mesurage doit être effectué soit directement par un analyseur de réseau soit avec un générateur de signaux discrets et un récepteur de mesure.

7.2 Affaiblissement d'écran des câbles coaxiaux ou quasi coaxiaux

7.2.1 Conditions adaptées

7.2.1.1 Généralités

Si l'impédance caractéristique du DUT n'est pas connue, elle doit être mesurée conformément à l'Annexe A.

Le câble coaxial ou quasi coaxial en essai doit être connecté directement au générateur dont l'impédance du générateur et l'impédance nominale du câble sont égales. Sinon, un adaptateur d'impédance doit être utilisé.

Le DUT doit être terminé à l'extrémité la plus éloignée par une résistance d'adaptation correctement blindée ayant l'impédance caractéristique du DUT.

NOTE Un adaptateur d'impédance peut être assemblé conformément à l'Annexe A.

7.2.1.2 Expression des résultats d'essai

Les puissances mesurées (voir la Figure 1) sont P_{2n} (extrémité la plus proche) et P_{2f} (extrémité la plus éloignée) respectivement. La prise en considération uniquement du cas le plus défavorable de la puissance mesurée (P_{2n} ou P_{2f}), donne:

$$\begin{aligned} a_s &= 10 \log_{10} \left(\frac{P_1}{\max[P_{2n}; P_{2f}]} \right) - a_m + 20 \log_{10}(k_m) \\ &= \min \left(10 \log_{10} \left| \frac{P_1}{P_{2n}} \right|; 10 \log_{10} \left| \frac{P_1}{P_{2f}} \right| \right) - a_m + 20 \log_{10}(k_m) \\ &= \min(-20 \log_{10} |S_{21n}|; -20 \log_{10} |S_{21f}|) - a_m + 20 \log_{10}(k_m) \end{aligned} \quad (7)$$

où

P_1 est la puissance du générateur radiofréquence;

$P_{2n,f}$ est la puissance (mesurée avec des pinces absorbantes) dans le circuit externe à l'extrémité la plus proche ou la plus éloignée;

a_m est l'affaiblissement en dB du montage de mesure;

k_m est le gain en tension du circuit d'adaptation d'impédance;

(k_m conforme à l'Annexe A, $k_m = 1$ si aucun circuit d'adaptation d'impédance n'est utilisé);

$S_{21n,f}$ est le paramètre de répartition du transfert direct à l'extrémité la plus proche ou la plus éloignée.

$|S_{21n}|; |S_{21f}|$ est directement lu sur un analyseur de réseau (c'est-à-dire le plus défavorable parmi les mesurages de l'extrémité la plus proche ou de l'extrémité la plus éloignée).

7.2.2 Conditions non adaptées

7.2.2.1 Généralités

Le câble coaxial ou quasi coaxial en essai doit être connecté directement au générateur et doit être terminé à l'extrémité la plus éloignée par une résistance d'adaptation correctement blindée ayant l'impédance caractéristique du DUT. L'adaptation d'impédance n'est pas nécessaire.

La perte de réflexion (voir l'Annexe D) générée par la désadaptation entre le générateur et le DUT doit être prise en compte. Pour ce faire, il convient en principe de mesurer le paramètre de répartition (grandeur complexe) S_{11} du DUT. Cependant, il a été démontré que ce mesurage est sujet à erreur en raison de la "faible" résistance de charge du DUT. Le paramètre S_{11} est donc calculé selon l'Équation (9).

7.2.2.2 Expression des résultats d'essai

Les puissances mesurées (voir la Figure 1) sont P_{2n} (extrémité la plus proche) et P_{2f} (extrémité la plus éloignée) respectivement. La prise en considération uniquement du cas le plus défavorable de la puissance mesurée (P_{2n} ou P_{2f}), donne:

$$\begin{aligned}
a_s &= 10 \log_{10} \left(\frac{P_1}{\max[P_{2n}; P_{2f}]} \right) - a_m - \Gamma_s \\
&= \min \left(10 \log_{10} \left| \frac{P_1}{P_{2n}} \right|; 10 \log_{10} \left| \frac{P_1}{P_{2f}} \right| \right) - a_m - \Gamma_s \\
&= \min \left(-20 \log_{10} |S_{21n}|; -20 \log_{10} |S_{21f}| \right) - a_m - \Gamma_s
\end{aligned} \tag{8}$$

où

- P_1 est la puissance du générateur radiofréquence;
- $P_{2n,f}$ est la puissance (mesurée avec des pinces absorbantes) dans le circuit externe à l'extrémité la plus proche ou la plus éloignée;
- a_m est l'affaiblissement en dB du montage de mesure;
- $S_{21n,f}$ est le paramètre de répartition du transfert direct à l'extrémité la plus proche ou la plus éloignée;
- Γ_s est la perte de réflexion¹ (voir l'Annexe D) générée par la désadaptation entre le générateur et le DUT

$$\begin{aligned}
\Gamma_s &= 10 \log_{10} |1 - r^2| \\
&= -10 \log_{10} \left| 1 - \left(\frac{Z_1 - Z_0}{Z_1 + Z_0} \right)^2 \right|
\end{aligned} \tag{9}$$

où

- r est le coefficient de réflexion;
- Z_0 est l'impédance caractéristique du générateur;
- Z_1 est l'impédance caractéristique du DUT.

$|S_{21n}|; |S_{21f}|$ est directement lu sur un analyseur de réseau (c'est-à-dire le plus défavorable parmi les mesurages de l'extrémité la plus proche ou de l'extrémité la plus éloignée).

7.3 Affaiblissement de couplage des câbles symétriques

7.3.1 Mesurage de l'affaiblissement de couplage avec un symétriseur

Le câble symétrique en essai doit être connecté au générateur au moyen d'un symétriseur d'adaptation d'impédance. Le symétriseur et les câbles de connexion doivent être correctement blindés et connectés à la plaque de réflexion.

Les puissances mesurées (voir la Figure 3) sont P_{2n} (extrémité la plus proche) et P_{2f} (extrémité la plus éloignée) respectivement. La prise en considération uniquement du cas le plus défavorable de la puissance mesurée (P_{2n} ou P_{2f}), donne:

¹ La perte de réflexion ne doit pas être confondue avec l'affaiblissement de réflexion ou la perte par désadaptation.

$$\begin{aligned}
a_c &= 10 \log_{10} \left(\frac{P_1}{\max[P_{2n}; P_{2f}]} \right) - a_m + 20 \log_{10}(k_m) \\
&= \min \left(10 \log_{10} \left| \frac{P_1}{P_{2n}} \right|; 10 \log_{10} \left| \frac{P_1}{P_{2f}} \right| \right) - a_m + 20 \log_{10}(k_m) \\
&= \min(-20 \log_{10} |S_{21n}|; -20 \log_{10} |S_{21f}|) - a_m + 20 \log_{10}(k_m)
\end{aligned} \tag{10}$$

où

P_1 est la puissance du générateur radiofréquence;

$P_{2n,f}$ est la puissance (mesurée avec des pinces absorbantes) dans le circuit externe à l'extrémité la plus proche ou la plus éloignée;

a_m est l'affaiblissement en dB du montage de mesure;

k_m est le gain en tension du circuit d'adaptation d'impédance;

(k_m conforme à l'Annexe A, $k_m = 1$ si aucun circuit d'adaptation d'impédance n'est utilisé);

$S_{21n,f}$ est le paramètre de répartition du transfert direct à l'extrémité la plus proche ou la plus éloignée

où

$|S_{21n}|, |S_{21f}|$ est directement lu sur un analyseur de réseau (c'est-à-dire le plus défavorable parmi les mesurages de l'extrémité la plus proche ou de l'extrémité la plus éloignée).

L'affaiblissement de couplage est exprimé par une valeur A d'une ligne enveloppe. La valeur A doit être déduite en traçant une courbe dérivée des équations suivantes:

30 MHz à 100 MHz: A dB

100 MHz à 1 GHz: $(A - 20 \log_{10}(f/100))$ dB

où f est la fréquence en MHz.

Cette courbe doit être tracée jusqu'à ce qu'elle coupe la première crête de la trace de mesure. La valeur A (en dB) correspond à l'intersection de la courbe et de l'axe Y, voir également l'Annexe C.

7.3.2 Mesurage de l'affaiblissement de couplage sans symétriseur – Montage

Un étalonnage complet à 3 ports du VNA, ou de préférence un étalonnage complet à 4 ports du VNA, doit être effectué avant de commencer les mesurages d'étalonnage du montage conformément à l'Article 6.

Le principe du mesurage sans symétriseur de l'affaiblissement de couplage avec le VNA à plusieurs ports est représenté à la Figure 3.

La paire en essai doit être connectée aux deux ports du VNA au moyen d'une unité de connexion à TP.

L'unité de connexion à TP et les câbles de connexion doivent être correctement blindés et connectés à la plaque de réflexion.

7.3.3 Expression des résultats d'essai

Les puissances mesurées (voir la Figure 3) sont P_{2n} (extrémité la plus proche) et P_{2f} (extrémité la plus éloignée) respectivement. La prise en considération uniquement du cas le plus défavorable de la puissance mesurée (P_{2n} ou P_{2f}), donne:

$$\begin{aligned} a_c &= 10 \log_{10} \left(\frac{P_1}{\max[P_{2n}; P_{2f}]} \right) - a_m \\ &= \min \left(10 \log_{10} \left| \frac{P_1}{P_{2n}} \right|; 10 \log_{10} \left| \frac{P_1}{P_{2f}} \right| \right) - a_m \\ &= \min(-20 \log_{10} |S_{sd21n}|; -20 \log_{10} |S_{sd21f}|) - a_m \end{aligned} \quad (11)$$

où

- P_1 est la puissance en mode différentiel à la sortie de l'unité de connexion à TP;
- $P_{2n,f}$ est la puissance (mesurée avec des pinces absorbantes) dans le circuit externe à l'extrémité la plus proche ou la plus éloignée;
- a_m est l'affaiblissement en dB du montage de mesure;
- $S_{sd21n,f}$ est le paramètre de répartition de transfert direct entre le mode différentiel (injection de puissance) et le mode à une seule extrémité (mesurage de la puissance avec des pinces absorbantes).

$|S_{sd21n}|; |S_{sd21f}|$ est directement lu sur un analyseur de réseau (c'est-à-dire le plus défavorable parmi les mesurages de l'extrémité la plus proche ou de l'extrémité la plus éloignée).

L'affaiblissement de couplage est exprimé par une valeur A d'une ligne enveloppe. La valeur A doit être déduite en traçant une courbe dérivée des équations suivantes:

30 MHz à 100 MHz: A dB

100 MHz à 1 GHz: $(A - 20 \log_{10} (f/100))$ dB

où f est la fréquence en MHz.

Cette courbe doit être tracée jusqu'à ce qu'elle coupe la première crête de la trace de mesure. La valeur A (en dB) correspond à l'intersection de la courbe et de l'axe Y, voir également l'Annexe C.

8 Rapport d'essai

L'affaiblissement d'écran ou l'affaiblissement de couplage du câble en essai doit être inférieur d'au moins 6 dB à la sensibilité de mesure du montage d'essai. Sinon, le rapport doit indiquer que l'affaiblissement d'écran ou l'affaiblissement de couplage est meilleur que la valeur mesurée du câble en essai.

Dans le cas de câbles coaxiaux, l'affaiblissement d'écran est généralement indépendant de la fréquence. La valeur du cas le plus défavorable correspond à la valeur de crête maximale sur toute la plage de fréquences.

Dans le cas de câbles symétriques, l'affaiblissement de couplage diminue généralement avec la fréquence d'environ 20 dB par décade.