

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Connectors for electrical and electronic equipment – Tests and measurements –
Part 28-100: Signal integrity tests up to 2 000 MHz – Tests 28a to 28g**

**Connecteurs pour équipements électriques et électroniques – Essais
et mesures –**

**Partie 28-100: Essais d'intégrité des signaux jusqu'à 2 000 MHz – Essais 28a
à 28g**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2024 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 Secretariat
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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.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 Products & Services Portal - products.iec.ch

Discover our powerful search engine and read freely all the publications previews, graphical symbols and the glossary. 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 22 500 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 25 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 Products & Services Portal - products.iec.ch

Découvrez notre puissant moteur de recherche et consultez gratuitement tous les aperçus de publications, symboles graphiques et le glossaire. 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 22 500 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 25 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Connectors for electrical and electronic equipment – Tests and measurements –
Part 28-100: Signal integrity tests up to 2 000 MHz – Tests 28a to 28g**

**Connecteurs pour équipements électriques et électroniques – Essais
et mesures –
Partie 28-100: Essais d'intégrité des signaux jusqu'à 2 000 MHz – Essais 28a
à 28g**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 31.220.10

ISBN 978-2-8322-9504-5

**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.....	6
1 Scope.....	8
2 Normative references	8
3 Terms, definitions and abbreviated terms	10
3.1 Terms and definitions.....	10
3.2 Abbreviated terms.....	10
4 Overall test arrangement	11
4.1 General.....	11
4.2 Test instrumentation	11
4.2.1 General	11
4.2.2 Vector network analyser	11
4.2.3 RF switching unit.....	11
4.2.4 Reference loads and termination loads	11
4.3 Measurement precautions.....	12
4.4 Mixed mode S-parameter nomenclature.....	12
4.5 Coaxial cables and interconnections for network analysers.....	13
4.6 Characteristic for switching matrices.....	14
4.7 Test fixture types	14
4.8 Requirements for termination performance at calibration plane	14
4.9 Reference loads for calibration	14
4.10 Calibration	15
4.10.1 General	15
4.10.2 Calibration test interface.....	16
4.10.3 Calibration at end of coaxial test cables.....	16
4.11 Termination loads for termination of conductor pairs.....	16
4.11.1 General	16
4.11.2 Impedance matching resistor termination networks.....	17
4.12 Termination of screens	17
4.13 Test specimen and reference planes.....	17
4.13.1 General.....	17
4.13.2 Interconnections between the device under test (DUT) and the calibration plane.....	18
4.14 Overall test setup requirements	19
5 Connector measurements up to 2 000 MHz	20
5.1 General.....	20
5.1.1 Determining pass and fail	20
5.2 Insertion loss, test 28a.....	20
5.2.1 Object.....	20
5.2.2 Insertion loss	20
5.2.3 Test method	20
5.2.4 Test setup	20
5.2.5 Procedure.....	20
5.2.6 Test report.....	21
5.2.7 Accuracy	21
5.3 Return loss, test 28b.....	22
5.3.1 Object.....	22
5.3.2 Return loss	22

5.3.3	Test method	22
5.3.4	Test setup	22
5.3.5	Procedure.....	23
5.3.6	Test report.....	23
5.3.7	Accuracy	23
5.4	Near-end crosstalk (NEXT), test 28c	23
5.4.1	Object.....	23
5.4.2	NEXT.....	23
5.4.3	Test method	23
5.4.4	Test setup	24
5.4.5	Procedure.....	24
5.4.6	Test report.....	25
5.4.7	Accuracy	25
5.5	Far-end crosstalk (FEXT), test 28d	25
5.5.1	Object.....	25
5.5.2	FEXT	25
5.5.3	Test method	25
5.5.4	Test setup	25
5.5.5	Procedure.....	26
5.5.6	Test report.....	26
5.5.7	Accuracy	27
5.6	Transverse conversion loss (TCL), test 28f	27
5.6.1	Object.....	27
5.6.2	TCL	27
5.6.3	Test method	27
5.6.4	Test setup	27
5.6.5	Procedure.....	27
5.6.6	Test report.....	28
5.6.7	Accuracy	28
5.7	Transverse conversion transfer loss (TCTL), test 28g	28
5.7.1	Object.....	28
5.7.2	TCTL	28
5.7.3	Test method	28
5.7.4	Test setup	28
5.7.5	Procedure.....	28
5.7.6	Test report.....	29
5.7.7	Accuracy	29
5.8	Shield transfer impedance (Z_T), test 26e	29
5.8.1	Object.....	29
5.8.2	Transfer impedance (Z_T)	29
5.8.3	Test method	29
5.8.4	Test setup	30
5.8.5	Procedure.....	30
5.8.6	Test report.....	30
5.8.7	Accuracy	30
5.9	Coupling attenuation (a_C)	30
5.9.1	Object.....	30
5.9.2	Coupling attenuation (a_C).....	30

5.9.3	Test method	31
5.9.4	Test setup	31
5.9.5	Procedure.....	31
5.9.6	Test report.....	31
5.9.7	Accuracy	31
5.10	Low frequency coupling attenuation a_{CLF}	31
5.10.1	Object.....	31
5.10.2	Low frequency coupling attenuation (a_{CLF})	32
5.10.3	Test method	32
5.10.4	Test setup	32
5.10.5	Procedure.....	32
5.10.6	Test report.....	32
5.10.7	Accuracy	33
Annex A (informative)	Derivation of mixed mode parameters using the modal decomposition technique	34
A.1	General.....	34
A.2	Example of a calculation	34
Annex B (normative)	Indirect-reference test fixtures.....	37
B.1	General.....	37
B.2	Requirements	37
B.2.1	General requirements	37
B.2.2	Specific requirements	37
Annex C (normative)	Direct-probe test fixtures.....	39
C.1	General.....	39
C.2	Requirements	39
C.2.1	General requirements	39
C.2.2	Specific requirements	39
Annex D (normative)	Specialized test fixtures	41
D.1	General.....	41
D.2	Requirements	41
D.2.1	General requirements	41
D.2.2	Specific requirements	41
Annex E (informative)	Symmetry verification of resistors used for calibration	42
E.1	General.....	42
E.2	Procedure	42
E.3	Example	43
Bibliography		45
Figure 1	– Diagram of a single-ended 4-port device	12
Figure 2	– Diagram of a balanced 2-port device	13
Figure 3	– Calibration of reference loads	15
Figure 4	– Resistor termination networks	16
Figure 5	– Definition of reference planes.....	17
Figure 6	– Insertion loss and TCTL measurement	21
Figure 7	– Return loss and TCL measurement	22
Figure 8	– NEXT measurement	24
Figure 9	– FEXT measurement	26

Figure A.1 – Voltage and current on balanced DUT	34
Figure A.2 – Voltage and current on unbalanced DUT	35
Figure E.1 – Example of 50 Ω SMA termination comparison (1 MHz – 100 MHz).....	43
Figure E.2 – Comparison of phase selected and only magnitude selected terminations.....	44
Table 1 – Mixed mode S-parameter nomenclature	13
Table 2 – Switch performance requirements	14
Table 3 – Requirements for terminations at calibration plane	14
Table 4 – Interconnection DM return loss and TCTL requirements	19
Table 5 – Overall test setup requirements.....	19
Table B.1 – [1] series 8-way connector types detail specifications and respective detail connector test procedures standards	37
Table B.2 – Reference connector crosstalk (NEXT) vector	38
Table C.1 – Direct-probe test fixture requirements	39

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60512-28-100:2024

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**Connectors for electrical and electronic equipment –
Tests and measurements –
Part 28-100: Signal integrity tests up to 2 000 MHz – Tests 28a to 28g**

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) IEC draws attention to the possibility that the implementation of this document may involve the use of (a) patent(s). IEC takes no position concerning the evidence, validity or applicability of any claimed patent rights in respect thereof. As of the date of publication of this document, IEC had not received notice of (a) patent(s), which may be required to implement this document. However, implementers are cautioned that this may not represent the latest information, which may be obtained from the patent database available at <https://patents.iec.ch>. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

IEC 60512-28-100 has been prepared by subcommittee 48B: Electrical connectors, of IEC technical committee 48: Electrical connectors and mechanical structures for electrical and electronic equipment. It is an International Standard.

This third edition cancels and replaces the second edition, published in 2019. This edition constitutes a technical revision.

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

- a) The frequency range has been modified to start at 0,1 MHz instead of 1 MHz, to include single-pair connectors.

- b) All tables and requirements have been revised down to 0,1 MHz, and partially improved to reduce the impact of the test fixture.
- c) Formulae to calculate the S-parameters from single-ended parameters have been added.
- d) A note was added for those parameters which are not applicable to single-pair connectors.

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

FDIS	Report on voting
48B/3109/FDIS	48B/3112/RVD

Full information on the voting for the 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.

A list of all parts in the IEC 60512 series, published under the general title Connectors for electrical and electronic equipment, can be found on the IEC website.

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/publications.

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

- reconfirmed,
- withdrawn, or
- revised.

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

Connectors for electrical and electronic equipment – Tests and measurements – Part 28-100: Signal integrity tests up to 2 000 MHz – Tests 28a to 28g

1 Scope

This part of IEC 60512 specifies the test methods for signal integrity and transmission performance for connectors specified in respective parts of IEC 60603-7 [1], IEC 61076-1 [2], IEC 61076-2 [3], IEC 61076-3 [4] and IEC 63171 [5] series of standards for connecting hardware applications from 0,1 MHz up to 2 000 MHz, with reference to this document.

NOTE This document is also suitable for testing signal integrity and transmission performance of connectors up to a lower value of maximum frequency; however, the test methodology specified in the detail specification for any given connector remains the reference conformance test for that connector.

The list of connector series of standards does not preclude referencing this document in other connector manufacturer's specifications or published standards.

Test procedures provided herein are:

- insertion loss, test 28a;
- return loss, test 28b;
- near-end crosstalk (NEXT) test 28c;
- far-end crosstalk (FEXT), test 28d;
- transverse conversion loss (TCL), test 28f;
- transverse conversion transfer loss (TCTL), test 28g.

Other test procedures referenced herein are:

- shield transfer impedance (Z_T), see IEC 60512-26-100, test 26e.
- coupling attenuation (a_C), see IEC 62153-4-7 and IEC 62153-4-12.
- low frequency coupling attenuation (a_{CLF}) see IEC 62153-4-7 and IEC 62153-4-15.

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 60050-581, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 581: Electromechanical components for electronic equipment*

IEC 60512-1, *Connectors for electronic equipment – Tests and measurements – Part 1: Generic specification*

IEC 60512-26-100, *Connectors for electronic equipment – Tests and measurements – Part 26-100: Measurement setup, test and reference arrangements and measurements for connectors according to IEC 60603-7 – Tests 26a to 26g*

IEC 60512-27-100, *Connectors for electronic equipment – Tests and measurements – Part 27-100: Signal integrity tests up to 500 MHz on 60603-7 series connectors – Tests 27a to 27g*

IEC 60512-27-200, *Connectors for electrical and electronic equipment – Tests and measurements – Part 27-200: Additional specifications for signal integrity tests up to 2 000 MHz on IEC 60603-7 series connectors – Tests 27a to 27g*

IEC 60512-29-100, *Connectors for electronic equipment – Tests and measurements – Part 29-100: Signal integrity tests up to 500 MHz on M12 style connectors – Tests 29a to 29g*

IEC 60603-7, *Connectors for electronic equipment – Part 7: Detail specification for 8-way, unshielded, free and fixed connectors*

IEC 61076-1, *Connectors for electronic equipment – Product requirements – Part 1: Generic specification*

IEC 61076-3-104, *Connectors for electrical and electronic equipment – Product requirements – Part 3-104: Detail specification for 8-way, shielded free and fixed connectors for data transmissions with frequencies up to 2 000 MHz*

IEC 61076-3-110, *Connectors for electronic equipment – Product requirements – Part 3-110: Detail specification for free and fixed connectors for data transmission with frequencies up to 3 000 MHz*

IEC 61156-1, *Multicore and symmetrical pair/quad cables for digital communications – Part 1: Generic specification*

IEC 61169-15, *Radio-frequency connectors – Part 15: Sectional specification – RF coaxial connectors with inner diameter of outer conductor 4,13 mm (0,163 in) with threaded coupling – Characteristic impedance 50 Ω (type SMA)*

IEC 61169-16, *Radio-frequency connectors – Part 16: RF coaxial connectors with inner diameter of outer conductor 7 mm (0,276 in) with screw coupling – Characteristic impedance 50 ohms (75 ohms) (Type N)*

IEC 62153-4-6, *Metallic cables and other passive components test methods – Part 4-6: Electromagnetic compatibility (EMC) – Surface transfer impedance – Line injection method*

IEC 62153-4-7, *Metallic cables and other passive components test methods – Part 4-7: Electromagnetic compatibility (EMC) – Test method for measuring of transfer impedance Z_T and screening attenuation a_S or coupling attenuation a_C of connectors and assemblies – Triaxial tube in tube method*

IEC 62153-4-12, *Metallic communication cable test methods – Part 4-12: Electromagnetic compatibility (EMC) – Coupling attenuation or screening attenuation of connecting hardware – Absorbing clamp method*

IEC 62153-4-15, *Metallic cables and other passive components test methods – Part 4-15: Electromagnetic compatibility (EMC) – Test method for measuring transfer impedance and screening attenuation – or coupling attenuation with triaxial cell*

IEC 63171, *Connectors for electrical and electronic equipment – Shielded or unshielded free and fixed connectors for balanced single-pair data transmission with current-carrying capacity – General requirements and tests*

ISO/IEC 11801-1, *Information technology – Generic cabling for customer premises – Part 1: General requirements*

3 Terms, definitions and abbreviated terms

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC 60050-581, IEC 61076-1, IEC 60512-1, IEC 60603-7, IEC 61076-3-104, IEC 61076-3-110, IEC 61156-1 and IEC 63171, and the following apply.

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

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

3.1 Terms and definitions

3.1.1

intermodal

<parameter or measurement> parameter or measurement that either sources on the common mode and measures on the differential mode, or sources on the differential mode and measures on the common mode

3.1.2

mixed mode

<parameter or measurement> parameter or measurement containing differential mode, common mode, and **intermodal** S-matrices

3.1.3

interconnection

cable assembly made of a cable terminated by two connectors

EXAMPLE: A connection between a VNA, switching matrix or test fixture

3.2 Abbreviated terms

a_C	coupling attenuation
a_{CLF}	Low frequency coupling attenuation
CM	common mode
DM	differential mode
DUT	device under test
FEXT	far-end crosstalk loss
LCL	longitudinal conversion loss
LCTL	longitudinal conversion transfer loss
NEXT	near-end crosstalk loss
RF	radio frequency
RL_{CM}	return loss, common mode
RL_{DM}	return loss, differential mode
SE	single-ended
TCL	transverse conversion loss
TCTL	transverse conversion transfer loss
VNA	vector network analyser

Z_T transfer impedance

4 Overall test arrangement

4.1 General

This document specifies test methods and procedures for connectors.

The test methods and procedures for signal integrity and transmission performance specified herein are referenced by connector standards, specified in [IEC 60603-7 \[1\]](#), [IEC 61076-1 \[2\]](#), [IEC 61076-2 \[3\]](#), [IEC 61076-3 \[4\]](#), [IEC 63171 \[5\]](#) series of standards and other standards for connecting hardware and their sectional specifications, with signal integrity specifications from 0,1 MHz up to 2 000 MHz; such connector standards include [IEC 60603-7-81 \[6\]](#), [IEC 60603-7-82 \[7\]](#), [IEC 61076-3-110 \[8\]](#), [IEC 61076-3-104 \[9\]](#), and [IEC 61076-2-109 \[10\]](#). They are used with twisted-pair or quad cables having 100 Ω nominal differential characteristic impedance, which are specified in accordance with [IEC 61156 \(all parts\) \[11\]](#) and its sectional specifications covering at least the frequency range supported by the connecting hardware.

4.2 Test instrumentation

4.2.1 General

All test instrumentation shall be capable of performing measurements over the frequency range of 0,1 MHz to 2 000 MHz or at least the frequency range of the connector under test.

4.2.2 Vector network analyser

The VNA shall have a minimum of two ports (including one bi-directional port) to enable the data to be collated and calculated.

A 4-port VNA is recommended as a practical minimum number of ports, as this will allow the measurement of the full 16-term [mixed mode](#) S-parameter matrix on a given pair or pair combination without switching or reconnection, as shown in [Figure 6](#), [Figure 7](#), [Figure 8](#) and [Figure 9](#).

The use of a 2-port VNA will involve successive repositioning of the measurement port in order to measure any given parameter. For single-pair connectors a 4-port VNA is recommended to be used to measure all S-parameter combinations to avoid external switching. For 4-pair devices, a 16-port VNA is recommended to be used to measure all S-parameter combinations to avoid external switching.

4.2.3 RF switching unit

In order to minimize the reconnection of the DUT for each pair combination the use of a RF switching unit is also recommended.

Each conductor of the pair or pair combination under test shall be connected to a separate port of the VNA, and results are processed either by internal analysis within the VNA or by an external application.

4.2.4 Reference loads and termination loads

Reference loads and through connections shall be utilised for the calibration of the setup. Requirements for the reference loads shall be as given in [4.9](#). Termination loads shall be utilised for termination of pairs, used and unused, which are not terminated by the VNA. Requirements for the termination loads shall be as given in [4.11](#).

Loads used for calibration shall be paired as explained in [Annex E](#) to ensure good symmetry at the calibration plane.

4.3 Measurement precautions

To ensure a high degree of reliability for transmission measurements, the following precautions are required.

- Resistors with a tolerance of $\pm 0,1 \%$ shall be used throughout the test sequence.
- Cable and adapter discontinuities, as introduced by physical flexing, sharp bends and restraints shall be avoided before, during and after the tests.
- Standardised test methodology and termination resistors shall be used at all stages of transmission performance qualifications.
- The balance of the cables shall be maintained to the greatest extent possible by ensuring same conductor lengths and pair twisting to the point of load.
- The relative spacing of conductors in the pairs shall be preserved throughout the tests to the greatest extent possible.
- The sensitivity to setup variations for these measurements at high frequencies demands attention to details for both the measurement equipment and the procedures.
- The test setup shall be appropriately earthed (bonded).

4.4 Mixed mode S-parameter nomenclature

The test methods specified in this document are based on a balunless test setup in which all terminals of a device under test are measured and characterised as single-ended (SE) ports, i.e. signals (RF voltages and currents) shall be defined relative to a common earth (ground) plane. For a device with four terminals, a diagram is given in Figure 1.

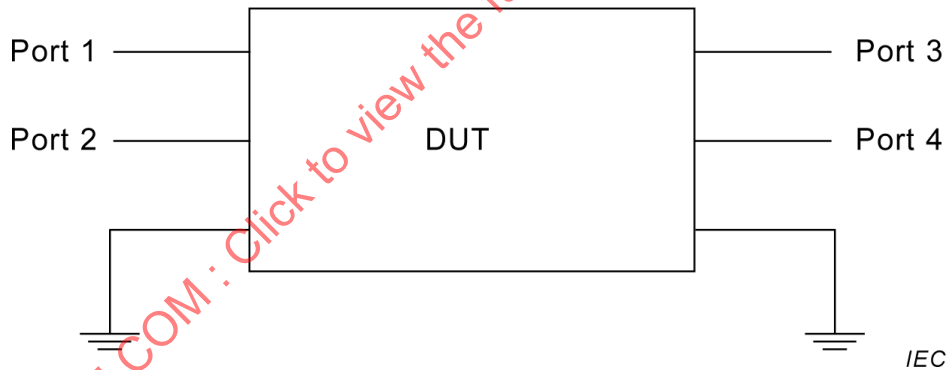
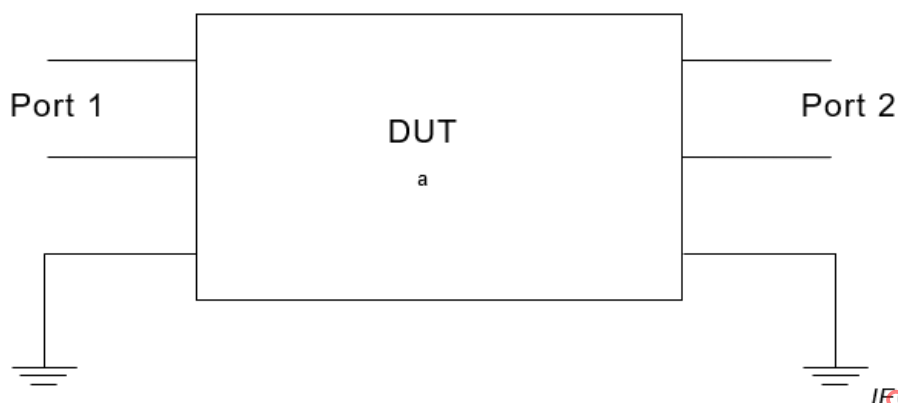


Figure 1 – Diagram of a single-ended 4-port device

The 4-port device in Figure 1 shall be characterised by the 16-term SE S-matrix given in Formula (1), in which the S-parameter S_{ba} expresses the relation between a single-ended response on port “b” resulting from a single-ended stimulus on port “a”.

$$S = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & S_{14} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} & S_{24} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} & S_{34} \\ S_{41} & S_{42} & S_{43} & S_{44} \end{bmatrix} \quad (1)$$

For a balanced device, each port shall be considered to consist of a pair of terminals (= a balanced port) as opposed to the SE ports defined above, see Figure 2.



a balanced

Figure 2 – Diagram of a balanced 2-port device

The device is characterised by a **mixed mode** S-matrix that includes all combinations of modes and ports, for example the **mixed mode** S-parameter S_{DC21} that expresses the relation between a differential mode response on port 2 resulting from a common mode stimulus on port 1. Using this nomenclature, the full set of **mixed mode** S-parameters for a 2-port device are given in Table 1.

Table 1 – Mixed mode S-parameter nomenclature

		Differential mode stimulus		Common mode stimulus	
		Port 1	Port 2	Port 1	Port 2
Differential mode response	Port 1	S_{DD11}	S_{DD12}	S_{DC11}	S_{DC12}
	Port 2	S_{DD21}	S_{DD22}	S_{DC21}	S_{DC22}
Common mode response	Port 1	S_{CD11}	S_{CD12}	S_{CC11}	S_{CC12}
	Port 2	S_{CD21}	S_{CD22}	S_{CC21}	S_{CC22}

A 4-terminal device can be represented both as a 4-port SE device as in Figure 1 characterised by a single-ended S-matrix (Formula (1)) and as a 2-port balanced device as in Figure 2 characterised by a **mixed mode** S-matrix (Table 1). As applying a SE signal to a port is mathematically equivalent to applying superimposed differential and common mode signals, the SE and the **mixed mode** characterisations of the device are interrelated. The conversion from SE to **mixed mode** S-parameters is given in Annex A. Making use of this conversion, the **mixed mode** S-parameters may be derived from the measured SE S-matrix.

4.5 Coaxial cables and interconnections for network analysers

Assuming that the characteristic impedance of the VNA is 50 Ω , coaxial cables used to interconnect the VNA, switching matrix and the test fixture shall be of 50 Ω characteristic impedance, and coaxial cable assemblies shall have a transfer impedance of maximum 50 m Ω below 1 MHz.

These coaxial cables should be as short as possible. Max. length: 1 000 mm (on each port).

The screens of each cable shall be electrically bonded to a common earth (ground) plane.

To optimize dynamic range, the total interconnecting cable insertion loss at 2 000 MHz should be less than 7 dB per metre.

4.6 Characteristic for switching matrices

Switches (if used) shall be of a minimum of 2×4 configuration at all ports, although a switch with a higher number of ports (for example 2×8, 1×16, 4×16) is recommended as this can allow more complete or even total measurement of the DUT without reconnection or moving the DUT. When such switching is used, it shall be constructed such that each port is configurable as input, output or 50 Ω termination. All inactive ports of the switch shall be terminated with a 50 Ω impedance load.

The switch shall comply with the minimum switch performance recommendations given by [Table 2](#).

Table 2 – Switch performance requirements

Parameter	Requirement	Requirement
	0,1 MHz to 1 000 MHz dB	>1 000 MHz to 2 000 MHz dB
Insertion loss	1,0 max.	2,0 max.
Return loss	68 - 20 log(<i>f</i>) min.40 max.18 min.	18 min.
Crosstalk loss	100 min.	97 min.

4.7 Test fixture types

Test fixtures are covered in three types, corresponding to three groups of connectors:

- **Indirect-reference** test fixtures, for connector types utilizing a reference connector for measurement of transmission parameters, with additional specifications, such as crosstalk (NEXT) vector for crosstalk compensation parameters; for example [IEC 60603-7 \[1\]](#) series (8-way types), [IEC 60603-7-2 \[12\]](#), [IEC 60603-7-3 \[13\]](#), [IEC 60603-7-4 \[14\]](#), [IEC 60603-7-5 \[15\]](#), [IEC 60603-7-41 \[16\]](#), [IEC 60603-7-51 \[17\]](#), [IEC 60603-7-81 \[6\]](#), and [IEC 63171 \[5\]](#).
- **Direct-probe** test fixtures, for connector types utilizing single-ended direct-probe measurement of transmission parameters, for example [IEC 60603-7 \[1\]](#) series (12-way types), [IEC 60603-7-7 \[18\]](#), [IEC 60603-7-71 \[19\]](#), [IEC 60603-7-82 \[7\]](#), and [IEC 61076-3-110 \[8\]](#).
- **Specialized** test fixtures, for connector types utilizing a combination of direct-probe and indirect-reference measurement of transmission parameters, for example [IEC 61076-3-104 \[9\]](#), and [IEC 61076-2-109 \[10\]](#).

For the test fixture types a), b), and c) detail specifications, see [Annex B](#), [Annex C](#), and [Annex D](#) respectively.

4.8 Requirements for termination performance at calibration plane

Termination performance at the calibration plane shall meet the requirements of [Table 3](#).

Table 3 – Requirements for terminations at calibration plane

Parameter	Requirement	Requirement
	0,1 MHz to 1 000 MHz dB	>1 000 MHz to 2 000 MHz dB
SE port (50 Ω) return loss	≥ 72 - 20 log(<i>f</i>)40 max.	12 min.
DM port (100 Ω) return loss	≥ 80 - 20 log(<i>f</i>)40 max.20 min.	20 min.
DM port-to-port residual NEXT	≥ 130 - 20 log(<i>f</i>)94 max.	70 min.

4.9 Reference loads for calibration

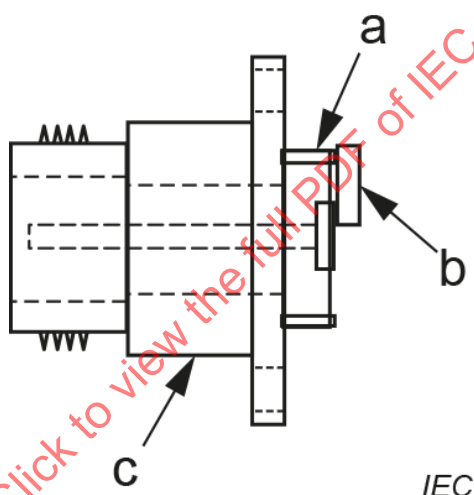
To perform calibration of the test equipment, the following devices shall be used:

- full 1-port calibration: a short circuit, an open circuit and a reference load;
- full 2-port calibration: as above, plus a through artefact (coaxial adapter).

The reference load, which might be part of a calibration kit or of an electronic calibration unit, shall be calibrated against a calibration reference, which shall be a 50 Ω load, traceable to an international reference standard. One 50 Ω reference load shall be calibrated against the calibration reference. The reference load for calibration shall be placed in an N-type connector according to IEC 61169-16, or in an SMA-type connector according to IEC 61169-15, types suitable for panel mounting, which are machined flat on the back side, see Figure 3.

The option to use SMA-type connectors, according to IEC 61169-15 is preferred.

The load shall be fixed to the flat side of the connector. A VNA shall be calibrated with a 1-port full calibration by using the calibration reference. Thereafter, the return loss of the reference load for calibration shall be measured. The verified return loss shall be > 46 dB at frequencies up to 100 MHz and > 40 dB at frequencies above 100 MHz and up to the limit for which the measurements are to be carried out.



- a Machined flat
- b Load for calibration
- c SMA-type connector

Figure 3 – Calibration of reference loads

4.10 Calibration

4.10.1 General

Isolation measurements shall be used as part of the calibration if the requirements of DM port-to-port residual NEXT in Table 3 are not met.

The calibration shall be equivalent to a minimum of a full 2-port SE calibration for measurements where the response and stimulus ports are the same (S_{xx11} and S_{xx22}) and a minimum of a full 4-port SE calibration for measurements where the response and stimulus ports are different (S_{xx12} and S_{xx21}).

An individual calibration shall be performed for each signal path used for the measurements.

If a complete switching matrix and a 4-port VNA test setup is used, a full set of measurements for a 4-pair device (i.e. 16 single-ended ports), will require 28 separate 4-port calibrations, although many of the measurements within each calibration are in common with other calibrations.

A software or hardware package may be used to minimize the number of calibration measurements required.

The calibration may be performed at the test interface using appropriate calibration artefacts or at the ends of the coaxial test cable using calibration kit and de-embedding data representing the test fixture.

4.10.2 Calibration test interface

Where calibration is performed at the test interface, open circuit, short circuit, and reference load measurements shall be taken on each SE port concerned. Through measurements shall be taken on every pair combination of those ports. Isolation measurements should be taken on every pair combination of those ports.

4.10.3 Calibration at end of coaxial test cables

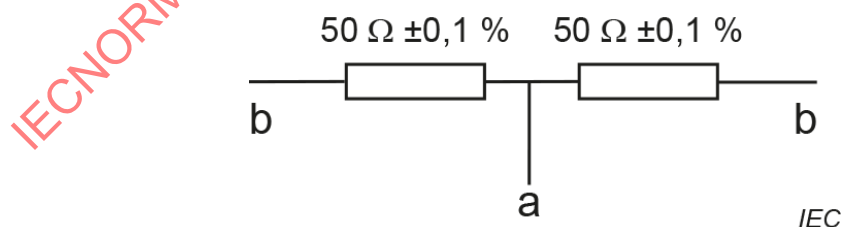
Where calibration is performed at the end of the coaxial test cables, open circuit, short circuit and reference load measurements shall be taken on each port concerned. Through measurements shall be taken on every pair combination of those ports. Isolation measurements should be taken on every pair combination of those ports. In addition, the test fixture shall then be de-embedded from the measurements. The de-embedding techniques shall incorporate a fully populated 16-term S-matrix. It is not acceptable to perform a de-embedded calibration using only reflection terms (S_{11} , S_{22} , S_{33} , S_{44}) or only near end terms (S_{12} , S_{21} , S_{34} , S_{43}).

De-embedding using reduced term S-matrices may be used for post-processing of results.

4.11 Termination loads for termination of conductor pairs

4.11.1 General

50 Ω loads to earth (ground plane) shall be used on all active wires under test, all inactive wires, on the opposite ends of active wires for NEXT and FEXT testing and inactive wires for return loss testing shall be terminated, see Figure 4.



a 50 Ω loads to earth (ground plane) for termination

b Device under test

Figure 4 – Resistor termination networks

Small geometry chip resistors shall be used for the construction of resistor terminations. The two 50 Ω SE terminating resistors shall be matched to within 0,1 % at DC, and 2 % at 2 000 MHz (corresponding to a 40 dB return loss requirement at 2 000 MHz).

4.11.2 Impedance matching resistor termination networks

The performance of impedance matching resistor termination networks shall be verified by measuring the return loss of the termination and the residual NEXT between any two resistor termination networks at the calibration plane if applicable.

For the return loss measurement, a 2-port SE calibration shall be done using a reference load verified according to 4.9.

After calibration, connect the resistor termination network and perform a full 2-port SE S-matrix measurement. The measured SE S-matrix shall be transformed into the associated **mixed mode** S-matrix to obtain the S-parameters S_{DD11} and S_{CC11} from which the differential mode return loss RL_{DM} and the common mode return loss RL_{CM} are determined. The return loss of the resistor termination network shall meet the requirements of Table 3.

For the residual NEXT measurement, a 4-port SE calibration is required. After calibration, connect the resistor termination networks and perform a full 4-port SE S-matrix measurement. The measured S-matrix shall be transformed into the associated **mixed mode** S-matrix to obtain the S-parameter S_{DD21} from which the residual NEXT of the terminations, $NEXT_{residual_term}$, is determined. The residual NEXT shall meet the requirements of Table 3.

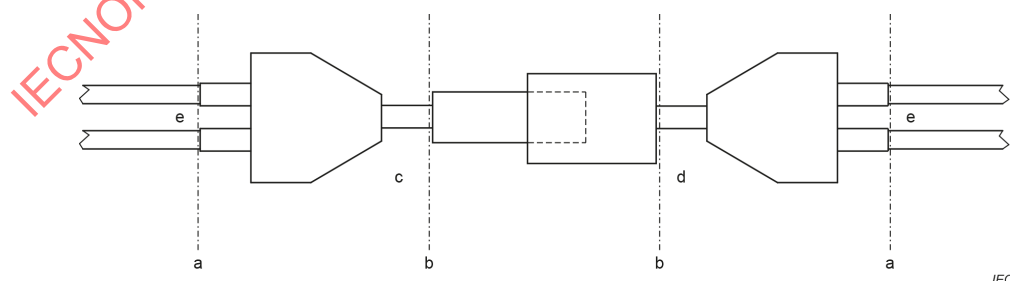
4.12 Termination of screens

When the connector under test is shielded, screened measurement cables shall be applied. The screen or screens of these cables should be fixed to the earth (ground) plane as close as possible to the calibration plane. In the unlikely event of an unshielded connector under test, screened measurement cables shall be applied. The screen or screens of these cables however shall be connected to the earth (ground) plane of the measurement device only.

4.13 Test specimen and reference planes

4.13.1 General

A test specimen is a mated pair of relevant connectors. The connector reference planes for the test specimen are the points at which the cable sheaths enter the back end of the connectors or the points at which the internal geometry of the cables are no longer maintained, whichever is farther from the connectors, see Figure 5. This definition applies to both ends of the test specimen. The DUT shall be terminated in accordance with the manufacturer's instructions and shall be compatible with the measurement test set up and fixtures.



- a calibration plane
- b reference plane
- c plug side
- d socket side
- e coaxial test cables

Figure 5 – Definition of reference planes

4.13.2 Interconnections between the device under test (DUT) and the calibration plane

4.13.2.1 General

Twisted-pair, coax, printed circuits or other qualified interconnections shall be used between the connector reference plane of the DUT and the calibration plane. Ensure the characteristics of these interconnections are controlled, as they are beyond the calibration plane. These interconnections should be as short as practical and their CM and DM impedances should be managed to minimize their effects on measurement.

The DM return loss performance of the interconnections shall meet the requirements of Table 4. The insertion loss performance of the interconnections is assumed to be less than 0,2 dB over the frequency range from 0,1 MHz to 2 000 MHz.

4.13.2.2 Twisted-pair interconnection

4.13.2.3 General

When used, a twisted-pair interconnection shall have 100 Ω nominal differential characteristic impedance. The twisted pair should not exhibit gaps between the conductor insulation. The twisted-pair interconnection can be obtained as an individual twisted-pair interconnection, or it can be part of a cable.

The interconnection shall comply with the return loss requirements of Table 4.

DM to earth (ground) terminations shall be used and the interconnection shall be placed in an impedance managing system. The maximum length of the twisted-pair leads at each end of the DUT shall be 51 mm, however they should be kept as short as possible.

4.13.2.4 Individual twisted-pair interconnection

An individual twisted-pair interconnection can be obtained from discrete twisted-pair stock or removed from sheathed cable.

Prior to attachment to the DUT, the return loss of the pair shall be tested. For this test, a 100 mm length of individual twisted-pair shall be used. The twisted-pair shall be terminated with a 50 Ω differential mode to earth (ground) resistor termination network as described in 4.11. The resistor termination network shall be attached directly to the conductors of the pair in such a way as to minimize the disturbance of the pair. Potential disturbances include gaps between the conductor insulation in the pair, melting of the insulation, and excess solder.

Return loss shall be tested according to Table 4.

NOTE The twisted-pair leads are then trimmed for attachment to the DUT and the test fixture.

4.13.2.5 Interconnections as part of cables

An interconnection can also be obtained from a section of twisted-pair cable where the four twisted-pair interconnections are maintained in the cable sheath. This method will most often be used with free connectors cut from the ends of assembled balanced cords but can also be used with fixed connectors.

Prior to attachment to the DUT, the return loss of each of the pairs within the cable shall be tested. For this test, a 100 mm length of cable shall be used. Each pair of the cable shall be terminated as described for the individual twisted-pair interconnection in 4.11. For the inactive pairs, namely the pairs not under test, the termination shall be applied to both ends.

The return loss shall be tested according to the requirements of Table 4.

The cable shall then be terminated to the DUT per manufacturer's instructions and trimmed for attachment to the test fixture.

When this method is used with free connectors cut from assembled cords, it shall be sufficient if the return loss of the cord cable is compliant to at least the category of the connector or if the return loss of the assembled cord is compliant to at least the balanced cord category of at least the category of the connector according the requirements of ISO/IEC 11801-1.

4.13.2.6 Direct probe single-ended **interconnection**

When used, direct probe single-ended **interconnection** shall have 50 Ω nominal single-ended (coaxial) characteristic impedance. Coaxial cables and printed circuit transmission lines within the test fixture, connected to the DUT connector contacts, should be sufficiently matched to conform to the **interconnection** DM return loss requirements of 4.13.2.4.

Refer to **Annex C** for additional information about **interconnections** between device under test (DUT) and the calibration plane, for connectors utilizing direct-probe test fixtures.

The **interconnection** shall comply with the return loss requirements of **Table 4**.

4.13.2.7 **Interconnection** DM return loss and TCTL requirements

The return loss of the **interconnection** shall be tested using the **mixed mode** approach as described in 4.11.2 for the verification of resistor termination networks. The **interconnection** shall be tested for differential mode return loss only and shall meet the requirements in **Table 4**.

Table 4 – **Interconnection DM return loss and TCTL requirements**

Parameter	Requirement	Requirement
	0,1 MHz to 100 MHz dB	100 MHz to 2 000 MHz dB
DM return loss	40	80 - 20 log(f), 20 min.
TCTL	80 - 20 log(f), 50 max.	80 - 20 log(f)

Twisted-pair **interconnections** shall be prepared for test as described in 4.13.2.2. When testing other **interconnections**, equivalent differential mode to earth (ground) plane terminations shall be applied.

4.14 Overall test setup requirements

The requirements of the overall test setup shall meet the requirements of **Table 5** when tested using terminations according to 4.11.

Table 5 – Overall test setup requirements

Parameter	Requirement	Requirement
	0,1 MHz to 1 000 MHz dB	>1 000 MHz to 2000 MHz dB
SE port (50 Ω) return loss	> 68 - 20 log(f) 20 max. 12 min.	12 min.
DM port (100 Ω) return loss	> 80 - 20 log(f) 40 max.	> 80 - 20 log(f) 18 min.
CM port (50 Ω) return loss a	> 68 - 20 log(f) 20 max. 12 min.	12 min.

SE (50 Ω) port-to-port (pair-to-pair) isolation:NEXT and FEXT	$> 125 - 20 \log(f)$ 80 max.	65 min.
SE (50 Ω) port-to-port (within a pair) isolation:NEXT and FEXT	$> 100 - 20 \log(f)$ 70 max.	40 min.
DM (100 Ω) port-to-port isolation: NEXT and FEXT	$> 140 - 20 \log(f)$ 94 max.	80 min.
DM (100 Ω) port-to-port isolation: near-end-to-far-endb	$> 140 - 20 \log(f)$ 94 max.	80 min.
DM (100 Ω) insertion loss	< 12	< 12
TCL, LCL	$> 90 - 20 \log(f)$ 60 max.	30 min.
TCTL, LCTL	$> 90 - 20 \log(f)$ 60 max.	30 min.
^a DUT common mode impedance is usually specified as 50 Ω , therefore for measurements, a transformation is required as specified in Annex A . For the case of balunless measurements, the common mode impedance measurement and thus return loss is derived as specified in Annex A . ^b The requirement can be met either through separation or shielding applied between fixtures.		

5 Connector measurements up to 2 000 MHz

5.1 General

The measurements made in [Clause 5](#) are on mated connectors. The figures show typical mated connectors with four pairs. For single-pair connectors the applicable parameters are given in the relevant detail specification. If applicable, the figures apply for one pair only.

5.1.1 Determining pass and fail

The measurements of the mated connector shall satisfy the requirements of the relevant detail specification for all pair combinations and in both directions as applicable.

5.2 Insertion loss, test 28a

5.2.1 Object

The object of this test is to measure the insertion loss of a mated connector pair. Insertion loss is defined here as the additional attenuation that is caused by a mated connector pair inserted in a communication cable.

5.2.2 Insertion loss

Mated connectors shall be evaluated for insertion loss in only one transmission direction.

5.2.3 Test method

Insertion loss is evaluated from the [mixed mode](#) parameter S_{DD21} for each conductor pair. The [mixed mode](#) S-parameters are derived by transformation of the SE S-matrix.

5.2.4 Test setup

The test setup shall consist of a VNA and two test fixtures as described in [Clause 4](#). An illustration of the test setup, which also shows the termination principles, is shown in [Figure 6](#). Resistor termination networks in accordance with [4.11](#) shall be applied for all inactive pairs. [Interconnections](#) (if used) shall be prepared and controlled per [4.13.2](#).

5.2.5 Procedure

5.2.5.1 Calibration

A full 4-port SE calibration shall be performed at the calibration planes in accordance with [4.10](#). Reference loads used for calibration shall be in accordance with [4.9](#).

5.2.5.2 Noise floor

This subclause remains void and is kept only for structural reasons.

5.2.5.3 Measurement

The DUT shall be tested in a test setup according to 5.2.4 and Figure 6, including proper termination of the active and inactive pairs. A full SE S-matrix measurement shall be recorded. The measured SE S-matrix shall be transformed into the associated mixed mode S-matrix to obtain the S-parameter S_{DD21} from which insertion loss is determined as shown in Formula (2).

$$IL(f) = -20 \cdot \log_{10}(|S_{DD21}|) = -20 \cdot \log_{10} \left(\left| \frac{1}{2} (S_{31} - S_{41} - S_{32} + S_{42}) \right| \right) \quad (2)$$

Test all conductor pairs and record the results.

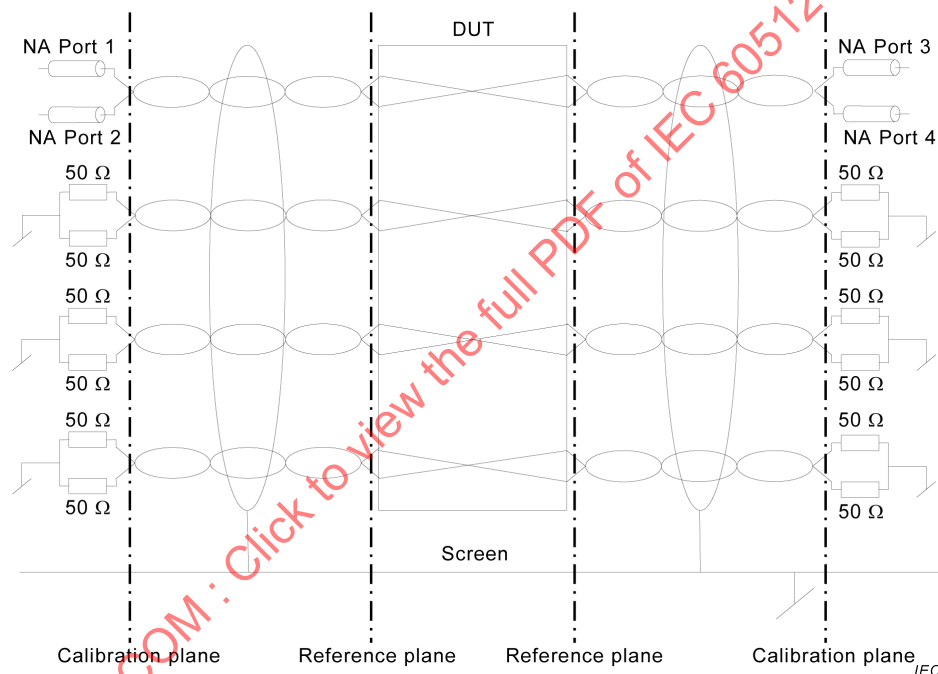


Figure 6 – Insertion loss and TCTL measurement

5.2.6 Test report

The test results shall be reported in graphical or table format with the specification limits shown on the graphs or in the table at the same frequencies as specified in the relevant detail specification. Results for all pairs shall be reported. It shall be explicitly noted if the test results exceed the test limits. In this case the test report shall contain the sentence: "The test is failed".

5.2.7 Accuracy

The two interfaces of the test equipment shall be mated at the calibration plane and an IL measurement shall be performed.

The accuracy shall be better than ± 1 dB at the specification limit.

5.3 Return loss, test 28b

5.3.1 Object

The object of this test is to measure the return loss of a mated connector pair at the two reference planes.

5.3.2 Return loss

Mated connectors shall be tested for return loss in both transmission directions using at least one free connector.

5.3.3 Test method

Return loss shall be evaluated from the **mixed mode** parameters S_{DD11} and S_{DD22} for all conductor pairs. The **mixed mode** S-parameters shall be derived by transformation of the measured SE S-matrix.

5.3.4 Test setup

The test setup shall consist of a VNA and two test fixtures as described in [Clause 4](#). An illustration of the test setup, which also shows the termination principles, is shown in [Figure 7](#). Resistor termination networks in accordance with [4.11](#) shall be applied for all active and inactive pairs. [Interconnections](#) (if used) shall be prepared and controlled per [4.13.2](#).

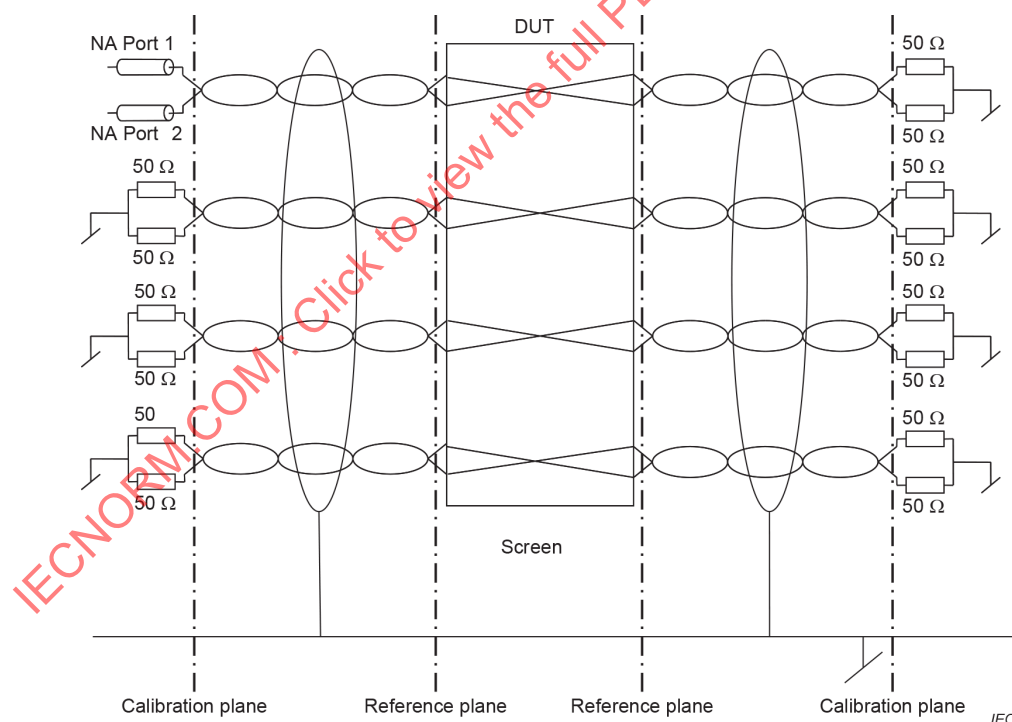


Figure 7 – Return loss and TCL measurement

Return loss can be measured in a test setup using only one fixture, a 2-port SE calibration and measurement. In this case, the return loss shall be measured in only one direction at a time.

5.3.5 Procedure

5.3.5.1 Calibration

A full 4-port SE calibration shall be performed at the calibration planes in accordance with 4.10. Reference loads used for calibration shall be in accordance with 4.11.

5.3.5.2 Noise floor

This subclause remains void and is kept only for structural reasons.

5.3.5.3 Measurement

The DUT shall be tested in a test setup according to 5.3.4 and Figure 7, including proper termination of the active and inactive pairs. A full SE S-matrix measurement shall be recorded. The measured SE S-matrix shall be transformed into the associated mixed mode S-matrix to obtain the S-parameter S_{DD21} from which insertion loss is determined as shown in Formula (3).

$$RL(f) = -20 \cdot \log_{10}(|S_{DD11}|) = -20 \cdot \log_{10} \left(\left| \frac{1}{2} (S_{11} - S_{21} - S_{12} + S_{22}) \right| \right) \quad (3)$$

All conductor pairs shall be tested and the results shall be recorded.

5.3.6 Test report

The test results shall be reported in graphical or table format with the specification limits shown on the graphs or in the table at the same frequencies as specified in the relevant detail specification. Results for all pairs shall be reported. It shall be explicitly noted if the test results exceed the test limits. In this case, the test report shall contain the sentence: "The test is failed".

5.3.7 Accuracy

The return loss of the load for calibration shall be verified to be greater than 46 dB up to 100 MHz and greater than 40 dB at higher frequencies. The uncertainty of the connection between the connector under test and the test fixture is expected to deteriorate the return loss of the setup (actually the directional bridge implemented by the test setup) by 6 dB. The accuracy of the return loss measurements is then equivalent to measurements performed by a directional bridge with a directivity of 40 dB and 34 dB.

5.4 Near-end crosstalk (NEXT), test 28c

5.4.1 Object

The object of this test procedure is to measure the magnitude of the electric and magnetic coupling between the near ends of a disturbing and disturbed pair of a mated connector pair combination.

NOTE NEXT is not applicable to single-pair connectors.

5.4.2 NEXT

Mated connectors shall be tested for NEXT in both transmission directions using at least one free connector.

5.4.3 Test method

NEXT shall be evaluated from the mixed mode parameter S_{DD21} for all conductor pair combinations. The mixed mode S-parameters shall be derived by transformation of the measured SE S-matrix.

5.4.4 Test setup

The test setup shall consist of a VNA and a test fixture as described in [Clause 4](#). An illustration of the test setup, which also shows the termination principles, is shown in [Figure 8](#). Resistor termination networks in accordance with [4.11](#) shall be applied for all inactive pairs and for the ends of active pairs not being connected to the VNA ports. Interconnects (if used) shall be prepared and controlled per [4.13.2](#).

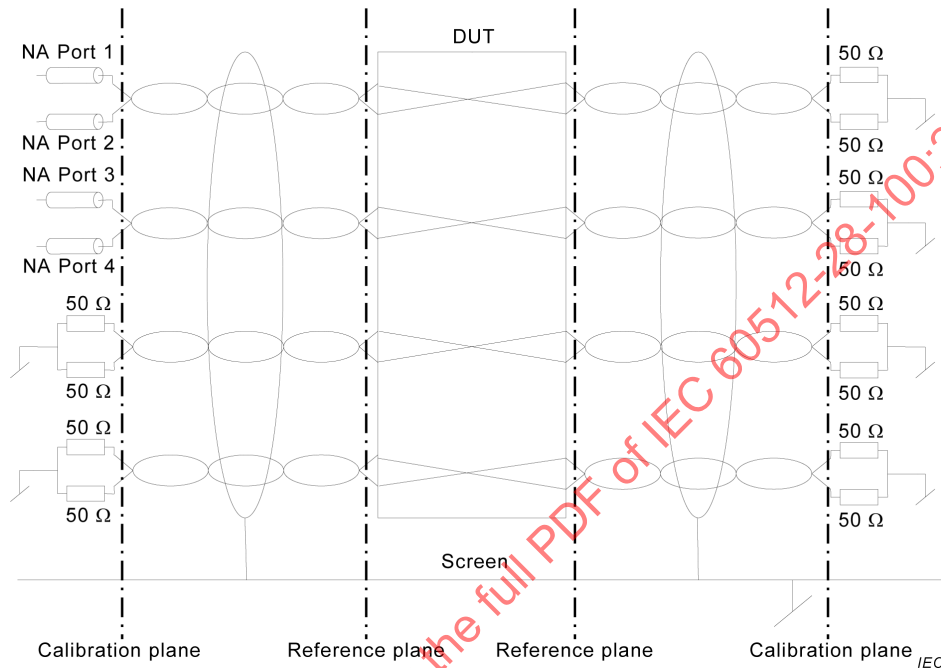


Figure 8 – NEXT measurement

5.4.5 Procedure

5.4.5.1 Calibration

A full 4-port SE calibration shall be performed at the calibration planes in accordance with [4.10](#). Reference loads used for calibration shall be in accordance with [4.11](#).

5.4.5.2 Noise floor

The noise floor of the setup shall be measured. The level of the noise floor shall be determined by white noise, which may be reduced by increasing the test power and by reducing the bandwidth of the VNA, and by residual crosstalk within the test fixture.

The noise floor shall be measured by terminating the test ports of the test fixture with resistor termination networks and performing a full SE S-matrix measurement. The measured SE S-matrix shall be transformed into the associated [mixed mode](#) S-matrix to obtain the S-parameter S_{DD21} from which the noise floor is established. The noise floor shall be established for all possible conductor pair combinations.

The noise floor shall be 20 dB lower than any specified limit for the crosstalk. If the measured value is closer to the noise floor than 20 dB, this shall be reported.

NOTE For high crosstalk values, it can be necessary to screen the terminating resistors.

5.4.5.3 Measurement

The DUT shall be arranged in a test setup according to 5.4.4 and Figure 8, including proper termination of the active and inactive pairs. A full SE S-matrix measurement shall be performed. The measured SE S-matrix shall be transformed into the associated **mixed mode** S-matrix to obtain the S-parameter S_{DD21} from which NEXT is determined.

$$NEXT(f) = -20 \cdot \log_{10}(|S_{DD21}|) = -20 \cdot \log_{10} \left(\left| \frac{1}{2} (S_{31} - S_{41} - S_{32} + S_{42}) \right| \right) \quad (4)$$

The test shall be performed from both ends of the mated connector. Test all conductor pair combinations and record the results.

5.4.6 Test report

The test results shall be reported in graphical or table format with the specification limits shown on the graphs or in the table at the same frequencies as specified in the relevant detail specification. Results for all pairs shall be reported. It shall be explicitly noted if the test results exceed the test limits.

5.4.7 Accuracy

The accuracy shall be better than ± 1 dB at measurements up to 60 dB and ± 2 dB at measurements up to 85 dB.

5.5 Far-end crosstalk (FEXT), test 28d

5.5.1 Object

The object of this test procedure is to measure the magnitude of the electric and magnetic coupling between the near end of a disturbing pair and the far end of a disturbed pair of a mated connector pair combination.

NOTE FEXT is not applicable for single-pair connectors.

5.5.2 FEXT

Mated connectors shall be tested for FEXT in both transmission directions using at least one free connector.

5.5.3 Test method

FEXT shall be evaluated from the **mixed mode** parameter S_{DD21} for all conductor pair combinations. The **mixed mode** S-parameters shall be derived by transformation of the measured SE S-matrix.

5.5.4 Test setup

The test setup shall consist of a VNA and two test fixtures as described in Clause 4. An illustration of the test setup, which also shows the termination principles, is shown in Figure 9. Resistor termination networks in accordance with 4.11 shall be applied for all inactive pairs and for the ends of active pairs not being connected to the VNA ports. **Interconnections** (if used) shall be prepared and controlled per 4.13.2.

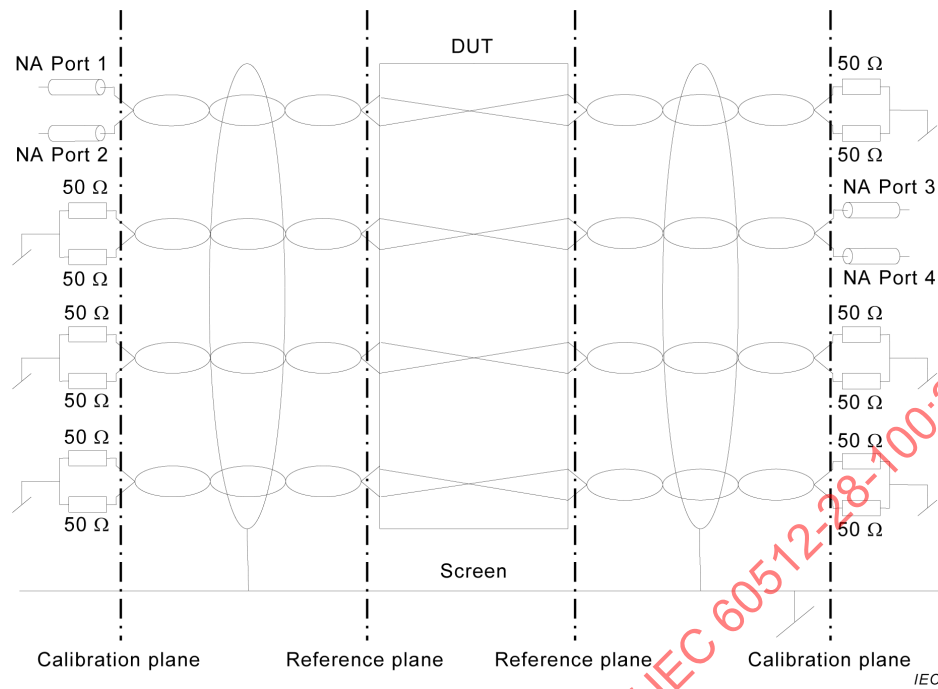


Figure 9 – FEXT measurement

5.5.5 Procedure

5.5.5.1 Calibration

A full 4-port SE calibration shall be performed at the calibration planes in accordance with 4.10. Reference loads used for calibration shall be in accordance with 4.11.

5.5.5.2 Noise floor

The noise floor of the setup shall be established as outlined in 5.4.5.2.

5.5.5.3 Measurement

The DUT shall be arranged in a test setup according to 5.5.4 and Figure 9, including proper termination of the active and inactive pairs. A full SE S-matrix measurement shall be performed. The measured SE S-matrix shall be transformed into the associated mixed mode S-matrix to obtain the S-parameter S_{DD21} from which FEXT shall be determined.

$$FEXT_{ik}(f) = -20 \cdot \log_{10}(|S_{DD21}|) = -20 \cdot \log_{10} \left(\left| \frac{1}{2} (S_{31} - S_{41} - S_{32} + S_{42}) \right| \right) \quad (5)$$

Test all conductor pair combinations and record the results.

5.5.6 Test report

The test results shall be reported in graphical or table format with the specification limits shown on the graphs or in the table at the same frequencies as specified in the relevant detail specification. Results for all pair combinations shall be reported. It shall be explicitly noted if the test results exceed the test limits.

5.5.7 Accuracy

The accuracy shall be better than ± 1 dB at measurements up to 60 dB and ± 2 dB at measurements up to 85 dB.

5.6 Transverse conversion loss (TCL), test 28f

5.6.1 Object

The object of this test is to measure the mode conversion (differential to common mode) of a signal in the conductor pairs of the DUT. This is also called unbalance attenuation or transverse conversion loss, TCL.

5.6.2 TCL

Mated connectors shall be tested for TCL from both transmission directions using at least one free connector.

5.6.3 Test method

TCL shall be evaluated from the **mixed mode** parameter S_{CD11} for all conductor pairs. The **mixed mode** S-parameters shall be derived by transformation of the measured SE S-matrix.

5.6.4 Test setup

The test setup shall consist of a VNA and a test fixture as described in [Clause 4](#). An illustration of the test setup, which also shows the termination principles, is shown in [Figure 7](#). Resistor termination networks in accordance with [4.11](#) shall be applied for all inactive pairs and for the ends of active pairs not being connected to the VNA ports. [Interconnections](#) (if used) shall be prepared and controlled per [4.13.2](#).

5.6.5 Procedure

5.6.5.1 Calibration

A full 2-port SE calibration shall be performed at the calibration plane in accordance with [4.10](#). Reference loads used for calibration shall be in accordance with [4.11](#).

5.6.5.2 Noise floor

The noise floor of the setup shall be measured. The level of the noise floor shall be determined by white noise, which can be reduced by increasing the test power and by reducing the bandwidth of the VNA, and by residual **intermodal** crosstalk within the test fixture.

The noise floor, a_{noise} , shall be measured by terminating the test ports of the test fixture with resistor termination networks and performing a full SE S-matrix measurement. The measured SE S-matrix shall be transformed into the associated **mixed mode** S-matrix to obtain the S-parameter S_{CD11} from which the noise floor shall be calculated as:

$$a_{noise} = -20\log|S_{CD11}| \quad (6)$$

The noise floor shall be established for all conductor pairs.

The noise floor shall be 20 dB lower than any specified limit for balance. If the measured value is closer to the noise floor than 20 dB, this shall be reported.

5.6.5.3 Measurement

The DUT shall be arranged in a test setup according to 5.6.4 and Figure 7, including proper termination of the active and inactive pairs. A full SE S-matrix measurement shall be performed. The measured SE S-matrix shall be transformed into the associated **mixed mode** S-matrix to obtain the S-parameter S_{CD11} from which TCL shall be calculated as:

$$TCL(f) = -20 \cdot \log_{10}(|S_{CD11}|) = -20 \cdot \log_{10} \left(\left| \frac{1}{2} (S_{11} + S_{21} - S_{12} - S_{22}) \right| \right) \quad (7)$$

The test shall be performed from both transmission directions on the mated connector. Test all conductor pairs and record the results.

5.6.6 Test report

The test results shall be reported in graphical or table format with the specification limits shown on the graphs or in the table at the same frequencies as specified in the relevant detail specification. Results for all pairs shall be reported. It shall be explicitly noted if the test results exceed the test limits.

5.6.7 Accuracy

The accuracy shall be better than ± 1 dB at the specification limit.

5.7 Transverse conversion transfer loss (TCTL), test 28g

5.7.1 Object

The object of this test is to measure the mode conversion (differential to common mode) of a signal in the conductor pairs of the DUT at the far end. This is also called far end unbalance attenuation or transverse conversion transfer loss, TCTL.

5.7.2 TCTL

Mated connectors shall be tested for TCTL from both transmission directions using at least one free connector.

5.7.3 Test method

TCTL shall be evaluated from the **mixed mode** parameter S_{CD21} for all conductor pairs. The **mixed mode** S-parameters shall be derived by transformation of the measured SE S-matrix.

5.7.4 Test setup

The test setup shall consist of a VNA and two test fixtures as described in Clause 4. An illustration of the test setup, which also shows the termination principles, is shown in Figure 6. Resistor termination networks in accordance with 4.11 shall be applied for all inactive pairs. **Interconnections** (if used) shall be prepared and controlled per 4.13.2.

5.7.5 Procedure

5.7.5.1 Calibration

A full 4-port SE calibration shall be performed at the calibration planes in accordance with 4.10. Reference loads used for calibration shall be in accordance with 4.11.

5.7.5.2 Noise floor

The noise floor of the test setup shall be measured using the same approach as outlined in 5.6.5.2 adapted to the 4-port test setup used for TCTL.

The noise floor a_{noise} shall be calculated from $S_{\text{CD}21}$ as:

$$a_{\text{noise}} = -20 \log |S_{\text{CD}21}| \quad (8)$$

The same requirements as described in 5.6.5.2 adapted to TCTL as in the 4-port test setup used for TCL shall apply.

5.7.5.3 Measurement

The DUT shall be arranged in a test setup according to 5.7.4 and Figure 6, including proper termination of the active and inactive pairs. A full SE S-matrix measurement shall be performed. The measured (4-port) SE S-matrix shall be transformed into the associated (2-port) mixed mode S-matrix to obtain the S-parameter $S_{\text{CD}21}$ from which TCTL shall be calculated as:

$$TCTL(f) = -20 \cdot \log_{10}(|S_{\text{CD}21}|) = -20 \cdot \log_{10} \left(\left| \frac{1}{2} (S_{31} + S_{41} - S_{32} - S_{42}) \right| \right) \quad (9)$$

The test shall be performed from both transmission directions on the mated connector. All conductor pairs shall be tested and the results shall be recorded.

5.7.6 Test report

The test results shall be reported in graphical or table format with the specification limits shown on the graphs or in the table at the same frequencies as specified in the relevant detail specification. Results for all pairs shall be reported. It shall be explicitly noted if the test results exceed the test limits.

5.7.7 Accuracy

The accuracy shall be better than ± 1 dB at the specification limit.

5.8 Shield transfer impedance (Z_T), test 26e

5.8.1 Object

The object of this test is to measure the shield transfer impedance of a common-mode signal transferred through the shield of the DUT. This is specifically required for shielded connectors and not applicable for unshielded connectors.

For further information on applicability, see IEC 60512-26-100, refer to test 26e.

5.8.2 Transfer impedance (Z_T)

Mated connectors transfer impedance (Z_T) shall be tested in accordance with IEC 62153-4-7 or IEC 62153-4-6 up to 100 MHz.

5.8.3 Test method

The transfer impedance (Z_T) test for connectors shall use the triaxial-tube-in-tube method or the line injection method.

5.8.4 Test setup

The test setup shall consist, depending on the adopted method, of a VNA and a fixture as described in IEC 62153-4-7 or IEC 62153-4-6. Resistor termination networks in accordance with 4.11 shall be applied between all conductors and the screen. Interconnections (if used) shall be prepared and controlled per 4.13.2.

Transfer impedance measurement data can be derived from a common measurement setup described in IEC 62153-4-7 or IEC 62153-4-6.

5.8.5 Procedure

5.8.5.1 Calibration

A full 4-port SE calibration shall be performed at the calibration planes in accordance with 4.10. Reference loads used for calibration shall be in accordance with 4.11.

5.8.5.2 Noise floor

The noise floor of the test setup shall be measured using the same approach as outlined in 5.6.5.2 adapted to the 4-port test setup used for TCTL.

The noise floor a_{noise} shall be calculated from $S_{\text{CD}21}$ as:

$$a_{\text{noise}} = -20\log|S_{\text{CD}21}| \quad (10)$$

5.8.5.3 Measurement

The DUT shall be arranged in a test setup according to the test fixtures as described in IEC 62153-4-7 or IEC 62153-4-6.

The measurement should be performed from the free connector end of the mated connectors. The common mode shall be tested and the results shall be recorded.

5.8.6 Test report

The test results shall be reported in graphical or table format with the specification limits shown on the graphs or in the table at the same frequencies as specified in the relevant detail specification. Results for all pairs shall be reported. It shall be explicitly noted if the test results exceed the test limits.

5.8.7 Accuracy

The accuracy shall be better than ± 3 dB at the specification limit.

5.9 Coupling attenuation (a_c)

5.9.1 Object

The object of this test is to measure the mode conversion ratio (differential-mode to common-mode) of a signal in the conductor pairs of the DUT. This is specifically required for shielded connectors and optional for unshielded connectors.

5.9.2 Coupling attenuation (a_c)

Mated connectors coupling attenuation shall be tested in accordance with IEC 62153-4-7 over the frequency range of 30 MHz to 2 000 MHz.

5.9.3 Test method

The coupling attenuation (a_C) test method for connectors is based on coupling attenuation (a_C) measurement methods, which utilize the triaxial-tube-in-tube or the absorbing-clamp method.

5.9.4 Test setup

The test setup shall consist of a VNA and a test fixtures as described in IEC 62153-4-7 or in IEC 62153-4-12. Resistor termination networks in accordance with 4.11 shall be applied for all inactive pairs. [Interconnections](#) (if used) shall be prepared and controlled per 4.13.2.

5.9.5 Procedure

5.9.5.1 Calibration

A full 4-port SE calibration shall be performed at the calibration planes in accordance with 4.10. Reference loads used for calibration shall be in accordance with 4.11.

5.9.5.2 Noise floor

The noise floor of the test setup shall be measured using the same approach as outlined in 5.6.5.2 adapted to the 4-port test setup used for TCTL.

The noise floor a_{noise} shall be calculated from S_{CD21} as:

$$a_{\text{noise}} = -20\log|S_{CD21}| \quad (11)$$

5.9.5.3 Measurement

The DUT shall be arranged in a test setup according to the test fixtures as described in IEC 62153-4-7 including proper termination of the active and inactive pairs. A full SE S-matrix measurement shall be performed. The measured (3-port) SE S-matrix shall be transformed into the associated (2-port) [mixed mode](#) S-matrix to obtain the S-parameter S_{SD21} from which coupling attenuation shall be calculated as:

$$AC = -20\log|S_{SD21}| \quad (12)$$

The test should be performed from the free connector end of the mated connectors. All conductor pairs shall be tested and the results shall be recorded.

5.9.6 Test report

The test results shall be reported in graphical or table format with the specification limits shown on the graphs or in the table at the same frequencies as specified in the relevant detail specification. Results for all pairs shall be reported. It shall be explicitly noted if the test results exceed the test limits.

5.9.7 Accuracy

The accuracy shall be better than ± 3 dB at the specification limit.

5.10 Low frequency coupling attenuation a_{CLF}

5.10.1 Object

The object of this test is to measure the mode conversion ratio (differential-mode to common-mode) of a signal in the conductor pairs of the DUT. This is specifically required for shielded

connectors and optional for unshielded connectors. The extension 'low frequency' describes lengths of a DUT below the length of one wavelength, for example 3 m for 100 MHz.

5.10.2 Low frequency coupling attenuation (a_{CLF})

Mated connectors coupling attenuation shall be tested in accordance with IEC 62153-4-7 or IEC 62153-4-15 over the frequency range of 0,1 MHz to 30 MHz.

5.10.3 Test method

The low frequency coupling attenuation (a_{CLF}) test method for connectors is based on the low frequency coupling attenuation (a_{CLF}) measurement methods, which utilize the triaxial-tube-in-tube method or the triaxial cell method.

5.10.4 Test setup

The test setup shall consist, depending on the adopted method, of a VNA and test fixture as described in IEC 62153-4-7 or IEC 62153-4-15. Resistor termination networks in accordance with 4.11 shall be applied for all inactive pairs. Interconnections (if used) shall be prepared and controlled per 4.13.2.

5.10.5 Procedure

5.10.5.1 Calibration

A full 4-port SE calibration shall be performed at the calibration planes in accordance with 4.10. Reference loads used for calibration shall be in accordance with 4.11.

5.10.5.2 Noise floor

The noise floor of the test setup shall be measured using the same approach as outlined in 5.6.5.2 adapted to the 4-port test setup used for TCTL.

The noise floor a_{noise} is calculated from S_{CD21} as:

$$a_{noise} = -20\log|S_{CD21}| \quad (13)$$

5.10.5.3 Measurement

The DUT shall be arranged in a test setup according to the test fixtures as described in IEC 62153-4-7 or IEC 62153-4-15 including proper termination of the active and inactive pairs. A full SE S-matrix measurement shall be performed. The measured (3-port) SE S-matrix shall be transformed into the associated (2-port) mixed mode S-matrix to obtain the S-parameter S_{SD21} from which coupling attenuation shall be calculated as:

$$AC = -20\log|S_{SD21}| \quad (14)$$

The test should be performed from the free connector end of the mated connectors. All conductor pairs shall be tested and the results shall be recorded.

5.10.6 Test report

The test results shall be reported in graphical or table format with the specification limits shown on the graphs or in the table at the same frequencies as specified in the relevant detail specification. Results for all pairs shall be reported. It shall be explicitly noted if the test results exceed the test limits.

5.10.7 Accuracy

The accuracy shall be better than ± 3 dB at the specification limit.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60512-28-100:2024

Annex A (informative)

Derivation of **mixed mode** parameters using the modal decomposition technique

A.1 General

It is not a requirement of this document that a full derivation is produced, and any method of extracting the required S-parameters is acceptable. This may be achieved by the use of VNA hardware functions, specific mathematical software, or by circuit simulation tools.

This informative annex presents a summary of how to derive **mixed mode** parameters from 4-port measurements of S-parameters.

An impedance matrix (Z) of the DUT can be calculated based on [Formula \(A.1\)](#).

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & Z_{13} & Z_{14} \\ Z_{21} & Z_{22} & Z_{23} & Z_{24} \\ Z_{31} & Z_{32} & Z_{33} & Z_{34} \\ Z_{41} & Z_{42} & Z_{43} & Z_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \end{bmatrix} \quad (\text{A.1})$$

Where V is the voltage and I is the current, see [Figure A.1](#):

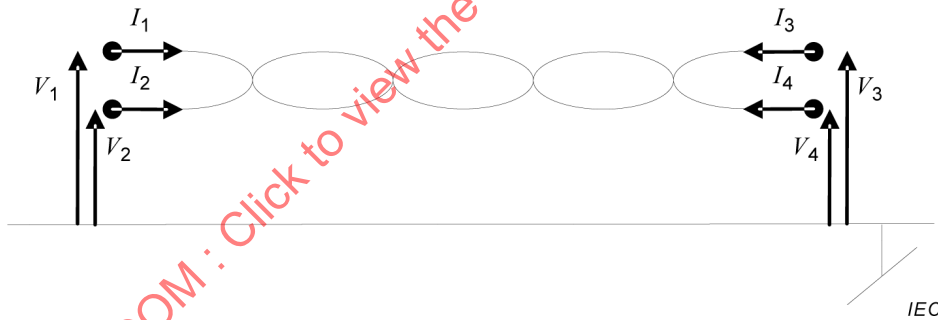


Figure A.1 – Voltage and current on balanced DUT

A.2 Example of a calculation

The modal domain impedance matrix $[Z^m]$ is then calculated from [Formula \(A.2\)](#), using the conversion matrices given in [Formula \(A.3\)](#) and [Formula \(A.4\)](#).

$$Z^m = P_e^{-1} Z Q_e \quad (\text{A.2})$$

$$P_e^{-1} = \begin{bmatrix} P^{-1} & 0 \\ 0 & P^{-1} \end{bmatrix} \quad (\text{A.3})$$

$$Q_e = \begin{bmatrix} Q & 0 \\ 0 & Q \end{bmatrix} \quad (\text{A.4})$$

In the case of a 1 pair DUT, the size of the conversion matrices becomes 4x4 with the values given in [Formula \(A.5\)](#) and [Formula \(A.6\)](#).

$$P = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & 1 \\ -\frac{1}{2} & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{A.5})$$

$$Q = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{2} \\ -1 & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \quad (\text{A.6})$$

The conversion matrices replace the balun transformers and are referred to as mathematical baluns, producing [Formula \(A.7\)](#) and [Formula \(A.8\)](#).

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{bmatrix} = P_e \begin{bmatrix} V_{D1} \\ V_{C1} \\ V_{D2} \\ V_{C2} \end{bmatrix} \quad (\text{A.7})$$

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \end{bmatrix} = Q_e \begin{bmatrix} I_{D1} \\ I_{C1} \\ I_{D2} \\ I_{C2} \end{bmatrix} \quad (\text{A.8})$$

[Formula \(A.9\)](#) is obtained by substituting [Formula \(A.7\)](#) and [Formula \(A.8\)](#) into [Formula \(A.1\)](#) which is equivalent to a set of hybrid transformers attached at each end of the cable pair as described in [Figure A.2](#).

$$\begin{bmatrix} V_{D1} \\ V_{C1} \\ V_{D2} \\ V_{C2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11}^m & Z_{12}^m & Z_{13}^m & Z_{14}^m \\ Z_{21}^m & Z_{22}^m & Z_{23}^m & Z_{24}^m \\ Z_{31}^m & Z_{32}^m & Z_{33}^m & Z_{34}^m \\ Z_{41}^m & Z_{42}^m & Z_{43}^m & Z_{44}^m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{D1} \\ I_{C1} \\ I_{D2} \\ I_{C2} \end{bmatrix} \quad (\text{A.9})$$

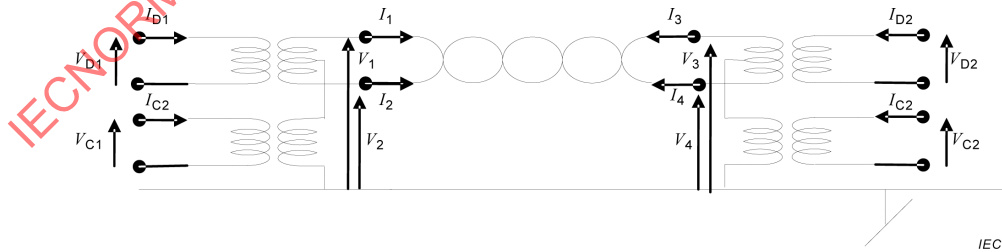


Figure A.2 – Voltage and current on unbalanced DUT

For the measurements concerned in this document, S-parameters are measured and converted into Z-Parameters. The Z-parameter matrix of a 2n-port circuit can be derived using [Formula \(A.10\)](#).

$$Z = R^{\frac{1}{2}}[E + S][E - S]^{-1}R^{\frac{1}{2}} \quad (\text{A.10})$$

Where E is a $2n \times 2n$ unit matrix and R_{12} is given by [Formula \(A.11\)](#).

$$R_{12}^{\frac{1}{2}} = \begin{bmatrix} \sqrt{r_1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \sqrt{r_2} & 0 & \vdots \\ \vdots & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & \sqrt{r_{2n}} \end{bmatrix} \quad (\text{A.11})$$

Where r_x is the impedance of the measurement port, typically 50Ω , giving [Formula \(A.12\)](#).

$$R_{12}^{\frac{1}{2}} = \begin{bmatrix} \sqrt{50} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \sqrt{50} & 0 & \vdots \\ \vdots & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & \sqrt{50} \end{bmatrix} \quad (\text{A.12})$$

The S-parameters in the modal domain are then calculated using [Formula \(A.13\)](#), giving [Formula \(A.14\)](#).

$$S^m = R_m^{\frac{1}{2}} [Z^m - R_m] [Z^m + R_m]^{-1} R_m^{\frac{1}{2}} \quad (\text{A.13})$$

$$R_m^{\frac{1}{2}} = \begin{bmatrix} \sqrt{r_{m1}} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \sqrt{r_{m2}} & 0 & \vdots \\ \vdots & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & \sqrt{r_{m2n}} \end{bmatrix} \quad (\text{A.14})$$

By this method, it is possible to convert unbalanced VNA measurements into [mixed mode S-matrices](#) which contain both balanced and unbalanced parameters, as in [Formula \(A.15\)](#).

$$\begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & S_{14} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} & S_{24} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} & S_{34} \\ S_{41} & S_{42} & S_{43} & S_{44} \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} S_{DD11} & S_{DC11} & S_{DD12} & S_{DC12} \\ S_{CD11} & S_{CC11} & S_{CD12} & S_{CC12} \\ S_{DD21} & S_{DC21} & S_{DD22} & S_{DC22} \\ S_{CD21} & S_{CC21} & S_{CD22} & S_{CC22} \end{bmatrix} \quad (\text{A.15})$$

Annex B (normative)

Indirect-reference test fixtures

B.1 General

Indirect-reference test fixtures are used for measurement of transmission parameters for connector types for example IEC 60603-7 [1] series (8-way types), IEC 60603-7-2 [12], IEC 60603-7-3 [13], IEC 60603-7-4 [14], IEC 60603-7-5 [15], IEC 60603-7-41 [16], IEC 60603-7-51 [17], IEC 60603-7-81 [6].

The indirect-reference test fixtures [20] and associated test procedures used for measuring IEC 60603-7 [1] series 8-way connector types transmission parameters shall conform to their respective detail specification test procedures requirements and to the requirements in this annex. In the case that a conflict arises between the requirements in the respective detail specification test procedures and this document, the respective detail specification test procedures shall take precedence.

The IEC 60603-7 [1] series 8-way connector types detail specifications and respective detail test procedures standards for connector transmission parameters measurements are given in Table B.1.

Table B.1 – [1] series 8-way connector types detail specifications and respective detail connector test procedures standards

Connector specification	Frequency MHz	Test procedures standard	Test connectors standard
IEC 60603-7-2 [12] IEC 60603-7-3 [13]	100	IEC 60512-26-100	IEC 60512-26-100
IEC 60603-7-4 [14] IEC 60603-7-5 [15]	250	IEC 60512-26-100	IEC 60512-26-100
IEC 60603-7-41 [16] IEC 60603-7-51 [17]	500	IEC 60512-27-100	IEC 60512-27-100
IEC 60603-7-81 [6]	2 000	This document	IEC 60512-27-200

B.2 Requirements

B.2.1 General requirements

Indirect-reference test fixtures shall meet the overall test fixtures minimum signal integrity requirements listed in 4.14.

NOTE The overall test fixtures minimum signal integrity requirements are general requirements, applicable to all test fixture types.

B.2.2 Specific requirements

Reference test fixtures shall conform to the test fixtures requirements given in the respective connector standard test procedure standard, given in Table B.1.

The 2 000 MHz reference connector crosstalk (NEXT) vector for testing crosstalk compensation circuits shall conform to the limits or fall within the boundary value ranges described in Table B.2.

The reference test fixtures shall be modified for 2 000 MHz according to the requirements given in the supplemental 2 000 MHz connector standard test procedure, IEC 60512-27-200.

Table B.2 – Reference connector crosstalk (NEXT) vector

Case #	Pair combination	Limit	Limit free connector NEXT loss magnitude dB	Limit free connector NEXT loss phase degrees
Case 1	3,6 to 4,5	Low	$78,1 - 20 \log(f)$	50 MHz to 100 MHz: $(-90 + 1,5 \times f / 100) \pm$ 1100 MHz to 2 000 MHz: $(-90 + 1,5 \times f / 100) \pm$ $f / 100$
Case 2	3,6 to 4,5	Central	$78,6 - 20 \log(f)$	See Case 1
Case 3	3,6 to 4,5	Central	$79,0 - 20 \log(f)$	See Case 1
Case 4	3,6 to 4,5	High	$79,5 - 20 \log(f)$	See Case 1
Case 5	1,2 to 3,6	Low	$86,5 - 20 \log(f)$	50 MHz - 2 000 MHz: $(-90 + 1,5 \times f / 100) \pm 3 \times$ $f / 100$
Case 6	1,2 to 3,6	High	$89,5 - 20 \log(f)$	See Case 5
Case 7	3,6 to 7,8	Low	$86,5 - 20 \log(f)$	50 MHz to 2 000 MHz: $(-90 + 1,5 \times f / 100) \pm 3 \times$ $f / 100$
Case 8	3,6 to 7,8	High	$89,5 - 20 \log(f)$	See Case 7
Case 9	1,2 to 4,5	Low	$97 - 20 \log(f)$	50 MHz to 2 000 MHz: $90 \pm (30 \times f / 100)$
Case 10	1,2 to 4,5	High	$110 - 20 \log(f)$	See Case 10
Case 11	4,5 to 7,8	Low	$97 - 20 \log(f)$	50 MHz to 2 000 MHz: $90 \pm (30 \times f / 100)$
Case 12	4,5 to 7,8	High	$110 - 20 \log(f)$	See Case 11
Case 13	1,2 to 7,8	Low	$106 - 20 \log(f)$	Any phase
Case 14	1,2 to 7,8	High	$106 - 20 \log(f)$	See Case 13

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60512-28-100:2024

Annex C (normative)

Direct-probe test fixtures

C.1 General

Direct-probe test fixtures are for connector types utilizing single-ended direct-probe measurement of transmission parameters, for example IEC 60603-7 [1] series (12-way types), IEC 60603-7-7 [18], IEC 60603-7-71 [19], IEC 60603-7-82 [7], and IEC 61076-3-110 [8].

The direct-probe test fixtures and associated test procedures used for measuring IEC 60603-7 [1] series 12-way connector types transmission parameters shall conform to their respective detail specification test procedures requirements and to the requirements in this annex. In the case that a conflict arises between the requirements in the respective detail specification test procedures and this document, the respective detail specification test procedures shall take precedence.

C.2 Requirements

C.2.1 General requirements

Direct-probe test fixtures shall meet the overall test fixtures minimum signal integrity requirements listed in 4.14.

NOTE The overall test fixtures minimum signal integrity requirements are general requirements, applicable to all test fixture types.

C.2.2 Specific requirements

Direct-probe connector's signal integrity test fixtures should meet the minimum signal integrity requirements listed in Table C.1.

Table C.1 – Direct-probe test fixture requirements

Parameter	Requirement 0,1 MHz to 1 000 MHz dB	Requirement >1 000 MHz to 2 000 MHz dB
SE port (50 Ω) return loss	> 80 - 20 log(f)40 max.	> 80 - 20 log(f)18 min.
DM port (100 Ω) return loss	> 80 - 20 log(f)40 max.	> 80 - 20 log(f)18 min.
CM port (50 Ω) return loss	> 78 - 20 log(f)30 max.18 min.	18 min.
SE (50 Ω) port-to-port (pair-to-pair) isolation:NEXT and FEXT	> 135 - 20 log(f)85 max.	75 min.
SE (50 Ω) port-to-port (within a pair) isolation:NEXT and FEXT	> 110 - 20 log(f)80 max.	50 min.
DM (100 Ω) port-to-port isolation: NEXT and FEXT	> 140 - 20 log(f)94 max.	80 min.
DM (100 Ω) port-to-port isolation: near-end-to-far-end	> 140 - 20 log(f)94 max.	80 min.
DM (100 Ω) insertion loss	< 6	< 6
TCL, LCL	> 90 - 20 log(f)60 max.	30 min.
TCTL, LCTL	> 90 - 20 log(f)60 max.	30 min.

DUT common mode impedance is usually specified as 50 Ω , therefore for measurements, a transformation is required as specified in Annex A. For the case of balunless measurements

the common mode impedance measurement and thus return loss is derived as specified in [Annex A](#).

The requirement can be met either through separation or shielding applied between fixtures.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60512-28-100:2024

Annex D (normative)

Specialized test fixtures

D.1 General

Specialized test fixtures are for connector types utilizing a combination of direct-probe and indirect-reference measurement of transmission parameters, for example IEC 61076-3-104 [9], and IEC 61076-2-109 [10].

The specialized test fixtures, for connector types utilizing a combination of direct-probe and indirect-reference test fixtures, and the associated test procedures used for measuring their transmission parameters, shall conform to their respective detail specification test procedures requirements and to the requirements in this annex. In the case that a conflict arises between the requirements in the respective detail specification test procedures and this document, the respective detail specification test procedures shall take precedence.

D.2 Requirements

D.2.1 General requirements

Specialized test fixtures shall meet the overall test fixtures minimum signal integrity requirements listed in 4.14.

NOTE The overall test fixtures minimum signal integrity requirements are general requirements, applicable to all test fixture types.

Specialized test fixtures should meet the direct-probe test fixtures minimum isolation requirements listed in Table C.1.

D.2.2 Specific requirements

Specialized test fixtures shall conform to the requirements given in the respective connector standard test procedure, for example IEC 60512-29-100.

Annex E (informative)

Symmetry verification of resistors used for calibration

E.1 General

To ensure correct evaluation of symmetry of test fixtures the resistors used as termination shall be verified. This will avoid wrong calibration and wrong test results afterwards if a real DUT is connected to the test interface. It can be considered that [Formula \(7\)](#) provided in [5.6.5.3](#) and the single-ended S-parameters in the formula it can be found:

$$TCL = -20\log(|S_{CD11}|) = -20\log\left(\left|\frac{1}{2}(S_{11}+S_{21}-S_{12}-S_{22})\right|\right) \quad (E.1)$$

It can be expected that the crosstalk from wire 'a' to wire 'b' is the same as from wire 'b' to wire 'a'.

$$S_{13} = S_{31} \quad (E.2)$$

The two return loss measurements S_{11} and S_{33} shall be compared. The conclusion therefore is, that only if both measurements are similar high TCL values can be achieved for termination networks.

E.2 Procedure

As a first step, a reference termination has to be chosen. This will be used to find similar terminations which can be achieved after to achieve best TCL values on the calibration plane. This reference termination has to be used to do a full 1-port calibration using the reference termination as load. To see differences between loads, it is recommended to use a polar plot as shown in [Figure E.1](#).

As the DUT reaches highest TCL values at low frequencies this part of the frequency range has to be used to define which terminations shall be paired.

As shown in [Figure E.1](#) also 50 Ω SMA termination will differ one from another. TCL is most critical at low frequencies and therefore only this range is given above.

Two loads shall be chosen which show the same deviations to the reference load.

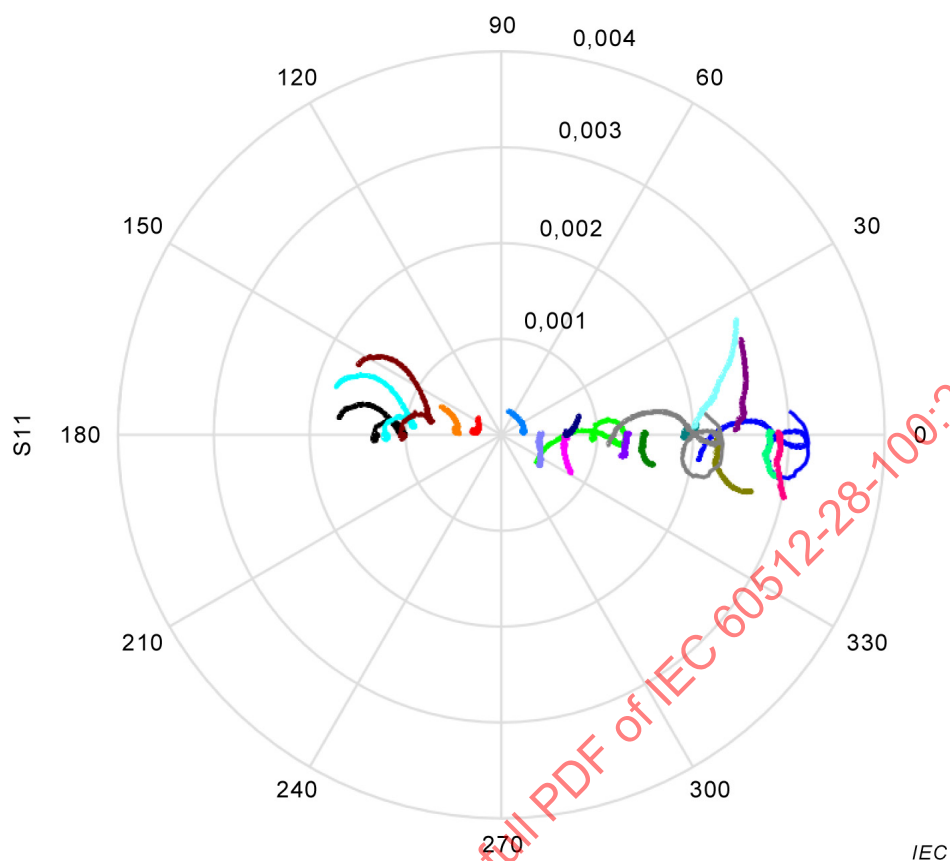


Figure E.1 – Example of 50 Ω SMA termination comparison (1 MHz – 100 MHz)

E.3 Example

As an example, [Figure E.2](#) shows the same cable tested, once using paired termination and once using terminations with the same magnitude but opposite phases. As explained in [E.2](#) the effect can be seen at the lowest frequencies, for 100 m cables up to 10 MHz. If other DUTs are used like mated connectors, this can cover the whole frequency range, as the attenuation of the DUT is very low.

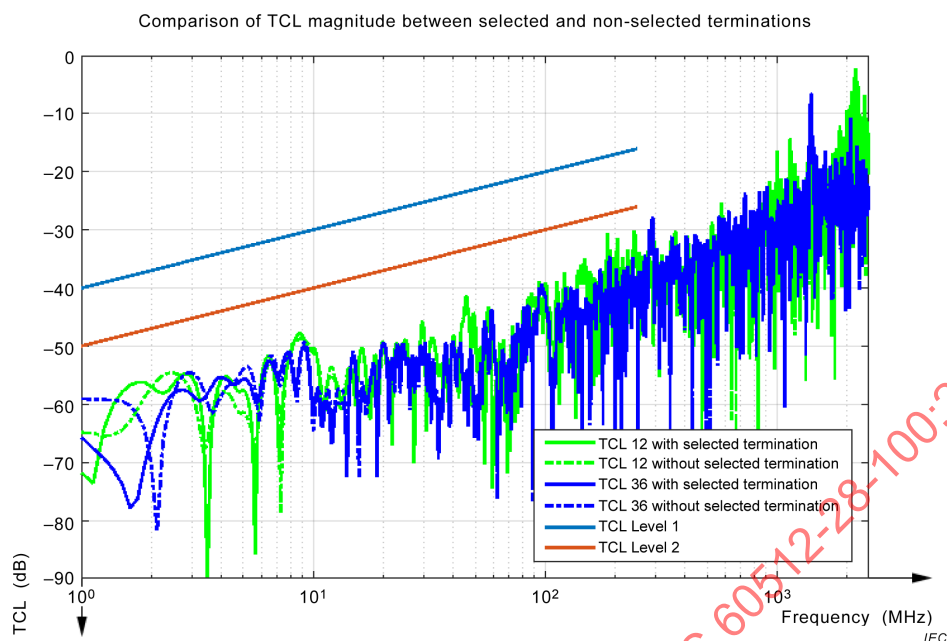


Figure E.2 – Comparison of phase selected and only magnitude selected terminations

At these levels, the transmission and reflection measurement uncertainty of the VNA cannot be neglected. This leads to a residual TCL level. By using paired termination at least the influence of the termination can be reduced.

Even though terminations' return loss might be exactly the same in value (which can be in practice either due to measurement error or by accident), transmission uncertainty is not, and thus there will always be a finite residual symmetry value.

Bibliography

- [1] IEC 60603-7, *Connectors for electronic equipment – Part 7: Detail specification for 8-way, unshielded, free and fixed connectors*
- [2] IEC 61076-1, *Connectors for electronic equipment – Product requirements – Part 1: Generic specification*
- [3] IEC 61076-2, *Connectors for electronic equipment – Product requirements – Part 2: Sectional specification for circular connectors*
- [4] IEC 61076-3, *Connectors for electronic equipment – Product requirements – Part 3: Rectangular connectors – Sectional specification*
- [5] IEC 63171, *Connectors for electrical and electronic equipment – Shielded or unshielded free and fixed connectors for balanced single-pair data transmission with current-carrying capacity – General requirements and tests*
- [6] IEC 60603-7-81, *Connectors for electronic equipment – Part 7-81: Detail specification for 8-way, shielded, free and fixed connectors, for data transmissions with frequencies up to 2 000 MHz*
- [7] IEC 60603-7-82, *Connectors for electronic equipment – Part 7-82: Detail specification for 8-way, 12 contacts, shielded, free and fixed connectors, for data transmission with frequencies up to 2 000 MHz*
- [8] IEC 61076-3-110, *Connectors for electronic equipment – Product requirements – Part 3-110: Detail specification for free and fixed connectors for data transmission with frequencies up to 3 000 MHz*
- [9] IEC 61076-3-104, *Connectors for electrical and electronic equipment – Product requirements – Part 3-104: Detail specification for 8-way, shielded free and fixed connectors for data transmissions with frequencies up to 2 000 MHz*
- [10] IEC 61076-2-109, *Connectors for electronic equipment – Product requirements – Part 2-109: Circular connectors – Detail specification for connectors with M 12 x 1 screw-locking, for data transmission frequencies up to 500 MHz*
- [11] IEC 61156 (all parts), *Multicore and symmetrical pair/quad cables for digital communications*
- [12] IEC 60603-7-2, *Connectors for electronic equipment – Part 7-2: Detail specification for 8-way, unshielded, free and fixed connectors, for data transmissions with frequencies up to 100 MHz*
- [13] IEC 60603-7-3, *Connectors for electronic equipment – Part 7-3: Detail specification for 8-way, shielded, free and fixed connectors, for data transmission with frequencies up to 100 MHz*
- [14] IEC 60603-7-4, *Connectors for electronic equipment – Part 7-4: Detail specification for 8-way, unshielded, free and fixed connectors, for data transmissions with frequencies up to 250 MHz*
- [15] IEC 60603-7-5, *Connectors for electronic equipment – Part 7-5: Detail specification for 8-way, shielded, free and fixed connectors, for data transmissions with frequencies up to 250 MHz*

- [16] IEC 60603-7-41, *Connectors for electronic equipment – Part 7-41: Detail specification for 8-way, unshielded, free and fixed connectors, for data transmissions with frequencies up to 500 MHz*
- [17] IEC 60603-7-51, *Connectors for electronic equipment – Part 7-51: Detail specification for 8-way, shielded, free and fixed connectors, for data transmissions with frequencies up to 500 MHz*
- [18] IEC 60603-7-7, *Connectors for electronic equipment – Part 7-7: Detail specification for 8-way, shielded, free and fixed connectors for data transmission with frequencies up to 600 MHz*
- [19] IEC 60603-7-71, *Connectors for electronic equipment – Part 7-71: Detail specification for 8-way, shielded, free and fixed connectors, for data transmission with frequencies up to 1 000 MHz*
- [20] Characterisation of FNET Airplane Test Fixtures and Multiport Port De embedding Matrices <https://www.flukenetworks.com/edocs/characterisation-fnet-airplane-test-fixtures-and-multiport-port-de-embedding-matrices>

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60512-28-100:2024

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60512-28-100:2024

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	52
1 Domaine d'application	54
2 Références normatives	54
3 Termes, définitions et abréviations	56
3.1 Termes et définitions	56
3.2 Abréviations	57
4 Dispositif d'essai global	57
4.1 Généralités	57
4.2 Instrumentation d'essai	57
4.2.1 Généralités	57
4.2.2 Analyseur vectoriel de réseau	57
4.2.3 Unité de commutation RF	58
4.2.4 Charges de référence et charges de sortie	58
4.3 Précautions de mesure	58
4.4 Nomenclature des paramètres S en mode mixte	59
4.5 Câbles coaxiaux et interconnexions pour analyseurs de réseau	60
4.6 Caractéristiques pour les matrices de commutation	60
4.7 Types de dispositifs d'essai	61
4.8 Exigences relatives aux performances des terminaisons sur le plan d'étalonnage	61
4.9 Charges de référence pour l'étalonnage	62
4.10 Étalonnage	63
4.10.1 Généralités	63
4.10.2 Interface d'essai pour l'étalonnage	63
4.10.3 Étalonnage à l'extrémité des câbles d'essai coaxiaux	63
4.11 Charges de sortie pour la terminaison des paires de conducteurs	64
4.11.1 Généralités	64
4.11.2 Réseaux de charges résistives d'adaptation d'impédance	64
4.12 Sortie des écrans	65
4.13 Éprouvette et plans de référence	65
4.13.1 Généralités	65
4.13.2 Interconnexions entre le dispositif en essai (DUT) et le plan d'étalonnage	65
4.14 Exigences du montage d'essai global	68
5 Mesures des connecteurs jusqu'à 2 000 MHz	68
5.1 Généralités	68
5.1.1 Détermination d'acceptation et de rejet	69
5.2 Perte d'insertion, essai 28a	69
5.2.1 Objet	69
5.2.2 Perte d'insertion	69
5.2.3 Méthode d'essai	69
5.2.4 Montage d'essai	69
5.2.5 Procédure	69
5.2.6 Rapport d'essai	70

5.2.7	Exactitude	70
5.3	Affaiblissement de réflexion, essai 28b	70
5.3.1	Objet	70
5.3.2	Affaiblissement de réflexion	70
5.3.3	Méthode d'essai	70
5.3.4	Montage d'essai	71
5.3.5	Procédure	71
5.3.6	Rapport d'essai	72
5.3.7	Exactitude	72
5.4	Paradiaphonie (NEXT), essai 28c	72
5.4.1	Objet	72
5.4.2	NEXT	72
5.4.3	Méthode d'essai	72
5.4.4	Montage d'essai	73
5.4.5	Procédure	73
5.4.6	Rapport d'essai	74
5.4.7	Exactitude	74
5.5	Télédiaphonie (FEXT), essai 28d	74
5.5.1	Objet	74
5.5.2	Télédiaphonie (FEXT)	74
5.5.3	Méthode d'essai	74
5.5.4	Montage d'essai	74
5.5.5	Procédure	75
5.5.6	Rapport d'essai	76
5.5.7	Exactitude	76
5.6	Perte de conversion transverse (TCL), essai 28f	76
5.6.1	Objet	76
5.6.2	TCL	76
5.6.3	Méthode d'essai	76
5.6.4	Montage d'essai	76
5.6.5	Procédure	76
5.6.6	Rapport d'essai	77
5.6.7	Exactitude	77
5.7	Perte de transfert de conversion transverse (TCTL), essai 28g	77
5.7.1	Objet	77
5.7.2	TCTL	77
5.7.3	Méthode d'essai	78
5.7.4	Montage d'essai	78
5.7.5	Procédure	78
5.7.6	Rapport d'essai	78
5.7.7	Exactitude	79
5.8	Impédance de transfert d'un blindage (Z _T), essai 26e	79
5.8.1	Objet	79
5.8.2	Impédance de transfert (Z _T)	79
5.8.3	Méthode d'essai	79
5.8.4	Montage d'essai	79

5.8.5	Procédure.....	79
5.8.6	Rapport d'essai	80
5.8.7	Exactitude	80
5.9	Affaiblissement de couplage (aC).....	80
5.9.1	Objet	80
5.9.2	Affaiblissement de couplage (aC)	80
5.9.3	Méthode d'essai	80
5.9.4	Montage d'essai	80
5.9.5	Procédure.....	81
5.9.6	Rapport d'essai	81
5.9.7	Exactitude	81
5.10	Affaiblissement de couplage basse fréquence aCLF	81
5.10.1	Objet	81
5.10.2	Affaiblissement de couplage basse fréquence (aCLF).....	82
5.10.3	Méthode d'essai	82
5.10.4	Montage d'essai	82
5.10.5	Procédure.....	82
5.10.6	Rapport d'essai	83
5.10.7	Exactitude	83
Annexe A (informative) Dérivation des paramètres en mode mixte en utilisant la technique de décomposition modale		84
A.1	Généralités	84
A.2	Exemple de calcul.....	85
Annexe B (normative) Dispositifs d'essai à référence indirecte		88
B.1	Généralités	88
B.2	Exigences	89
B.2.1	Exigences générales	89
B.2.2	Exigences spécifiques	89
Annexe C (normative) Dispositifs d'essai à sonde directe		90
C.1	Généralités	90
C.2	Exigences	90
C.2.1	Exigences générales	90
C.2.2	Exigences spécifiques	90
Annexe D (normative) Dispositifs d'essai spéciaux		92
D.1	Généralités	92
D.2	Exigences	92
D.2.1	Exigences générales	92
D.2.2	Exigences spécifiques	92
Annexe E (informative) Vérification de la symétrie des résistances utilisées pour l'étalonnage		93
E.1	Généralités	93
E.2	Procédure	93
E.3	Exemple	94
Bibliographie.....		96

Figure 1 – Schéma d'un dispositif à 4 accès asymétriques.....	59
Figure 2 – Schéma d'un dispositif à 2 accès équilibrés	59
Figure 3 – Étalonnage des charges de référence	62
Figure 4 – Réseaux de charges résistives.....	64
Figure 5 – Définition des plans de référence	65
Figure 6 – Perte d'insertion et mesure de perte de transfert de conversion transverse (TCTL).....	70
Figure 7 – Mesure d'affaiblissement de réflexion et de perte de conversion transverse (TCL).....	71
Figure 8 – Mesure de la paradiaphonie	73
Figure 9 – Mesure de la télédiaphonie	75
Figure A.1 – Tension et intensité sur un DUT équilibré	84
Figure A.2 – Tension et intensité sur un DUT équilibré	86
Figure E.1 – Exemple de comparaison de terminaisons SMA de 50 Ω (1 MHz – 100 MHz).....	94
Figure E.2 – Comparaison de terminaisons choisies par phase et uniquement par ordre de grandeur	94
Tableau 1 – Nomenclature des paramètres S en mode mixte.....	60
Tableau 2 – Exigences de performances de commutation.....	61
Tableau 3 – Exigences relatives aux terminaisons sur le plan d'étalonnage	61
Tableau 4 – Exigences relatives à l'affaiblissement de réflexion DM et à la perte de transfert de conversion transverse	67
Tableau 5 – Exigences du montage d'essai global	68
Tableau B.1 – Spécifications particulières des types de connecteurs à 8 voies de la série IEC 60603-7 et normes respectives relatives aux procédures détaillées d'essai des connecteurs	88
Tableau B.2 – Vecteur de paradiaphonie (NEXT) des connecteurs de référence	89
Tableau C.1 – Exigences relatives aux dispositifs d'essai à sonde directe	91

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**CONNECTEURS POUR ÉQUIPEMENTS ÉLECTRIQUES
ET ÉLECTRONIQUES – ESSAIS ET MESURES –****Partie 28-100: Essais d'intégrité des signaux jusqu'à 2 000 MHz –
Essais 28a à 28g**

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'IEC attire l'attention sur le fait que la mise en application du présent document peut entraîner l'utilisation d'un ou de plusieurs brevets. L'IEC ne prend pas position quant à la preuve, à la validité et à l'applicabilité de tout droit de propriété revendiqué à cet égard. À la date de publication du présent document, l'IEC n'avait pas reçu notification qu'un ou plusieurs brevets pouvaient être nécessaires à sa mise en application. Toutefois, il y a lieu d'avertir les responsables de la mise en application du présent document que des informations plus récentes sont susceptibles de figurer dans la base de données de brevets, disponible à l'adresse <https://patents.iec.ch>. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevet.

L'IEC 60512-28-100 a été établie par le sous-comité 48B: Connecteurs électriques, du comité d'études 48 de l'IEC: Connecteurs électriques et structures mécaniques pour les équipements électriques et électroniques. Il s'agit d'une Norme internationale.

Cette troisième édition annule et remplace la deuxième édition parue en 2019. Cette édition constitue une révision technique.

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

- a) la plage de fréquences a été modifiée pour commencer à 0,1 MHz au lieu de 1 MHz, afin d'inclure les connecteurs à une seule paire;
- b) tous les tableaux et exigences ont été révisés à la baisse à 0,1 MHz et partiellement améliorés pour réduire l'impact du dispositif d'essai;
- c) des formules permettant de calculer les paramètres S à partir de paramètres uniques ont été ajoutées;
- d) une note a été ajoutée pour les paramètres qui ne sont pas applicables aux connecteurs à une seule paire.

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

Projet	Rapport de vote
48B/3109/FDIS	48B/3112/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.

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

Une liste de toutes les parties de la série IEC 60512, publiées sous le titre général Connecteurs pour équipements électriques et électroniques, se trouve sur le site Web de l'IEC.

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 élaborés par l'IEC sont décrits plus en détail sous www.iec.ch/publications.

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

- reconduit,
- supprimé, ou
- révisé.

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

Connecteurs pour équipements électriques et électroniques – Essais et mesures –

Partie 28-100: Essais d'intégrité des signaux jusqu'à 2 000 MHz – Essais 28a à 28g

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 60512 spécifie les méthodes d'essai pour l'intégrité du signal et les performances de transmission pour les connecteurs spécifiés dans les parties respectives de IEC 60603-7 [1], IEC 61076-1 [2], IEC 61076-2 [3], IEC 61076-3 [4] et de la série de normes IEC 63171 [5] pour connecter les applications matérielles de 0,1 MHz à 2 000 MHz, en référence au présent document.

NOTE Le présent document convient également pour soumettre à essai l'intégrité des signaux et les performances de transmission des connecteurs jusqu'à une valeur inférieure de fréquence maximale; toutefois, la méthodologie d'essai spécifiée dans la spécification particulière pour un connecteur donné reste l'essai de conformité de référence pour ce connecteur.

La liste de séries de normes concernant les connecteurs n'exclut pas le fait de faire référence au présent document dans d'autres normes publiées ou spécifications des fabricants de connecteurs.

Les procédures d'essai spécifiées ici sont les suivantes:

- perte d'insertion, essai 28a;
- affaiblissement de réflexion, essai 28b;
- paradiaphonie (NEXT), essai 28c;
- télédiaphonie (FEXT), essai 28d;
- perte de conversion transverse (TCL), essai 28f;
- perte de transfert de conversion transverse (TCTL), essai 28g.

Les autres procédures d'essai citées ici en référence sont:

- impédance de transfert, (Z_T), voir l'IEC 60512-26-100, essai 26e;
- affaiblissement de couplage (a_C), voir l'IEC 62153-4-7 et l'IEC 62153-4-12;
- affaiblissement de couplage basse fréquence (a_{CLF}), voir l'IEC 62153-4-7 et l'IEC 62153-4-15.

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 60050-581, *Vocabulaire Électrotechnique International – Partie 581: Composants électromécaniques pour équipements électroniques*

IEC 60512-1, *Connecteurs pour équipements électroniques – Essais et mesures – Partie 1: Spécification générique*

IEC 60512-26-100, *Connecteurs pour équipements électroniques – Essais et mesures – Partie 26-100: Montage de mesure, dispositifs d'essai et de référence et mesures pour les connecteurs conformes à la CEI 60603-7 – Essais 26a à 26g*

IEC 60512-27-100, *Connecteurs pour équipements électroniques – Essais et mesures – Partie 27-100: Essais d'intégrité des signaux jusqu'à 500 MHz sur les connecteurs de la série CEI 60603-7 – Essais 27a à 27g*

IEC 60512-27-200, *Connecteurs pour équipements électriques et électroniques – Essais et mesures – Partie 27-200: Spécifications supplémentaires pour les essais d'intégrité des signaux jusqu'à 2 000 MHz sur les connecteurs de la série IEC 60603-7 – Essais 27a à 27g*

IEC 60512-29-100, *Connecteurs pour équipements électroniques – Essais et mesures – Partie 29-100: Essais d'intégrité des signaux jusqu'à 500 MHz sur les connecteurs de type M12 – Essais 29a à 29g*

IEC 60603-7, *Connecteurs pour équipements électroniques – Partie 7: Spécification particulière pour les fiches et les embases non écrantées à 8 voies*

IEC 61076-1, *Connecteurs pour équipements électroniques – Exigences de produit – Partie 1: Spécification générique*

IEC 61076-3-104, *Connecteurs pour équipements électriques et électroniques – Exigences de produit – Partie 3-104: Spécification particulière pour les fiches et les embases écrantées à 8 voies pour la transmission de données à des fréquences jusqu'à 2 000 MHz*

IEC 61076-3-110, *Connecteurs pour équipements électroniques – Exigences de produit – Partie 3-110: Spécification particulière pour les fiches et les embases pour la transmission de données à des fréquences jusqu'à 3 000 MHz*

IEC 61169-15, *Connecteurs pour fréquences radioélectriques – Partie 15: Spécification intermédiaire – Connecteurs coaxiaux pour fréquences radioélectriques avec diamètre intérieur du conducteur extérieur de 4,13 mm (0,163 in) à couplage fileté – Impédance caractéristique 50 Ω (type SMA)*

IEC 61169-16, *Connecteurs pour fréquences radioélectriques – Partie 16: Spécification intermédiaire – Connecteurs coaxiaux pour fréquences radioélectriques avec diamètre intérieur du conducteur extérieur de 7 mm (0,276 in) à verrouillage à vis – Impédance caractéristique 50 Ω (75 Ω) (type N)*

IEC 62153-4-6, *Metallic cables and other passive components test methods – Part 4-6: Electromagnetic compatibility (EMC) – Surface transfer impedance – line injection method (disponible en anglais seulement)*

IEC 62153-4-7, *Méthodes d'essai des câbles métalliques et autres composants passifs – Partie 4-7: Compatibilité électromagnétique (CEM) – Méthode d'essai pour mesurer l'impédance de transfert, Z_T , et l'affaiblissement d'écrantage, a_s , ou l'affaiblissement de couplage, a_c , des connecteurs et des cordons – Méthode triaxiale en tubes concentriques*

IEC 62153-4-12, *Metallic communication cable test methods – Part 4-12: Electromagnetic compatibility (EMC) – Coupling attenuation or screening attenuation of connecting hardware – Absorbing clamp method (disponible en anglais seulement)*

IEC 62153-4-15, *Méthodes d'essais des câbles métalliques et autres composants passifs – Part 4-15: Compatibilité électromagnétique (CEM) – Méthode d'essai pour le mesurage de l'impédance de transfert et de l'affaiblissement d'écran – ou de l'affaiblissement de couplage avec cellule triaxiale*

IEC 63171, *Connecteurs pour équipements électriques et électroniques – Fiches et embases écrantées ou non écrantées pour transmission de données sur une seule paire symétrique avec courant admissible – Exigences générales et essais*

ISO/IEC 11801-1, *Information technology – Generic cabling for customer premises – Part 1: General requirements (disponible en anglais seulement)*

3 Termes, définitions et abréviations

Pour les besoins du présent document, les termes et les définitions de l'IEC 60050-581, l'IEC 61076-1, l'IEC 60512-1, l'IEC 60603-7, l'IEC 61076-3-104, l'IEC 61076-3-110, IEC 61156-1 et l'IEC 63171 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 <https://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <https://www.iso.org/obp>

3.1 Termes et définitions

3.1.1

intermodal

<paramètre ou mesure> paramètre ou mesure dont la source est sur le mode commun et la mesure se fait sur le mode différentiel ou dont la source est sur le mode différentiel et la mesure se fait sur le mode commun

3.1.2

mode mixte

<paramètre ou mesure> paramètre ou mesure contenant un mode différentiel, un mode commun et des matrices S [intermodales](#)

3.1.3

interconnexion

ensemble de câbles composé d'un câble terminé par deux connecteurs

EXEMPLE: Un analyseur de réseau vectoriel (VNA), une matrice de commutation ou un montage d'essai.

3.2 Abréviations

aC	affaiblissement de couplage
a_{CLF}	Low Frequency coupling attenuation (affaiblissement de couplage basse fréquence)
CM	Common Mode (mode commun)
DM	Differential Mode (mode différentiel)
DUT	Device Under Test (dispositif en essai)
FEXT	Far-End CrossTalk loss (affaiblissement télédiaphonique)
LCL	Longitudinal Conversion Loss (perte de conversion longitudinale)
LCTL	Longitudinal Conversion Transfer Loss (perte de transfert de conversion longitudinale)
NEXT	Near-End CrossTalk loss (affaiblissement paradiaphonique)
RF	Radiofréquence
RLCM	Return Loss, Common Mode (affaiblissement de réflexion en mode commun)
RLDM	Return Loss, Differential Mode (affaiblissement de réflexion en mode différentiel)
SE	Single Ended (asymétrique)
TCL	Transversal Conversion Loss (perte de conversion transverse)
TCTL	Transversal Conversion Transfer Loss (perte de transfert de conversion transverse)
VNA	Vector Network Analyser (analyseur de réseau vectoriel)
ZT	Transfer impedance (impédance de transfert)

4 Dispositif d'essai global

4.1 Généralités

Le présent document spécifie des méthodes et des procédures d'essai pour des connecteurs.

Les méthodes et procédures d'essai de l'intégrité du signal et de la qualité de transmission spécifiées ci-après sont référencées par les normes de connecteurs, spécifiés dans IEC 60603-7 [1], IEC 61076-1 [2], IEC 61076-2 [3], IEC 61076-3 [4] et de la série de normes IEC 63171 [5], ainsi que d'autres normes de raccordement des matériels et leurs spécifications intermédiaires, avec des spécifications d'intégrité du signal de 0,1 MHz à 2 000 MHz; ces normes de connecteurs comprennent IEC 60603-7-81 [6], IEC 60603-7-82 [7], IEC 61076-3-110 [8], IEC 61076-3-104 [9], et IEC 61076-2-109 [10]. Elles sont utilisées avec des paires torsadées ou des câbles quartes ayant une impédance caractéristique différentielle nominale de 100 Ω , spécifiés conformément à IEC 61156 (toutes les parties) [11] et à ses spécifications intermédiaires couvrant au moins la plage de fréquences prise en charge par le matériel de connexion.

4.2 Instrumentation d'essai

4.2.1 Généralités

Toute l'instrumentation d'essai doit être capable de réaliser des mesures sur la plage de fréquence de 0,1 MHz à 2 000 MHz ou au moins sur la plage de fréquences du connecteur soumis à essai.

4.2.2 Analyseur vectoriel de réseau

Le VNA doit avoir au minimum deux accès (dont un accès bidirectionnel) pour permettre la collecte et le calcul des données.

Un VNA à 4 accès est recommandé comme nombre d'accès minimal pratique, car cela permet la mesure des 16 termes de la matrice de paramètres S en [mode mixte](#) sur une paire ou une combinaison de paires donnée sans commutation ni reconnexion, comme indiqué à la [Figure 6](#), la [Figure 7](#), la [Figure 8](#) et la [Figure 9](#).

L'utilisation d'un VNA à 2 accès implique le repositionnement successif de l'accès de mesure afin de mesurer n'importe quel paramètre donné. Pour les connecteurs à une seule paire, il est recommandé d'utiliser un VNA à 4 accès pour mesurer toutes les combinaisons de paramètres S afin d'éviter toute commutation externe. Pour les dispositifs à 4 paires, il est recommandé d'utiliser un VNA à 16 accès pour mesurer toutes les combinaisons de paramètres S afin d'éviter toute commutation externe.

4.2.3 Unité de commutation RF

Afin de réduire le plus possible la reconnexion du DUT pour chaque combinaison de paires, il est également recommandé d'utiliser une unité de commutation RF.

Chaque conducteur de la paire ou de la combinaison de paires en essai doit être connecté à un accès distinct du VNA, et les résultats sont traités par une analyse interne dans le VNA ou par une application externe.

4.2.4 Charges de référence et charges de sortie

Des connexions traversantes et des charges de référence doivent être utilisées pour l'étalonnage du montage d'essai. Les exigences concernant les charges de référence doivent être celles indiquées en [4.9](#). Des charges de sortie doivent être utilisées pour la terminaison des paires, utilisées et non utilisées, qui ne sont pas raccordées au VNA. Les exigences concernant les charges de sortie doivent être celles indiquées en [4.11](#).

Les charges utilisées pour l'étalonnage doivent être accouplées suivant les explications de l'[Annexe E](#) afin d'assurer une bonne symétrie au niveau du plan d'étalonnage.

4.3 Précautions de mesure

Pour assurer un haut degré de fiabilité pour les mesures de transmission, les précautions suivantes sont exigées:

- des résistances avec une tolérance de $\pm 0,1$ % doivent être utilisées tout au long de la séquence d'essai;
- avant, pendant et après les essais, les discontinuités dans les câbles et les adaptateurs, qui peuvent être causées par des flexions physiques, des coudes en équerre et des forces de contrainte, doivent être évitées;
- une méthodologie d'essai normalisée et des résistances de sortie cohérentes doivent être utilisées à toutes les étapes des qualifications de la qualité de transmission;
- la symétrie des câbles doit être maintenue autant que possible par des longueurs de conducteurs identiques et un torsadage des paires jusqu'au point de charge;
- l'espacement relatif entre conducteurs dans les paires doit être préservé tout au long des essais au maximum de ce qui est possible;
- la sensibilité aux variations de montage pour ces mesures à hautes fréquences nécessite de prêter attention aux détails tant en ce qui concerne l'équipement de mesure que les procédures;
- le montage d'essai doit être mis (relié) à la terre de façon adéquate.

4.4 Nomenclature des paramètres S en mode mixte

Les méthodes d'essai spécifiées dans le présent document sont basées sur un montage d'essai sans symétriseur dans lequel toutes les bornes d'un dispositif en essai sont mesurées et caractérisées comme des accès asymétriques (SE), c'est-à-dire que les signaux (tensions et courants RF) doivent être définis par rapport à un plan de masse (terre) commun. Le schéma de la Figure 1 représente un dispositif équipé de quatre bornes.

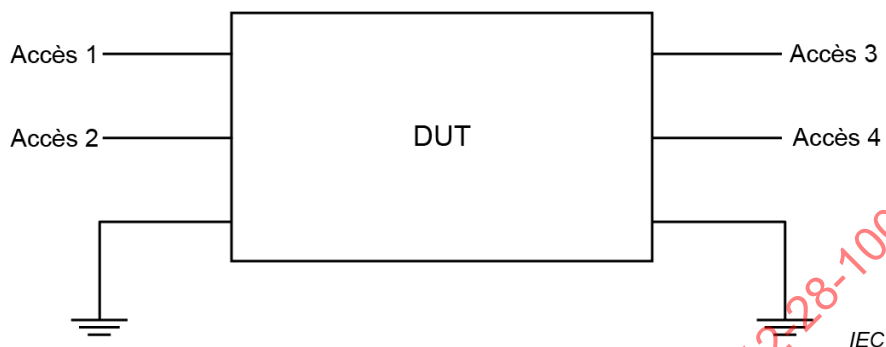
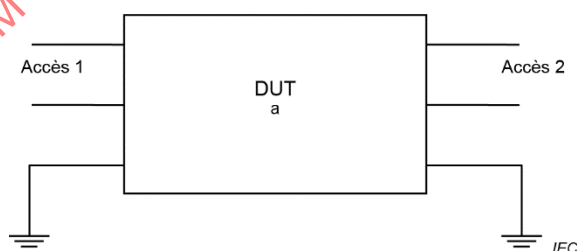


Figure 1 – Schéma d'un dispositif à 4 accès asymétriques

Le dispositif à 4 accès de la Figure 1 doit être caractérisé par les 16 termes de la matrice S asymétrique donnée dans la Formule 1, dans laquelle le paramètre S, S_{ba} , représente la relation entre une réponse asymétrique sur l'accès "b" résultant d'un stimulus asymétrique sur l'accès "a":

$$S = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & S_{14} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} & S_{24} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} & S_{34} \\ S_{41} & S_{42} & S_{43} & S_{44} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Pour un dispositif équilibré, chaque accès doit être considéré comme étant constitué d'une paire de bornes (= un accès équilibré) par opposition aux accès asymétriques définis ci-dessus (voir Figure 2).



Légende

a équilibré

Figure 2 – Schéma d'un dispositif à 2 accès équilibrés

Le dispositif est caractérisé par une matrice S en mode mixte qui inclut toutes les combinaisons de modes et d'accès, par exemple le paramètre S, S_{DC21} , en mode mixte qui exprime la relation entre une réponse en mode différentiel sur l'accès 2 résultant d'un stimulus en mode commun sur l'accès 1. En utilisant cette nomenclature, l'ensemble complet des paramètres S en mode mixte pour un dispositif à 2 accès est indiqué dans le Tableau 1.

Tableau 1 – Nomenclature des paramètres S en mode mixte

		Stimulus en mode différentiel		Stimulus en mode commun	
		Accès 1	Accès 2	Accès 1	Accès 2
Réponse en mode différentiel	Accès 1	S _{DD11}	S _{DD12}	S _{DC11}	S _{DC12}
	Accès 2	S _{DD21}	S _{DD22}	S _{DC21}	S _{DC22}
Réponse en mode commun	Accès 1	S _{CD11}	S _{CD12}	S _{CC11}	S _{CC12}
	Accès 2	S _{CD21}	S _{CD22}	S _{CC21}	S _{CC22}

Un dispositif à 4 bornes peut être représenté à la fois comme un dispositif asymétrique à 4 accès comme à la [Figure 1](#), caractérisé par une matrice S asymétrique ([Formule 1](#)), et comme un dispositif équilibré à 2 accès comme à la [Figure 2](#), caractérisé par une matrice S en mode mixte ([Tableau 1](#)). Comme l'application d'un signal asymétrique à un accès revient mathématiquement à appliquer des signaux en mode différentiel et en mode commun superposés, les caractérisations en mode asymétrique et en mode mixte du dispositif sont liées. La conversion des paramètres S asymétriques en paramètres S en mode mixte est présentée à l'[Annexe A](#). En utilisant cette conversion, les paramètres S en mode mixte peuvent être obtenus de la matrice S asymétrique mesurée.

4.5 Câbles coaxiaux et interconnexions pour analyseurs de réseau

En supposant que l'impédance caractéristique du VNA est de 50 Ω , les câbles coaxiaux utilisés pour interconnecter le VNA, la matrice de commutation et le montage d'essai doivent avoir une impédance caractéristique de 50 Ω et les ensembles de câbles coaxiaux doivent avoir une impédance de transfert maximale de 50 m Ω en dessous de 1 MHz.

Il convient que ces câbles coaxiaux soient les plus courts possible. Longueur maximale: 1 000 mm (sur chaque accès). Les écrans de chaque câble doivent être reliés électriquement à un plan de terre (masse) commun.

Pour optimiser la dynamique, il convient que la perte d'insertion totale des câbles d'interconnexion à 2 000 MHz soit inférieure à 7 dB par mètre.

4.6 Caractéristiques pour les matrices de commutation

Les commutateurs (le cas échéant) doivent présenter une configuration minimale de 2x4 au niveau de tous les accès, bien qu'un commutateur présentant un plus grand nombre d'accès (par exemple 2x8, 1x16, 4x16) soit recommandé pour permettre une mesure plus complète, voire totale, du DUT sans reconnexion ni déplacement du DUT. Lorsqu'une telle commutation est utilisée, elle doit être construite de telle sorte que chaque accès puisse être configuré en entrée, en sortie ou en charge de 50 Ω . Tous les accès inactifs du commutateur doivent être raccordés à une charge de 50 Ω .

Le commutateur doit satisfaire aux recommandations de performances minimales de commutation données dans le [Tableau 2](#).

Tableau 2 – Exigences de performances de commutation

Paramètre	Exigence 0,1 MHz à 1 000 MHz dB	Exigence > 1 000 MHz à 2 000 MHz dB
Perte d'insertion	1,0 max.	2,0 max.
Affaiblissement de réflexion	68 - 20 log(f) min. 40 max. 18 min.	18 min.
Diaphonie	100 min.	97 min.

4.7 Types de dispositifs d'essai

Les dispositifs d'essai sont classés en trois types, qui correspondent à trois groupes de connecteurs:

- les dispositifs d'essai **à référence indirecte**, pour les types de connecteurs utilisant un connecteur de référence pour la mesure des paramètres de transmission, avec des spécifications supplémentaires, par exemple un vecteur de paradiaphonie (NEXT) pour les paramètres de compensation de diaphonie; par exemple série IEC 60603-7 [1] (types à 8 voies), IEC 60603-7-2 [12], IEC 60603-7-3 [13], IEC 60603-7-4 [14], IEC 60603-7-5 [15], IEC 60603-7-41 [16], IEC 60603-7-51 [17], IEC 60603-7-81 [6] et IEC 63171 [5];
- les dispositifs d'essai **à sonde directe**, pour les types de connecteurs utilisant la mesure à sonde directe asymétrique des paramètres de transmission, par exemple série IEC 60603-7 [1] (types à 12 voies), IEC 60603-7-7 [18], IEC 60603-7-71 [19], IEC 60603-7-82 [7] et IEC 61076-3-110 [8];
- les dispositifs d'essai **spéciaux** sont destinés aux types de connecteurs utilisant une combinaison de mesure à sonde directe et à référence indirecte des paramètres de transmission, par exemple IEC 61076-3-104 [9] et IEC 61076-2-109 [10].

Pour les spécifications particulières des dispositifs d'essai de types a), b) et c), voir respectivement l'Annexe B, l'Annexe C et l'Annexe D.

4.8 Exigences relatives aux performances des terminaisons sur le plan d'étalonnage

Les performances des terminaisons sur le plan d'étalonnage doivent satisfaire aux exigences du Tableau 3.

Tableau 3 – Exigences relatives aux terminaisons sur le plan d'étalonnage

Paramètre	Exigence 0,1 MHz à 1 000 MHz dB	Exigence > 1 000 MHz à 2 000 MHz dB
Affaiblissement de réflexion de l'accès asymétrique (50 Ω)	≥ 72 - 20 log(f) 40 max.	12 min.
Affaiblissement de réflexion de l'accès DM (100 Ω)	≥ 80 - 20 log(f) 40 max. 20 min.	20 min.
Affaiblissement paradiaphonique résiduel entre accès et accès en mode différentiel	≥ 130 - 20 log(f) 94 max.	70 min.

4.9 Charges de référence pour l'étalonnage

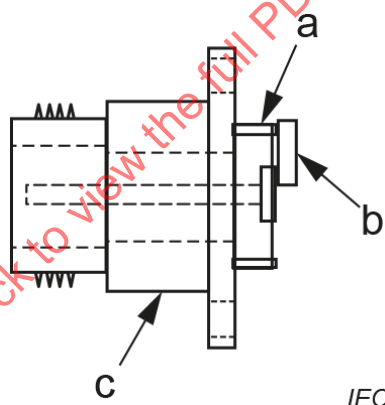
Pour effectuer l'étalonnage de l'équipement d'essai, les dispositifs suivants doivent être utilisés:

- étalonnage complet à 1 accès: un court-circuit, un circuit ouvert et une charge de référence;
- étalonnage complet à 2 accès: comme ci-dessus, plus un artefact de circuit direct (adaptateur coaxial).

La charge de référence qui peut faire partie d'un kit d'étalonnage ou d'une unité d'étalonnage électronique doit être étalonnée par rapport à une référence d'étalonnage, qui doit être une charge de $50\ \Omega$, traçable par rapport à une norme de référence internationale. Une charge de référence de $50\ \Omega$ doit être étalonnée par rapport à la référence d'étalonnage. La charge de référence pour l'étalonnage doit être placée dans un connecteur de type N conforme à l'IEC 61169-16 ou dans un connecteur de type SMA conforme à l'IEC 61169-15, les types étant adaptés au montage sur panneau et présentent un méplat usiné à l'arrière, voir Figure 3.

L'option concernant l'utilisation de connecteurs de type SMA, conformes à l'IEC 61169-15, est préférée.

La charge doit être fixée sur le côté du connecteur présentant le méplat. Un VNA doit être étalonné avec un étalonnage complet à 1 accès en utilisant la référence d'étalonnage. Ensuite, l'affaiblissement de réflexion de la charge de référence destinée à l'étalonnage doit être mesuré. L'affaiblissement de réflexion ainsi vérifié doit être $> 46\ \text{dB}$ pour les fréquences inférieures ou égales à $100\ \text{MHz}$ et $> 40\ \text{dB}$ pour les fréquences supérieures à $100\ \text{MHz}$, et jusqu'à la limite pour laquelle les mesures doivent être réalisées.



Légende

- a Méplat usiné
- b Charge pour l'étalonnage
- c Connecteur de type SMA

Figure 3 – Étalonnage des charges de référence

4.10 Étalonnage

4.10.1 Généralités

Les mesures d'isolement doivent être utilisées dans le cadre de l'étalonnage si les exigences de la NEXT résiduelle entre accès DM dans le [Tableau 3](#) ne sont pas respectées.

L'étalonnage doit être équivalent à au moins un étalonnage asymétrique complet à 2 accès pour des mesures où les accès de réponse et de stimulus sont identiques (S_{xx11} et S_{xx22}), et à au moins un étalonnage asymétrique complet à 4 accès pour des mesures où les accès de réponse et de stimulus sont différents (S_{xx12} et S_{xx21}).

Un étalonnage différent doit être effectué pour chaque chemin de signal utilisé pour les mesures.

Si un montage d'essai à matrice de commutation complète et à VNA à 4 accès est utilisé, un ensemble complet de mesures pour un dispositif à 4 paires (c'est-à-dire 16 accès asymétriques) exige 28 étalonnages distincts à 4 accès, bien que plusieurs des mesures dans chaque étalonnage soient communes à d'autres étalonnages.

Un outil logiciel ou matériel peut être utilisé pour réduire le plus possible le nombre de mesures d'étalonnage exigées.

L'étalonnage peut être effectué au niveau de l'interface d'essai en utilisant des artefacts d'étalonnage appropriés, ou aux extrémités du câble d'essai coaxial en utilisant un kit d'étalonnage et les données de découplage.

4.10.2 Interface d'essai pour l'étalonnage

Lorsque l'étalonnage est effectué au niveau de l'interface d'essai, des mesures de circuit ouvert, de court-circuit et de charge de référence doivent être effectuées sur chaque accès SE concerné. Des mesures doivent être effectuées sur chaque combinaison de paires de ces accès. Il convient que des mesures d'isolement soient effectuées sur chaque combinaison de paires de ces accès.

4.10.3 Étalonnage à l'extrémité des câbles d'essai coaxiaux

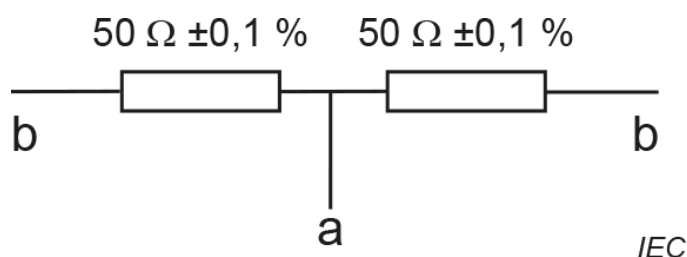
Lorsque l'étalonnage est effectué à l'extrémité des câbles d'essai coaxiaux, des mesures d'ouverture de circuit, de court-circuit et de charge de référence doivent être effectuées sur chaque accès concerné. Des mesures doivent être effectuées sur chaque combinaison de paires de ces accès. Il convient que des mesures d'isolement soient effectuées sur chaque combinaison de paires de ces accès. En outre, le dispositif d'essai doit alors être découplé des mesures. Les techniques de découplage doivent intégrer une matrice S à 16 termes entièrement peuplée. Il n'est pas acceptable d'effectuer un étalonnage découplé en utilisant seulement des termes de réflexion (S_{11} , S_{22} , S_{33} , S_{44}) ou seulement des termes d'extrémité proche (S_{12} , S_{21} , S_{34} , S_{43}).

Un découplage utilisant des matrices S à termes réduits peut être utilisé pour le post-traitement des résultats.

4.11 Charges de sortie pour la terminaison des paires de conducteurs

4.11.1 Généralités

Des charges de $50\ \Omega$ à la terre (plan de masse) doivent être utilisées sur tous les fils actifs soumis à essai, tous les fils inactifs, aux extrémités opposées des fils actifs pour les essais NEXT et FEXT et les fils inactifs pour les essais d'affaiblissement de réflexion doivent être terminés, voir [Figure 4](#).



Légende

- a Charges de $50\ \Omega$ à la terre (plan de masse) pour la terminaison
- b Appareil soumis à essai

Figure 4 – Réseaux de charges résistives

Des résistances pavés de petite taille doivent être utilisées pour la construction des charges résistives. Les deux résistances de sortie asymétriques de $50\ \Omega$ doivent être identiques à $0,1\ %$ près en courant continu et à $2\ %$ près à $2\ 000\ \text{MHz}$ (correspondant à l'exigence d'affaiblissement de réflexion de $40\ \text{dB}$ à $2\ 000\ \text{MHz}$).

4.11.2 Réseaux de charges résistives d'adaptation d'impédance

Les performances des réseaux de charges résistives d'adaptation d'impédance doivent être vérifiées en mesurant l'affaiblissement de réflexion de la charge de sortie et la paradiaphonie résiduelle entre deux réseaux quelconques de charges résistives au niveau du plan d'étalonnage, le cas échéant.

Pour la mesure de l'affaiblissement de réflexion, un étalonnage asymétrique à 2 accès doit être effectué en utilisant une charge de référence vérifiée conformément à [4.9](#).

Après l'étalonnage, connecter les réseaux de charges résistives et effectuer une mesure de la matrice S asymétrique complète à 2 accès. La matrice S asymétrique mesurée doit être transformée en la matrice S en **mode mixte** associée pour obtenir les paramètres S , S_{DD11} et S_{CC11} , à partir desquels l'affaiblissement de réflexion en mode différentiel, RL_{DM} , et l'affaiblissement de réflexion en mode commun, RL_{CM} , sont déterminés. L'affaiblissement de réflexion du réseau de charges résistives doit satisfaire aux exigences du [Tableau 3](#).

Pour la mesure de la paradiaphonie résiduelle, un étalonnage asymétrique à 4 accès est exigé. Après l'étalonnage, connecter les réseaux de charges résistives et effectuer une mesure de la matrice S asymétrique complète à 4 accès. La matrice S mesurée doit être transformée en la matrice S en **mode mixte** associée pour obtenir le paramètre S_{DD21} , à partir duquel la paradiaphonie résiduelle des terminaisons, $NEXT_{residual_term}$, est déterminée.

La paradiaphonie résiduelle doit satisfaire aux exigences du [Tableau 3](#).

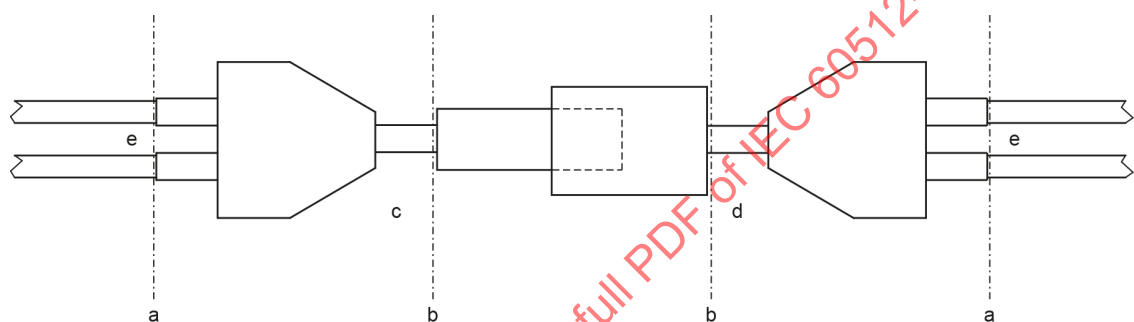
4.12 Sortie des écrans

Lorsque le connecteur en essai est blindé, des câbles de mesure blindés doivent être utilisés. Il convient que l'écran ou les écrans de ces câbles soient fixés au plan de terre (masse), aussi près que possible du plan d'étalonnage. Dans le cas peu probable d'un connecteur non blindé soumis à essai, des câbles de mesure blindés doivent être appliqués. L'écran ou les écrans de ces câbles doivent toutefois être raccordés uniquement à la terre (plan de masse) du dispositif de mesure.

4.13 Éprouvette et plans de référence

4.13.1 Généralités

Une éprouvette est une paire accouplée de connecteurs adaptés. Les plans de référence d'un connecteur pour l'éprouvette sont soit les points auxquels la gaine de câble entre dans l'extrémité arrière du connecteur, soit les points à partir desquels la géométrie interne des câbles n'est plus maintenue, selon ce qui est le plus éloigné des connecteurs (voir Figure 5). Cette définition s'applique aux deux extrémités de l'éprouvette. Le DUT doit être terminé selon les instructions du fabricant et doit être compatible avec les dispositifs et les montages d'essai de mesure.



IEC

Légende

- a plan d'étalonnage
- b plan de référence
- c côté fiche
- d côté support
- e câbles d'essai coaxiaux

Figure 5 – Définition des plans de référence

4.13.2 Interconnexions entre le dispositif en essai (DUT) et le plan d'étalonnage

4.13.2.1 Généralités

Des interconnexions en paires torsadées, coaxiales, des circuits imprimés ou d'autres interconnexions doivent être utilisées entre le plan de référence du connecteur du DUT et le plan d'étalonnage. S'assurer de contrôler les caractéristiques de ces interconnexions étant donné qu'elles dépassent du plan d'étalonnage. Il convient que ces interconnexions soient aussi courtes que possible en pratique; il convient que leurs impédances de mode commun et de mode différentiel soient gérées de manière à réduire le plus possible leur incidence sur la mesure.

Les performances d'affaiblissement de réflexion de mode différentiel des interconnexions doivent satisfaire aux exigences indiquées dans le Tableau 4. Par hypothèse, les performances de perte d'insertion des interconnexions sont inférieures à 0,2 dB sur la plage de fréquences comprise entre 0,1 MHz et 2 000 MHz.

4.13.2.2 Interconnexion à paires torsadées

4.13.2.2.1 Généralités

Lorsqu'on l'utilise, l'interconnexion à paires torsadées doit posséder une impédance caractéristique de mode différentiel nominale égale à 100 Ω . Il convient qu'aucun espacement n'apparaisse entre l'isolant des conducteurs des paires torsadées. L'interconnexion à paires torsadées peut être obtenue comme une interconnexion à paires torsadées individuelles ou elle peut faire partie d'un câble.

L'interconnexion doit satisfaire aux exigences d'affaiblissement de réflexion du [Tableau 4](#).

Des terminaisons entre mode différentiel et terre (masse) doivent être utilisées et l'interconnexion doit être placée dans un système de gestion de l'impédance. La longueur maximale des fils de paires torsadées à chaque extrémité du DUT doit être égale à 51 mm, mais il convient toutefois qu'ils soient aussi courts que possible.

4.13.2.2.2 Interconnexion à paires torsadées individuelles

Une interconnexion à paires torsadées individuelles peut être obtenue à partir d'un élément à paires torsadées discret ou prélevée sur un câble gainé.

Avant de la fixer au DUT, l'affaiblissement de réflexion de chaque paire doit être soumis à essai. Pour réaliser cet essai, des longueurs de paires torsadées individuelles de 100 mm doivent être utilisées. La paire torsadée doit être terminée par un réseau de charges résistives entre terre (masse) et mode différentiel de 50 Ω comme décrit en [4.11](#).

Le réseau de charges résistives doit être fixé directement aux conducteurs de la paire de façon à réduire le plus possible la perturbation de la paire. Parmi les perturbations potentielles, il y a l'espacement entre l'isolant des conducteurs de la paire, la fusion de l'isolant et un excès de soudure.

L'affaiblissement de réflexion doit être soumis à essai conformément au [Tableau 4](#).

NOTE Les fils de paires torsadées sont ensuite coupés pour être fixés au DUT et au dispositif d'essai.

4.13.2.2.3 Interconnexions intégrées dans les câbles

Une interconnexion peut également être obtenue à partir d'une section de câble à paires torsadées, les quatre interconnexions à paires torsadées étant maintenues dans la gaine du câble. Cette méthode est le plus souvent utilisée avec des fiches d'essai obtenues en coupant les extrémités des cordons assemblés, mais elle peut également être employée avec des embases.

Avant de la fixer au DUT, l'affaiblissement de réflexion de chaque paire (à l'intérieur du câble) doit être soumis à essai. Pour réaliser cet essai, une longueur de câble de 100 mm doit être utilisée. Chaque paire du câble doit être raccordée comme décrit pour l'interconnexion à paires torsadées individuelles en [4.11](#). Pour les paires inactives, c'est-à-dire les paires non soumises à essai, les deux extrémités doivent être raccordées.

L'affaiblissement de réflexion doit être soumis à essai conformément aux exigences du [Tableau 4](#).

Le câble doit ensuite être raccordé au DUT, conformément aux instructions du fabricant, et coupé pour être fixé au dispositif d'essai.

Lorsque cette méthode est utilisée avec des fiches d'essai obtenues en coupant des cordons assemblés, il doit suffire que l'affaiblissement de réflexion du câble soit conforme au moins à la catégorie du connecteur ou que l'affaiblissement de réflexion du cordon assemblé soit conforme au moins à la catégorie du cordon équilibré ou au moins à la catégorie du connecteur conformément aux exigences de l'ISO/IEC 11801-1.

4.13.2.3 Interconnexion asymétrique à sonde directe

Lorsqu'elle est utilisée, l'interconnexion asymétrique à sonde directe doit présenter une impédance caractéristique (coaxiale) asymétrique nominale de 50 Ω. Il convient que les câbles coaxiaux et les lignes de transmission à circuits imprimés dans le dispositif d'essai, raccordés aux contacts des connecteurs du DUT soient suffisamment adaptés pour être conformes aux exigences relatives à l'affaiblissement de réflexion DM d'une interconnexion de 4.13.2.4.

Se référer à l'Annexe C pour plus d'informations sur les interconnexions entre le dispositif en essai (DUT) et le plan d'étalonnage, pour les connecteurs utilisant des dispositifs d'essai à sonde directe.

L'interconnexion doit satisfaire aux exigences d'affaiblissement de réflexion du Tableau 4.

4.13.2.4 Exigences relatives à l'affaiblissement de réflexion DM et à la perte de transfert de conversion transverse

L'affaiblissement de réflexion de l'interconnexion doit être soumis à essai en utilisant l'approche du mode mixte comme cela est décrit en 4.11.2 pour la vérification des réseaux de charges résistives. L'interconnexion doit être soumise à essai uniquement pour l'affaiblissement de réflexion en mode différentiel et elle doit satisfaire aux exigences du Tableau 4.

Tableau 4 – Exigences relatives à l'affaiblissement de réflexion DM et à la perte de transfert de conversion transverse

Paramètre	Exigence 0,1 MHz à 100 MHz dB	Exigence 100 MHz à 2 000 MHz dB
Affaiblissement de réflexion DM	40	80 - 20 log(<i>f</i>), 20 min.
TCL	80 - 20 log(<i>f</i>), 50 max.	80 - 20 log(<i>f</i>)

Les interconnexions à paires torsadées doivent être préparées pour un essai comme cela est décrit en 4.13.2.2. Lorsque d'autres interconnexions sont soumises à essai, des charges entre terre (masse) et mode différentiel équivalentes doivent être appliquées.

4.14 Exigences du montage d'essai global

Les exigences du montage d'essai global doivent satisfaire aux exigences du [Tableau 5](#) lorsque les essais sont effectués en utilisant des sorties conformes à [4.11](#).

Tableau 5 – Exigences du montage d'essai global

Paramètre	Exigence 0,1 MHz à 1 000 MHz dB	Exigence > 1 000 MHz à 2 000 MHz dB
Affaiblissement de réflexion de l'accès asymétrique (50 Ω)	> 68 - 20 log(<i>f</i>) 20 max. 12 min.	12 min.
Affaiblissement de réflexion de l'accès DM (100 Ω)	> 80 - 20 log(<i>f</i>) 40 max.	> 80 - 20 log(<i>f</i>) 18 min.
Affaiblissement de réflexion de l'accès CM (50 Ω) ^a	> 68 - 20 log(<i>f</i>) 20 max. 12 min.	12 min.
Isolation entre accès SE (50 Ω) (paire à paire): NEXT et FEXT	> 125 - 20 log(<i>f</i>) 80 max.	65 min.
Isolation entre accès SE (50 Ω) (dans une paire): NEXT et FEXT	> 100 - 20 log(<i>f</i>) 70 max.	40 min.
Isolation entre accès DM (100 Ω): NEXT et FEXT	> 140 - 20 log(<i>f</i>) 94 max.	80 min.
Isolation entre accès DM (100 Ω): extrémité proche à extrémité distante ^b	> 140 - 20 log(<i>f</i>) 94 max.	80 min.
Perte d'insertion DM (100 Ω)	< 12	< 12
TCL, LCL	> 90 - 20 log(<i>f</i>) 60 max.	30 min.
TCTL, LCTL	> 90 - 20 log(<i>f</i>) 60 max.	30 min.
^a L'impédance en mode commun du DUT est généralement spécifiée à 50 Ω. Par conséquent, pour les mesures, une transformée est exigée comme cela est spécifié à l'Annexe A. Dans le cas des mesures sans symétriseur, la mesure de l'impédance en mode commun, et donc de l'affaiblissement de réflexion, est déterminée comme cela est spécifié à l'Annexe A. L'exigence peut être satisfaite par séparation ou en appliquant un blindage entre les dispositifs.		

5 Mesures des connecteurs jusqu'à 2 000 MHz

5.1 Généralités

Les mesures effectuées à l'[Article 5](#) concernent les connecteurs accouplés. Les figures représentent des connecteurs accouplés typiques à quatre paires. Pour les connecteurs à une seule paire, les paramètres applicables sont indiqués dans la spécification particulière correspondante. Le cas échéant, les figures s'appliquent à une seule paire.

5.1.1 Détermination d'acceptation et de rejet

Les mesures du connecteur accouplé doivent satisfaire aux exigences de la spécification particulière applicable pour toutes les combinaisons de paires et dans les deux directions, suivant le cas.

5.2 Perte d'insertion, essai 28a

5.2.1 Objet

Cet essai a pour but de mesurer la perte d'insertion d'une paire de connecteurs accouplés. La perte d'insertion est définie ici comme l'affaiblissement supplémentaire causé par une paire de connecteurs accouplés insérée dans un câble de communication.

5.2.2 Perte d'insertion

Les connecteurs accouplés doivent être soumis à une évaluation de la perte d'insertion dans une seule direction de transmission.

5.2.3 Méthode d'essai

La perte d'insertion est évaluée à partir du paramètre S_{DD21} en **mode mixte** pour chaque paire de conducteurs. Les paramètres S en **mode mixte** sont obtenus par la transformée de la matrice S asymétrique.

5.2.4 Montage d'essai

Le montage d'essai doit se composer d'un VNA et de deux dispositifs d'essai comme décrit à l'[Article 4](#). La [Figure 6](#) représente le montage d'essai, ainsi que les principes des terminaisons. Des réseaux de charges résistives conformes à [4.11](#) doivent être appliqués pour toutes les paires inactives. Les [interconnexions](#) (si elles sont utilisées) doivent être préparées et contrôlées conformément à [4.13.2](#).

5.2.5 Procédure

5.2.5.1 Étalonnage

Un étalonnage asymétrique complet à 4 accès doit être effectué au niveau des plans d'étalonnage conformément à [4.10](#). Les charges de référence utilisées pour l'étalonnage doivent être conformes à [4.9](#).

5.2.5.2 Bruit de fond

Ce paragraphe reste vide et n'est conservé que pour des raisons structurelles.

5.2.5.3 Mesure

Le DUT doit être soumis à essai dans un montage d'essai conformément à [5.2.4](#) et à la [Figure 6](#), y compris la terminaison appropriée des paires actives et inactives. Une mesure de la matrice S asymétrique complète doit être consignée. La matrice S asymétrique mesurée doit être transformée en la matrice S en **mode mixte** associée pour obtenir le paramètre S , S_{DD21} , à partir duquel la perte d'insertion est déterminée comme indiqué dans la [Formule 2](#):

$$IL(f) = -20 \cdot \log_{10}(|S_{DD21}|) = -20 \cdot \log_{10} \left(\left| \frac{1}{2} (S_{31} - S_{41} - S_{32} + S_{42}) \right| \right) \quad (2)$$

Soumettre à essai toutes les paires de conducteurs et consigner les résultats.

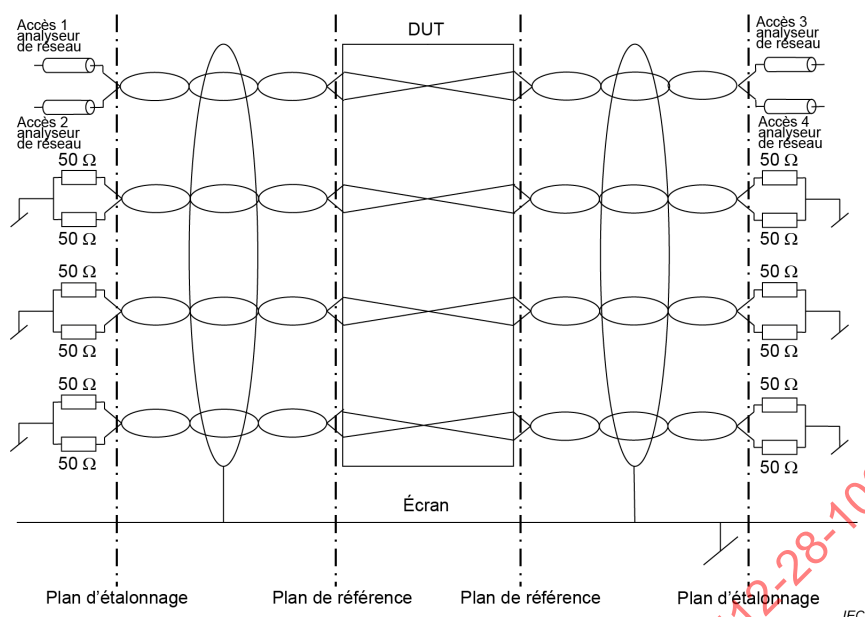


Figure 6 – Perte d'insertion et mesure de perte de transfert de conversion transverse (TCTL)

5.2.6 Rapport d'essai

Les résultats des essais doivent être consignés sous forme de graphiques ou de tableau, en représentant les limites de spécification sur les graphiques ou dans le tableau aux mêmes fréquences que celles stipulées dans la spécification particulière applicable. Les résultats doivent être consignés pour toutes les paires. Il doit être explicitement indiqué si les résultats des essais dépassent les limites d'essai. Dans ce cas, le rapport d'essai doit contenir la phrase: "L'essai a échoué".

5.2.7 Exactitude

Les deux interfaces de l'équipement d'essai doivent être accouplées au niveau du plan d'étalonnage et une mesure de perte d'insertion doit être effectuée.

L'exactitude doit être meilleure que ± 1 dB à la limite de spécification.

5.3 Affaiblissement de réflexion, essai 28b

5.3.1 Objet

Cet essai a pour but de mesurer l'affaiblissement de réflexion d'une paire de connecteurs accouplés aux deux plans de référence.

5.3.2 Affaiblissement de réflexion

Des connecteurs accouplés doivent être soumis à un essai d'affaiblissement de réflexion dans les deux directions de transmission en utilisant au moins une fiche.

5.3.3 Méthode d'essai

L'affaiblissement de réflexion doit être évalué à partir des paramètres S_{DD11} et S_{DD22} en **mode mixte** pour toutes les paires de conducteurs. Les paramètres S en **mode mixte** doivent être obtenus par la transformée de la matrice S asymétrique mesurée.

5.3.4 Montage d'essai

Le montage d'essai doit se composer d'un VNA et de deux dispositifs d'essai comme décrit à l'Article 4. La Figure 7 représente le montage d'essai, ainsi que les principes des terminaisons. Des réseaux de charges résistives conformes à 4.11 doivent être appliqués pour toutes les paires actives et inactives. Les interconnexions (si elles sont utilisées) doivent être préparées et contrôlées conformément à 4.13.2.

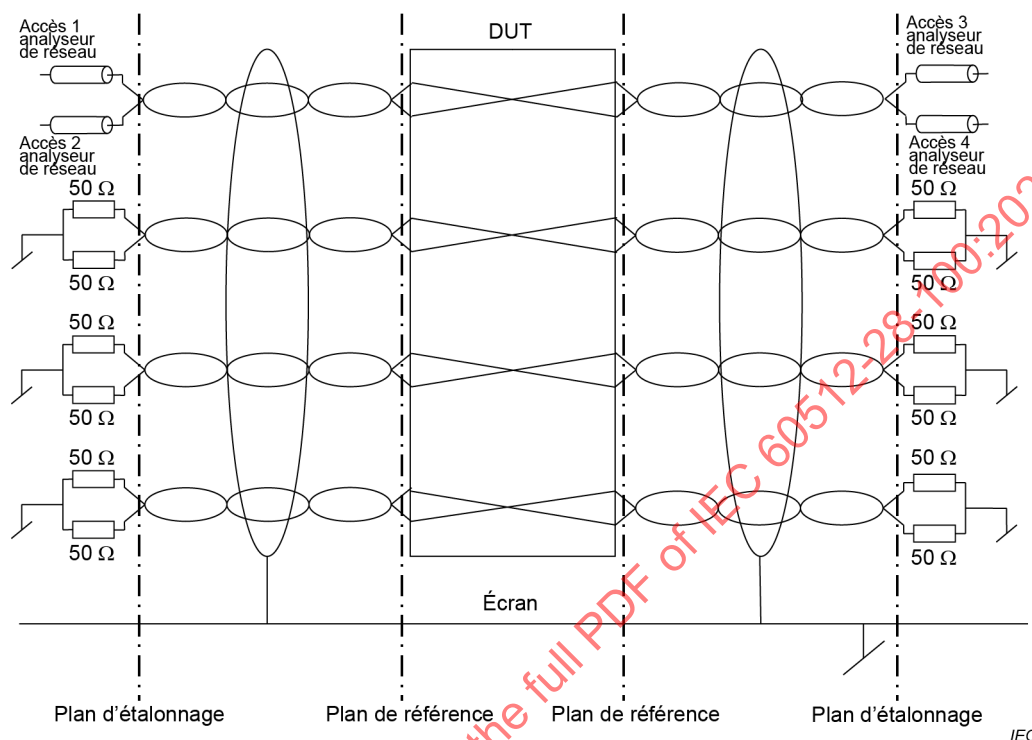


Figure 7 – Mesure d'affaiblissement de réflexion et de perte de conversion transverse (TCL)

L'affaiblissement de réflexion peut être mesuré dans un montage d'essai utilisant un seul dispositif, une mesure et un étalonnage asymétrique à 2 accès. Dans ce cas, l'affaiblissement de réflexion doit être mesuré dans une seule direction à la fois.

5.3.5 Procédure

5.3.5.1 Étalonnage

Un étalonnage asymétrique complet à 4 accès doit être effectué au niveau des plans d'étalonnage conformément à 4.10. Les charges de référence utilisées pour l'étalonnage doivent être conformes à 4.11.

5.3.5.2 Bruit de fond

Ce paragraphe reste vide et n'est conservé que pour des raisons structurelles.

5.3.5.3 Mesure

Le DUT doit être soumis à essai dans un montage d'essai conformément à 5.3.4 et à la Figure 7, y compris la terminaison appropriée des paires actives et inactives. Une mesure de la matrice S asymétrique complète doit être consignée. La matrice S asymétrique mesurée doit être transformée en la matrice S en **mode mixte** associée pour obtenir le paramètre S, S_{DD21} , à partir duquel la perte d'insertion est déterminée comme indiqué dans la Formule (3):

$$RL(f) = -20 \cdot \log_{10}(|S_{DD11}|) = -20 \cdot \log_{10}\left(\left|\frac{1}{2}(S_{11} - S_{21} - S_{12} + S_{22})\right|\right) \quad (3)$$

Toutes les paires de conducteurs doivent être soumises à essai et les résultats doivent être consignés.

5.3.6 Rapport d'essai

Les résultats des essais doivent être consignés sous forme de graphiques ou de tableau, en représentant les limites de spécification sur les graphiques ou dans le tableau aux mêmes fréquences que celles stipulées dans la spécification particulière applicable. Les résultats doivent être consignés pour toutes les paires. Il doit être explicitement indiqué si les résultats des essais dépassent les limites d'essai. Dans ce cas, le rapport d'essai doit contenir la phrase: "L'essai a échoué".

5.3.7 Exactitude

Il doit être vérifié que l'affaiblissement de réflexion de la charge d'étalonnage est supérieur à 46 dB jusqu'à 100 MHz et supérieur à 40 dB à des fréquences plus élevées. L'incertitude de la connexion entre le connecteur en essai et le dispositif d'essai est susceptible de détériorer l'affaiblissement de réflexion du montage (en fait, le pont directionnel mis en œuvre par le montage d'essai) de 6 dB. L'exactitude des mesures de l'affaiblissement de réflexion est alors équivalente à celle des mesures réalisées par un pont directionnel avec une directivité de 40 dB et 34 dB.

5.4 Paradiaphonie (NEXT), essai 28c

5.4.1 Objet

Cette procédure d'essai a pour but de mesurer l'amplitude du couplage électrique et magnétique entre les extrémités proches d'une paire perturbatrice et d'une paire perturbée d'une combinaison de paires de connecteurs accouplés.

NOTE NEXT n'est pas applicable aux connecteurs à une seule paire.

5.4.2 NEXT

Les connecteurs accouplés doivent être soumis à essai de paradiaphonie dans les deux directions de transmission en utilisant au moins une fiche.

5.4.3 Méthode d'essai

L'affaiblissement paradiaphonique doit être évalué à partir du paramètre S_{DD21} en **mode mixte** pour toutes les combinaisons de paires de conducteurs. Les paramètres S en **mode mixte** doivent être obtenus par la transformée de la matrice S asymétrique mesurée.

5.4.4 Montage d'essai

Le montage d'essai doit se composer d'un VNA et d'un dispositif d'essai comme décrit à l'Article 4. La Figure 8 représente le montage d'essai, ainsi que les principes des terminaisons. Des réseaux de charges résistives conformes à 4.11 doivent être appliqués pour toutes les paires inactives et pour les extrémités des paires actives non connectées aux accès du VNA. Les interconnexions (si elles sont utilisées) doivent être préparées et contrôlées conformément à 4.13.2.

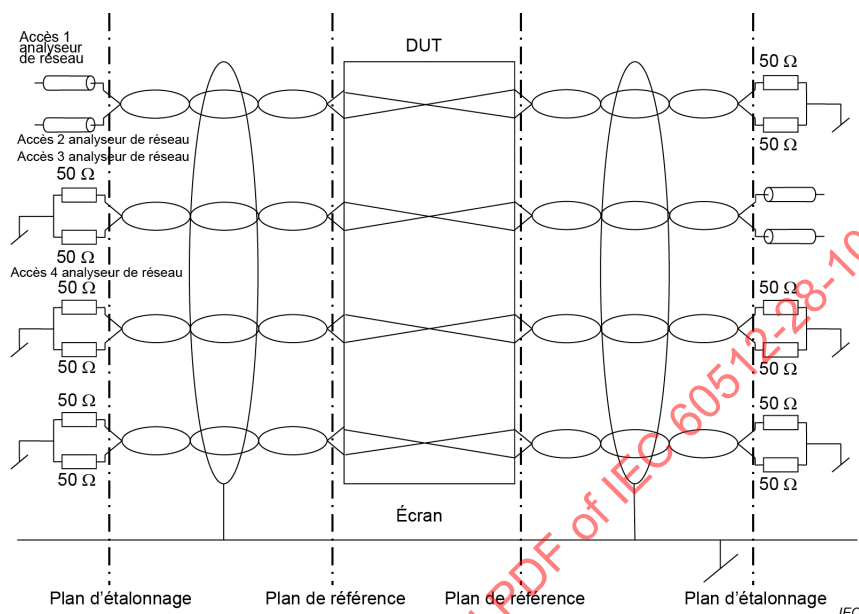


Figure 8 – Mesure de la paradiaphonie

5.4.5 Procédure

5.4.5.1 Étalonnage

Un étalonnage asymétrique complet à 4 accès doit être effectué au niveau des plans d'étalonnage conformément à 4.10. Les charges de référence utilisées pour l'étalonnage doivent être conformes à 4.11.

5.4.5.2 Bruit de fond

Le bruit de fond du montage doit être mesuré. Le niveau du bruit de fond doit être déterminé par du bruit blanc, qui peut être réduit en augmentant la puissance d'essai et en réduisant la largeur de bande du VNA, et par la diaphonie résiduelle à l'intérieur du dispositif d'essai.

Le bruit de fond doit être mesuré en raccordant les accès d'essai du dispositif d'essai à des réseaux de charges résistives et en effectuant une mesure de la matrice S asymétrique complète. La matrice S asymétrique mesurée doit être transformée en la matrice S en mode mixte associée pour obtenir le paramètre S, S_{DD21} , à partir duquel le bruit de fond est établi. Le bruit de fond doit être établi pour toutes les combinaisons possibles de paires de conducteurs.

Le bruit de fond doit être inférieur de 20 dB à toute limite spécifiée de diaphonie. Si la valeur mesurée est à moins de 20 dB du bruit de fond, elle doit être consignée.

NOTE Pour les valeurs de diaphonie élevées, il peut être nécessaire d'écranter les résistances de sortie.

5.4.5.3 Mesure

Le DUT doit être disposé dans un montage d'essai conformément à 5.4.4 et à la Figure 8, y compris la terminaison appropriée des paires actives et inactives. Une mesure de la matrice S asymétrique complète doit être réalisée. La matrice S asymétrique mesurée doit être transformée en la matrice S en **mode mixte** associée pour obtenir le paramètre S, S_{DD21} , à partir duquel l'affaiblissement paradiaphonique est déterminé:

$$NEXT(f) = -20 \cdot \log_{10}(|S_{DD21}|) = -20 \cdot \log_{10}\left(\left|\frac{1}{2}(S_{31} - S_{41} - S_{32} + S_{42})\right|\right) \quad (4)$$

L'essai doit être réalisé à partir des deux extrémités du connecteur accouplé. Soumettre aux essais toutes les combinaisons de paires de conducteurs et consigner les résultats.

5.4.6 Rapport d'essai

Les résultats des essais doivent être consignés sous forme de graphiques ou de tableau, en représentant les limites de spécification sur les graphiques ou dans le tableau aux mêmes fréquences que celles stipulées dans la spécification particulière applicable. Les résultats doivent être consignés pour toutes les paires. Il doit être explicitement indiqué si les résultats des essais dépassent les limites d'essai.

5.4.7 Exactitude

L'exactitude doit être supérieure à ± 1 dB pour les mesures jusqu'à 60 dB et à ± 2 dB pour les mesures jusqu'à 85 dB.

5.5 Télédiaphonie (FEXT), essai 28d

5.5.1 Objet

Cette procédure d'essai a pour objet de mesurer l'amplitude du couplage électrique et magnétique entre l'extrémité proche d'une paire perturbatrice et l'extrémité distante d'une paire perturbée d'une combinaison de paires de connecteurs accouplés.

NOTE FEXT n'est pas applicable pour les connecteurs à une seule paire.

5.5.2 Télédiaphonie (FEXT)

Des connecteurs accouplés doivent être soumis à essai de télédiaphonie dans les deux directions de transmission en utilisant au moins une fiche.

5.5.3 Méthode d'essai

L'affaiblissement télédiaphonique doit être évalué à partir du paramètre S_{DD21} en **mode mixte** pour toutes les combinaisons de paires de conducteurs. Les paramètres S en **mode mixte** doivent être obtenus par la transformée de la matrice S asymétrique mesurée.

5.5.4 Montage d'essai

Le montage d'essai doit se composer d'un VNA et de deux dispositifs d'essai comme décrit à l'Article 4. La Figure 9 représente le montage d'essai, ainsi que les principes des terminaisons. Des réseaux de charges résistives conformes à 4.11 doivent être appliqués pour toutes les paires inactives et pour les extrémités des paires actives non connectées aux accès du VNA. Les **interconnexions** (si elles sont utilisées) doivent être préparées et contrôlées conformément à 4.13.2.

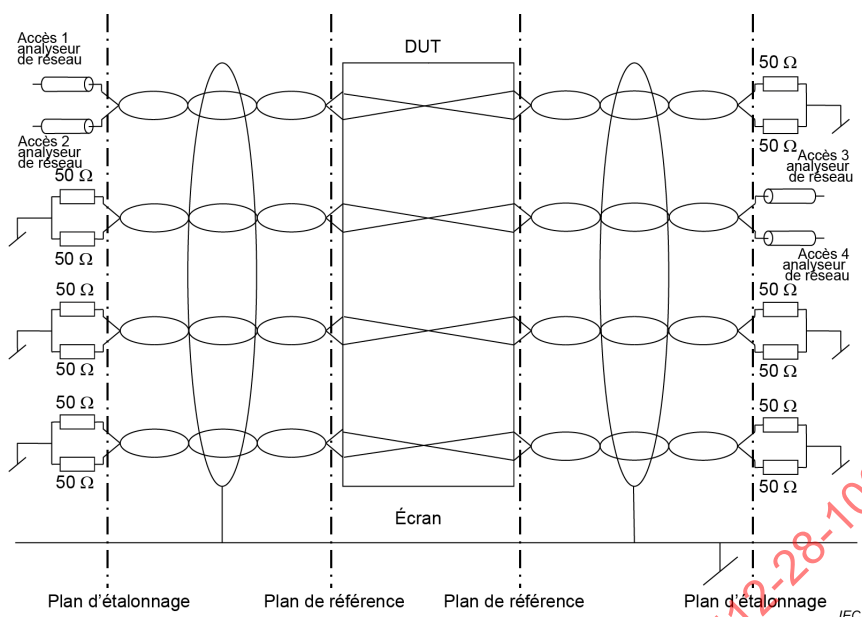


Figure 9 – Mesure de la télédiaphonie

5.5.5 Procédure

5.5.5.1 Étalonnage

Un étalonnage asymétrique complet à 4 accès doit être effectué au niveau des plans d'étalonnage conformément à 4.10. Les charges de référence utilisées pour l'étalonnage doivent être conformes à 4.11.

5.5.5.2 Bruit de fond

Le bruit de fond du montage doit être établi comme indiqué à 5.4.5.2.

5.5.5.3 Mesure

Le DUT doit être disposé dans un montage d'essai conformément à 5.5.4 et à la Figure 9, y compris la terminaison appropriée des paires actives et inactives. Une mesure de la matrice S asymétrique complète doit être réalisée. La matrice S asymétrique mesurée doit être transformée en la matrice S en mode mixte associée pour obtenir le paramètre S, S_{DD21} , à partir duquel l'affaiblissement télédiaphonique doit être déterminé:

$$FEXT_{ik}(f) = -20 \cdot \log_{10}(|S_{DD21}|) = -20 \cdot \log_{10}\left(\left|\frac{1}{2}(S_{31} - S_{41} - S_{32} + S_{42})\right|\right) \quad (5)$$

Soumettre aux essais toutes les combinaisons de paires de conducteurs et consigner les résultats.

5.5.6 Rapport d'essai

Les résultats des essais doivent être consignés sous forme de graphiques ou de tableau, en représentant les limites de spécification sur les graphiques ou dans le tableau aux mêmes fréquences que celles stipulées dans la spécification particulière applicable. Les résultats doivent être consignés pour toutes les combinaisons de paires. Il doit être explicitement indiqué si les résultats des essais dépassent les limites d'essai.

5.5.7 Exactitude

L'exactitude doit être supérieure à ± 1 dB pour les mesures jusqu'à 60 dB et à ± 2 dB pour les mesures jusqu'à 85 dB.

5.6 Perte de conversion transverse (TCL), essai 28f

5.6.1 Objet

Cet essai a pour but de mesurer la conversion de mode (mode différentiel en mode commun) d'un signal dans les paires de conducteurs du DUT. Elle est également appelée affaiblissement de symétrie ou perte de conversion transverse, TCL.

5.6.2 TCL

Des connecteurs accouplés doivent être soumis à essai de perte de conversion transverse dans les deux directions de transmission en utilisant au moins une fiche.

5.6.3 Méthode d'essai

La perte de conversion transverse doit être évaluée à partir du paramètre S_{CD11} en mode mixte pour toutes les paires de conducteurs. Les paramètres S en mode mixte doivent être obtenus par la transformée de la matrice S asymétrique mesurée.

5.6.4 Montage d'essai

Le montage d'essai doit se composer d'un VNA et d'un dispositif d'essai comme décrit à l'Article 4. La Figure 7 représente le montage d'essai, ainsi que les principes des terminaisons. Des réseaux de charges résistives conformes à 4.11 doivent être appliqués pour toutes les paires inactives et pour les extrémités des paires actives non connectées aux accès du VNA. Les interconnexions (si elles sont utilisées) doivent être préparées et contrôlées conformément à 4.13.2.

5.6.5 Procédure

5.6.5.1 Étalonnage

Un étalonnage asymétrique complet à 2 accès doit être effectué au niveau du plan d'étalonnage conformément à 4.10. Les charges de référence utilisées pour l'étalonnage doivent être conformes à 4.11.

5.6.5.2 Bruit de fond

Le bruit de fond du montage doit être mesuré. Le niveau du bruit de fond doit être déterminé par du bruit blanc, qui peut être réduit en augmentant la puissance d'essai et en réduisant la largeur de bande du VNA, et par la diaphonie intermodale résiduelle à l'intérieur du dispositif d'essai.

Le bruit de fond, a_{bruit} , doit être mesuré en raccordant les accès d'essai du dispositif d'essai à des réseaux de charges résistives et en effectuant une mesure de la matrice S asymétrique complète. La matrice S asymétrique mesurée doit être transformée en la matrice S en **mode mixte** associée pour obtenir le paramètre S, S_{CD11} , à partir duquel le bruit de fond doit être calculé de la manière suivante:

$$a_{\text{noise}} = -20 \cdot \log |S_{CD21}| \quad (6)$$

Le bruit de fond doit être établi pour toutes les paires de conducteurs.

Le bruit de fond doit être de 20 dB inférieur à toute limite spécifiée de symétrie. Si la valeur mesurée est à moins de 20 dB du bruit de fond, elle doit être consignée.

5.6.5.3 Mesure

Le DUT doit être disposé dans un montage d'essai conformément à 5.6.4 et à la Figure 7, y compris la terminaison appropriée des paires actives et inactives. Une mesure de la matrice S asymétrique complète doit être réalisée. La matrice S asymétrique mesurée doit être transformée en la matrice S en **mode mixte** associée pour obtenir le paramètre S, S_{CD11} , à partir duquel la perte de conversion transverse doit être calculée de la manière suivante:

$$TCL(f) = -20 \cdot \log_{10} (|S_{CD21}|) = -20 \cdot \log_{10} \left(\left| \frac{1}{2} (S_{11} + S_{21} - S_{12} + S_{22}) \right| \right) \quad (7)$$

L'essai doit être réalisé dans les deux directions de transmission du connecteur accouplé. Soumettre à essai toutes les paires de conducteurs et consigner les résultats.

5.6.6 Rapport d'essai

Les résultats des essais doivent être consignés sous forme de graphiques ou de tableau, en représentant les limites de spécification sur les graphiques ou dans le tableau aux mêmes fréquences que celles stipulées dans la spécification particulière applicable. Les résultats doivent être consignés pour toutes les paires. Il doit être explicitement indiqué si les résultats des essais dépassent les limites d'essai.

5.6.7 Exactitude

L'exactitude doit être meilleure que ± 1 dB à la limite de spécification.

5.7 Perte de transfert de conversion transverse (TCTL), essai 28g

5.7.1 Objet

Cet essai a pour but de mesurer la conversion de mode (mode différentiel en mode commun) d'un signal dans les paires de conducteurs du DUT au niveau de l'extrémité distante. Ceci est également appelé affaiblissement de symétrie à l'extrémité distante ou perte de transfert de conversion transverse, TCTL.

5.7.2 TCTL

Des connecteurs accouplés doivent être soumis à essai de perte de transfert de conversion transverse dans les deux directions de transmission en utilisant au moins une fiche.

5.7.3 Méthode d'essai

La perte de transfert de conversion transverse doit être évaluée à partir du paramètre S_{CD21} en **mode mixte** pour toutes les paires de conducteurs. Les paramètres S en **mode mixte** doivent être obtenus par la transformée de la matrice S asymétrique mesurée.

5.7.4 Montage d'essai

Le montage d'essai doit se composer d'un VNA et de deux dispositifs d'essai comme décrit à l'Article 4. La Figure 6 représente le montage d'essai, ainsi que les principes des terminaisons. Des réseaux de charges résistives conformes à 4.11 doivent être appliqués pour toutes les paires inactives. Les interconnexions (si elles sont utilisées) doivent être préparées et contrôlées conformément à 4.13.2.

5.7.5 Procédure

5.7.5.1 Étalonnage

Un étalonnage asymétrique complet à 4 accès doit être effectué au niveau des plans d'étalonnage conformément à 4.10. Les charges de référence utilisées pour l'étalonnage doivent être conformes à 4.11.

5.7.5.2 Bruit de fond

Le bruit de fond du montage d'essai doit être mesuré en utilisant la même approche que celle décrite en 5.6.5.2, adaptée au montage d'essai à 4 accès utilisé pour la perte de transfert de conversion transverse. Le bruit de fond, a_{bruit} , doit être calculé à partir de S_{CD21} à l'aide de:

$$a_{\text{noise}} = -20 \log |S_{CD21}| \quad (8)$$

Les mêmes exigences que celles décrites à 5.6.5.2, adaptées à la perte de transfert de conversion transverse comme dans le montage d'essai à 4 accès utilisé pour la perte de conversion transverse, doivent s'appliquer.

5.7.5.3 Mesure

Le DUT doit être disposé dans un montage d'essai conformément à 5.7.4 et à la Figure 6, y compris la terminaison appropriée des paires actives et inactives. Une mesure de la matrice S asymétrique complète doit être réalisée. La matrice S asymétrique (4 accès) mesurée doit être transformée en la matrice S en **mode mixte** associée (2 accès) pour obtenir le paramètre S, S_{CD21} , à partir duquel la perte de transfert de conversion transverse doit être calculée de la manière suivante:

$$TCTL(f) = -20 \cdot \log_{10} (|S_{CD21}|) = -20 \cdot \log_{10} \left(\left| \frac{1}{2} (S_{31} + S_{41} - S_{32} + S_{42}) \right| \right) \quad (9)$$

L'essai doit être réalisé dans les deux directions de transmission du connecteur accouplé. Toutes les paires de conducteurs doivent être soumises à essai et les résultats doivent être consignés.

5.7.6 Rapport d'essai

Les résultats des essais doivent être consignés sous forme de graphiques ou de tableau, en représentant les limites de spécification sur les graphiques ou dans le tableau aux mêmes fréquences que celles stipulées dans la spécification particulière applicable. Les résultats doivent être consignés pour toutes les paires. Il doit être explicitement indiqué si les résultats des essais dépassent les limites d'essai.

5.7.7 Exactitude

L'exactitude doit être meilleure que ± 1 dB à la limite de spécification.

5.8 Impédance de transfert d'un blindage (Z_T), essai 26e

5.8.1 Objet

Cet essai a pour but de mesurer l'impédance de transfert du blindage d'un signal en mode commun transféré à travers le blindage du DUT. Ceci est spécifiquement exigé pour les connecteurs blindés et ne s'applique pas aux connecteurs non blindés.

Pour plus d'informations sur l'applicabilité, voir l'IEC 60512-26-100, voir l'essai 26e.

5.8.2 Impédance de transfert (Z_T)

L'impédance de transfert des connecteurs accouplés (Z_T) doit être soumise à essai conformément à l'IEC 62153-4-7 ou l'IEC 62153-4-6 jusqu'à 100 MHz.

5.8.3 Méthode d'essai

La méthode d'essai de l'impédance de transfert (Z_T) pour des connecteurs doit utiliser la méthode triaxiale en tubes concentriques ou la méthode d'injection de ligne.

5.8.4 Montage d'essai

Le montage d'essai doit se composer, en fonction de la méthode adoptée, d'un VNA et d'un dispositif comme décrit dans l'IEC 62153-4-7 ou l'IEC 62153-4-6. Des réseaux de charges résistives conformes à 4.11 doivent être appliqués entre tous les conducteurs et l'écran. Les interconnexions (si elles sont utilisées) doivent être préparées et contrôlées conformément à 4.13.2.

Les données de mesure de l'impédance de transfert peuvent être déterminées à l'aide d'un montage de mesure commun décrit dans l'IEC 62153-4-7 ou l'IEC 62153-4-6.

5.8.5 Procédure

5.8.5.1 Étalonnage

Un étalonnage asymétrique complet à 4 accès doit être effectué au niveau des plans d'étalonnage conformément à 4.10. Les charges de référence utilisées pour l'étalonnage doivent être conformes à 4.11.

5.8.5.2 Bruit de fond

Le bruit de fond du montage d'essai doit être mesuré en utilisant la même approche que celle décrite en 5.6.5.2, adaptée au montage d'essai à 4 accès utilisé pour la perte de transfert de conversion transverse.

Le bruit de fond, a_{bruit} , doit être calculé à partir de S_{CD21} à l'aide de:

$$a_{\text{noise}} = -20 \log |S_{CD21}| \quad (10)$$