

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**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**

**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**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2015 IEC, Geneva, Switzerland

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

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

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

Tel.: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00
info@iec.ch
www.iec.ch

About the IEC

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

About IEC publications

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

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

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

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 30 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 15 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

More than 60 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

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

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

A propos de l'IEC

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

A propos des publications IEC

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

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

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

Recherche de publications IEC - www.iec.ch/searchpub

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 30 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 15 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

Plus de 60 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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



INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**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**

**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**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 31.220.10

ISBN 978-2-8322-2306-2

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

CONTENTS

FOREWORD.....	6
1 Scope and object.....	8
2 Normative references	8
3 Terms, definitions and abbreviations	9
3.1 Terms and definitions.....	9
3.2 Abbreviations.....	9
4 Overall test arrangement	10
4.1 Test instrumentation	10
4.2 Coaxial cables and interconnect for network analysers	11
4.3 Measurement precautions	11
4.4 Reference components for calibration	13
4.4.1 Reference loads for calibration	13
4.5 Termination loads for termination of conductor pairs	14
4.5.1 Differential mode	14
4.5.2 Balun terminations.....	14
4.5.3 Termination types	15
4.6 Termination of screens	15
4.7 Test specimen and reference planes.....	15
4.7.1 General	15
4.7.2 Interconnections between device under test (DUT) and the calibration plane	15
4.8 Termination of balun	17
4.8.1 General requirements	17
4.8.2 Centre tap connected to ground.....	17
4.8.3 Centre tap open.....	18
4.9 Sequence for calibration and measurement	18
5 Connector measurement up to 100 MHz and 500 MHz.....	22
5.1 General.....	22
5.2 Insertion loss, Test 29a.....	22
5.2.1 Object.....	22
5.2.2 Connector with male or female contacts for insertion loss.....	23
5.2.3 Test method	23
5.2.4 Test set-up	23
5.2.5 Procedure.....	23
5.2.6 Test report.....	24
5.2.7 Accuracy	24
5.3 Return loss, Test 29b.....	24
5.3.1 Object.....	24
5.3.2 Connector with male or female contacts for return loss	24
5.3.3 Test method	24
5.3.4 Test set-up	24
5.3.5 Procedure.....	25
5.3.6 Test report.....	25
5.3.7 Accuracy	25
5.4 Near-end crosstalk (NEXT), Test 29c.....	26
5.4.1 Object.....	26

5.4.2	Connector with male or female contacts for NEXT	26
5.4.3	Test method	26
5.4.4	Test set-up	26
5.4.5	Procedure.....	27
5.4.6	Test report.....	28
5.4.7	Accuracy	28
5.5	Far-end crosstalk (FEXT), Test 29d	28
5.5.1	Object.....	28
5.5.2	Connector with male or female contacts for FEXT.....	28
5.5.3	Test method	28
5.5.4	Test set-up	28
5.5.5	Procedure.....	29
5.5.6	Test report.....	30
5.5.7	Accuracy	30
5.6	Transfer impedance (ZT), Test 29e	30
5.7	Transverse conversion loss (TCL), Test 29f	30
5.7.1	Object.....	30
5.7.2	Connector with male or female contacts for TCL.....	30
5.7.3	Test method	30
5.7.4	Test set-up	30
5.7.5	Procedure.....	31
5.7.6	Test report.....	33
5.7.7	Accuracy	34
5.8	Transverse conversion transfer loss (TCTL), Test 29g	34
5.8.1	Object.....	34
5.8.2	Connector with male or female contacts for TCTL.....	34
5.8.3	Test method	34
5.8.4	Test set-up	34
5.8.5	Procedure.....	35
5.8.6	Test report.....	35
5.8.7	Accuracy	35
5.9	Coupling attenuation	35
6	Construction and qualification of direct fixtures (DFP and DFJ)	35
6.1	General.....	35
6.2	Direct fixtures for DUT testing.....	36
6.2.1	Requirements for direct fixture up to 100 MHz	36
6.2.2	Requirements for direct fixture up to 500 MHz	37
Annex A (normative)	Impedance controlled measurement fixture	39
A.1	General.....	39
A.2	Load	40
A.3	Additional components for connection to a network analyzer.....	42
A.4	Direct fixture	44
A.5	Connecting hardware measurement 1 configuration	47
A.6	DUT connections using header PCB assemblies	47
Annex B (informative)	Reference source	48
B.1	Test fixture components	48
Annex C (informative)	Related connectors	49
Annex D (informative)	Interface to test fixtures	50

Bibliography..... 52

Figure 1 – Measurement strategies 10

Figure 2 – 180° hybrid used as a balun 11

Figure 3 – Measurement configurations for test balun qualification 13

Figure 4 – Calibration of reference loads 14

Figure 5 – Resistor termination networks 14

Figure 6 – Definition of reference planes..... 15

Figure 7 – Balanced attenuator for balun centre tap grounded 17

Figure 8 – Balanced attenuator for balun centre tap open 18

Figure 9 – Open calibration..... 18

Figure 10 – Short calibration..... 19

Figure 11 – Load calibration..... 19

Figure 12 – Thru calibration 20

Figure 13 – Measurement of RL and NEXT on the DUT 21

Figure 14 – Measurement of IL and FEXT on the DUT 22

Figure 15 – Measuring set-up 23

Figure 16 – Return loss measurement..... 25

Figure 17 – NEXT measurement 27

Figure 18 – FEXT measurement for differential and common mode terminations..... 29

Figure 19 – TCL measurement..... 31

Figure 20 – Coaxial lead attenuation calibration..... 31

Figure 21 – Back to back balun insertion loss measurement 32

Figure 22 – Configuration for balun common mode insertion loss calibration..... 32

Figure 23 – Schematic for balun common mode insertion loss calibration 33

Figure 24 – TCTL measurement..... 34

Figure 25 – Reference planes 36

Figure 26 – Direct fixture M12, d-code mating face 37

Figure 27 – Direct fixture M12, d-code 37

Figure 28 – Direct fixture M12, x-code mating face 38

Figure 29 – Direct fixture M12, x-code 38

Figure A.1 – Test head assembly M12, d-code with baluns attached..... 39

Figure A.2 – Test head assembly M12, x-code with baluns attached 40

Figure A.3 – Test head assembly M12 mated with the load M12 41

Figure A.4 – Balun test fixture with the load M12 41

Figure A.5 – Load M12, x-code 42

Figure A.6 – Load M12, d-code 42

Figure A.7 – Test head showing shielding between baluns..... 43

Figure A.8 – Balun test fixture assembly 44

Figure A.9 – Direct fixture M12, d-code (DFJ) for DUT with male contacts 45

Figure A.10 – Direct fixture M12, d-code (DFJ) for DUT with male contacts 45

Figure A.11 – Direct fixture M12, x-code (DFJ) for DUT with male contacts..... 46

Figure A.12 – Direct fixture M12, x-code (DFJ) for DUT with male contacts – Cross-cut..... 46

Figure A.13 – Exploded assembly of the direct fixture (DFJ)	47
Figure A.14 – Example of a connecting hardware measurement configuration	47
Figure D.1 – Test balun interface pattern	50
Figure D.2 – Example pin and socket dimension	51
Table 1 – Test balun performance characteristics up to 500 MHz	12
Table 2 – Test balun performance characteristics up to 100 MHz	12
Table 3 – Interconnection return loss	16
Table 4 – Uncertainty band of return loss measurement at frequencies below 100 MHz	26
Table 5 – Uncertainty band of return loss measurement at frequencies above 100 MHz	26
Table 6 – Direct fixture M12, performance up to 100 MHz	37
Table 7 – Direct fixture M12, performance up to 500 MHz	38
Table A.1 – Load M12, performance up to 500 MHz	42
Table A.2 – Load M12, performance up to 100 MHz	42
Table C.1 – Related connectors	49

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**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**

FOREWORD

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

International Standard IEC 60512-29-100 has been prepared by subcommittee 48B: Electrical connectors, of IEC technical committee 48: Electrical connectors and mechanical structures for electrical and electronic equipment.

The text of this standard is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
48B/2410/FDIS	48B/2424/RVD

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

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

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

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

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

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

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

1 Scope and object

This part of IEC 60512 specifies the test methods for transmission performance for M12-style connectors up to 500 MHz. It is also suitable for testing lower frequency connectors if they meet the requirements of the detail specifications and of this standard.

NOTE 1 All figures show equipment for connectors according to IEC 61076-2-109 as an example.

The test methods provided herein are:

- insertion loss, test 29a;
- return loss, test 29b;
- near-end crosstalk (NEXT) test 29c;
- far-end crosstalk (FEXT), test 29d;
- transverse conversion loss (TCL), test 29f;
- transverse conversion transfer loss (TCTL), test 29g.

For the transfer impedance (ZT) test, see IEC 60512-26-100, test 26e.

For the coupling attenuation see ISO/IEC 11801.

All test methods apply for two and four pair connectors.

NOTE 2 All figures show schemes for four pair cabling and are also suitable for two pair cabling.

2 Normative references

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

IEC 60050 (all parts): *International Electrotechnical Vocabulary* (available at <http://www.electropedia.org>)

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

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

IEC 61076-2-101, *Connectors for electronic equipment – Product requirements – Part 2-101: Circular connectors – Detail specification for M12 connectors with screw-locking*

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*

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

ISO/IEC 11801, *Information technology – Generic cabling for customer premises*

EN 50289-1-14, *Communication cables – Specification for test methods – Part 1-14: Electrical test methods – Coupling attenuation or screening attenuation of connecting hardware*

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

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

3 Terms, definitions and abbreviations

3.1 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions of IEC 60050-581, IEC 61076-1, IEC 60512-1, as well as the following, apply.

3.1.1

Reference Test Jack

RTJ

connector with female contacts which is constructed such that it is a test artefact

3.1.2

Reference Test Plug

RTP

connector with male contacts which is constructed such that it is a test artefact

3.1.3

Direct Fixture Jack

DFJ

interface with contacts to mate a plug with male contacts

3.1.4

Direct Fixture Plug

DFP

interface with contacts to mate a jack with female contacts

3.2 Abbreviations

CM	Common mode
DM	Differential mode
DFJ	Direct Fixture Jack
DFP	Direct Fixture Plug
DMCM	Differential mode plus common mode
DUT	Device under test

FEXT	Far-end crosstalk
IDC	Insulation displacement connection
IEC	International Electrotechnical Commission
IL	Insertion Loss
NEXT	Near-end crosstalk
RL	Return Loss
RTJ	Reference Test jack
RTP	Reference Test plug
TCL	Transverse conversion loss
TCTL	Transverse conversion transfer loss

4 Overall test arrangement

4.1 Test instrumentation

All test instrumentation shall be qualified over the frequency range of 1 MHz to the maximum specified frequency from the DUT.

These test procedures require the use of a vector network analyzer. The analyser should have the capability of full 2-port calibrations. The analyser shall cover the frequency range of 1 MHz to the maximum specified frequency from the DUT at least.

When used, at least two test baluns are required in order to perform measurements with balanced symmetrical signals. The requirements for the baluns are given in 4.3.

Optionally, multi-port network analysers for balun-less test set-up may be used.

Reference loads are needed for the calibration of the set-up. Requirements for the reference loads are given in 4.5.1.

Termination loads are needed for termination of pairs, used and unused, which are not terminated by the test baluns. Requirements for the termination loads are given in 4.6.

An absorbing clamp and ferrite absorbers are needed for the coupling attenuation measurements. The requirements for these items are given in EN 50289-1-14.

The test procedures allow an independent test of the male and female part of the connector. Both are described in Clause 5. Figure 1 shows the feasible measurement strategies for the qualification of a DUT.

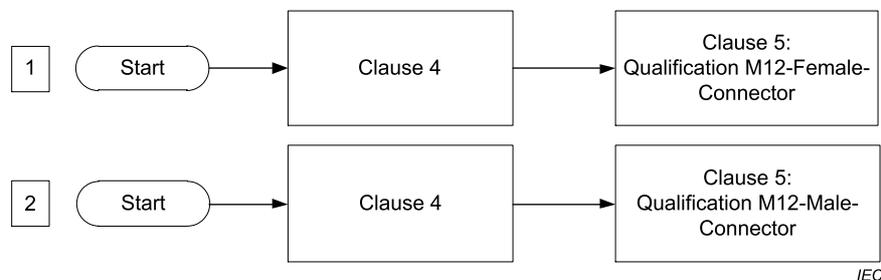


Figure 1 – Measurement strategies

4.2 Coaxial cables and interconnect for network analysers

Lengths of coaxial cables used to connect the network analyser to the baluns shall be as short as possible. (It is recommended that they do not exceed 600 mm each.) The baluns shall be electrically bonded to a common ground plane. For crosstalk measurements, a test fixture may be used, in order to reduce residual crosstalk (see Annex A). Balanced interconnect and associated connecting hardware used to connect the test equipment and the connector under test shall meet the requirements given in 4.8.

4.3 Measurement precautions

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

- a) Consistent and stable balun and resistor loads shall be used for each pair throughout the test sequence.
- b) Cable and adapter discontinuities, as introduced by physical flexing, sharp bends and restraints shall be avoided before, during and after the tests.
- c) Consistent test methodology and terminations (baluns or resistors) shall be used at all stages of transmission performance qualifications. The relative spacing of conductors in the pairs shall be preserved throughout the tests to the greatest extent possible.
- d) The balance of the cables is maintained to the greatest extent possible by consistent conductor lengths and pair twisting to the point of load.
- e) The sensitivity to set-up variations for these measurements at high frequencies demands attention to details for both the measurement equipment and the procedures.

Balun requirements

The baluns may be balun transformers or 180° hybrids with attenuators to improve matching if needed (see Figure 2)

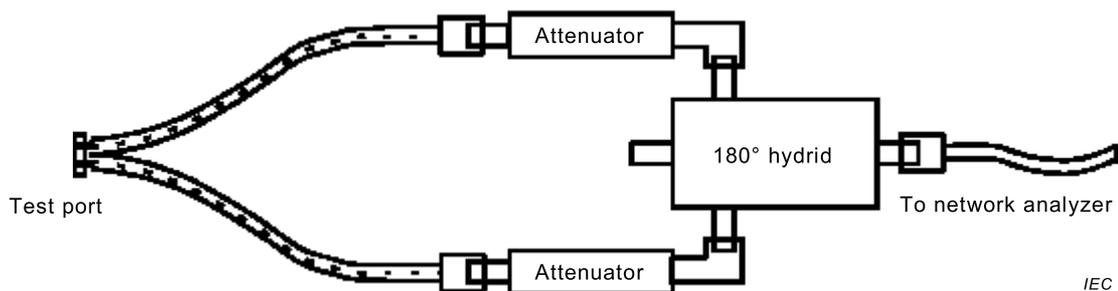


Figure 2 – 180° hybrid used as a balun

The specifications for the baluns apply for the whole frequency range for which they are used. Baluns shall be RFI shielded and shall comply with the specifications listed in Table 1 and Table 2.

Table 1 – Test balun performance characteristics up to 500 MHz

Parameter	Frequency MHz	Value
Impedance, primary ¹⁾	$1 \leq f \leq 500$	50 Ω unbalanced
Impedance, secondary	$1 \leq f \leq 500$	100 Ω balanced
Insertion loss	$1 \leq f \leq 500$	2,0 dB maximum
Return loss, bi-directional ²⁾	$1 \leq f < 15$	12 dB minimum
	$15 \leq f \leq 500$	20 dB minimum
Return loss, common mode ²⁾	$1 \leq f < 15$	15 dB minimum
	$15 \leq f < 400$	20 dB minimum
	$400 \leq f \leq 500$	15 dB minimum
Power rating	$1 \leq f \leq 500$	0,1 W minimum
Longitudinal balance ²⁾	$1 \leq f < 100$	60 dB minimum
	$100 \leq f \leq 500$	50 dB minimum
Output signal balance ²⁾	$1 \leq f \leq 500$	50 dB minimum
Common mode rejection ²⁾	$1 \leq f \leq 500$	50 dB minimum
¹⁾ Primary impedance may differ, if necessary, to accommodate analyzer outputs other than 50 Ω. ²⁾ Measured per ITU-T Recommendation G.117 with the network analyzer calibrated using a 50 Ω load.		

Table 2 – Test balun performance characteristics up to 100 MHz

Parameter	Frequency MHz	Value
Impedance, primary	$1 \leq f \leq 100$	50 Ω unbalanced
Impedance, secondary	$1 \leq f \leq 100$	100 Ω balanced
Insertion loss	$1 \leq f \leq 100$	10,0 dB maximum
Return loss, secondary	$1 \leq f < 100$	14 dB minimum
Return loss, common mode with common mode termination ¹⁾	$1 \leq f < 100$	10 dB maximum
Power rating	$1 \leq f \leq 100$	0,1 W minimum
Longitudinal balance ²⁾	$1 \leq f < 100$	50 dB minimum
Output signal balance ³⁾	$1 \leq f \leq 100$	50 dB minimum
Common mode rejection ³⁾	$1 \leq f \leq 100$	50 dB minimum
¹⁾ Measured by connecting the balanced output terminals together and measuring the return loss. The nominal primary impedance shall terminate the primary input terminal. See also Figure 3, part Common Mode Return Loss. ²⁾ Applicable for baluns, which are used for balance measurements. Measured from the primary input terminal to the common mode terminal when the secondary balanced terminal is terminated with 100 Ω. ³⁾ Measured according to ITU-T Recommendations G.117 and O.9 .		

For ease of interfacing to test fixtures, a pin and socket interface with dimensions as shown in Annex D is recommended. Figure 3 depicts the proper test configurations for qualifying test baluns to the requirements of Table 2.

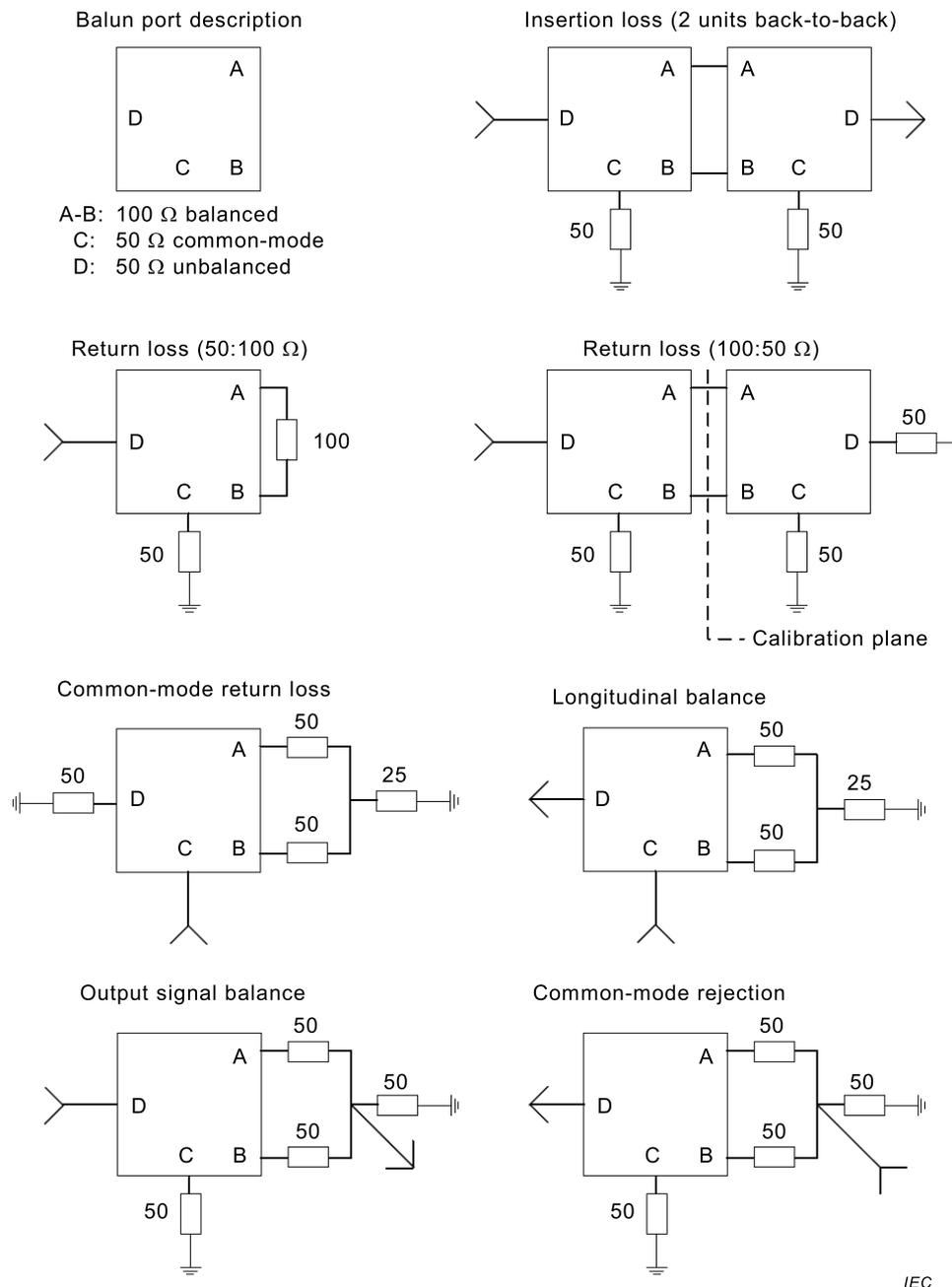


Figure 3 – Measurement configurations for test balun qualification

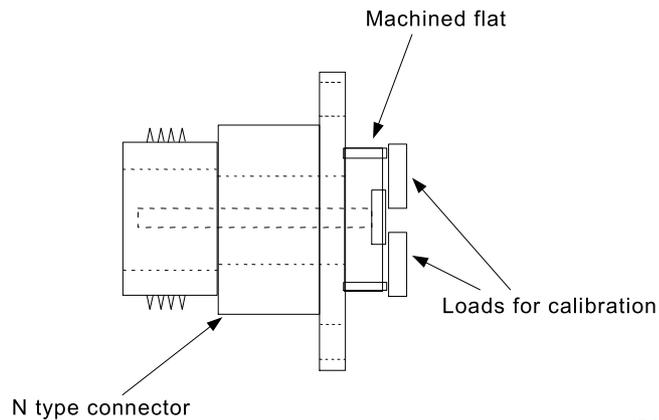
4.4 Reference components for calibration

4.4.1 Reference loads for calibration

To perform a one or two-port calibration of the test equipment, a short circuit, an open circuit and a reference load are required. These devices shall be used to obtain a calibration.

The reference load shall be calibrated against a calibration reference, which shall be a 50 Ω load, traceable to an international reference standard. Two 100 Ω reference loads in parallel shall be calibrated against the calibration reference. The reference loads for calibration shall be placed in an N-type connector according to IEC 61169-16, meant for panel mounting, which is machined flat on the back side (see Figure 4). The loads shall be fixed to the flat side of the connector, distributed evenly around the centre conductor. A network analyser shall be calibrated, 1-port full calibration, with the calibration reference. Thereafter, the return loss of the reference loads 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.



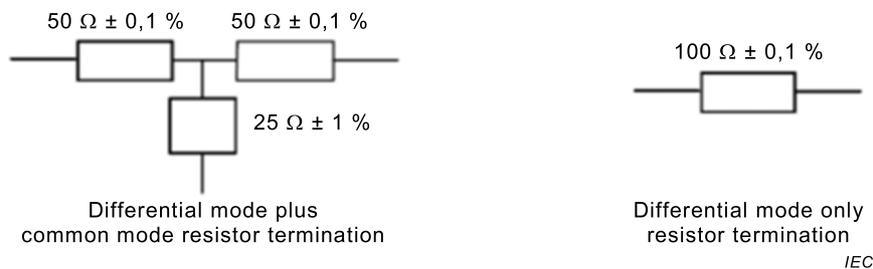
IEC

Figure 4 – Calibration of reference loads

4.5 Termination loads for termination of conductor pairs

4.5.1 Differential mode

Differential mode plus common mode (DMCM) terminations, as shown in Figure 5 on the left, shall be used on all active pairs under test, except when measuring return loss, where DM only resistor terminations are recommended. DMCM resistor terminations shall be used on all inactive pairs and on the opposite ends of active pairs for NEXT loss and FEXT loss testing. Inactive pairs for return loss testing may be terminated with DM or DMCM resistor terminations, or left un-terminated. Balun terminations may be used on the far-end of all inactive pairs provided that their DM and common mode return loss performance characteristics meet the minimum performance of the specified resistor networks.



IEC

Figure 5 – Resistor termination networks

Small geometry chip resistors shall be used for the construction of resistor terminations. The two 50 Ω DM terminating resistors shall be matched to within 0,1 % at DC. The length of connections to impedance terminating resistors shall be minimized. Lead lengths of 2 mm or less are recommended.

4.5.2 Balun terminations

Baluns used for termination shall comply with the requirements of 4.3. The common mode termination resistor applied to the CM port of the balun shall be 50 Ω ± 1 %.

4.5.3 Termination types

The performance of impedance matching resistor termination networks shall be verified by measuring the return loss of the termination at the calibration plane. For this measurement, a one port calibration is required using a traceable reference load as described in 4.4.1.

The DM return loss of the load termination shall exceed $20 - 20 \log(f/500)$. Calculations that result in return loss limit values greater than 40 dB shall revert to a requirement of 40 dB minimum. The common mode return loss shall exceed 15 dB. The residual NEXT loss between any two impedance termination networks shall exceed the requirements of formula (1). Calculations that result in residual NEXT loss limit values greater than 84 dB shall revert to a requirement of 84 dB minimum.

$$\text{NEXT}_{\text{residual_term}} \geq 114 - 20 \cdot \log(f) \text{ dB} \quad (1)$$

4.6 Termination of screens

If the connector under test is screened, screened measurement cables shall be applied.

The screen or screens of these cables shall be fixed to the ground plane as close as possible to the measurement baluns.

4.7 Test specimen and reference planes

4.7.1 General

The test specimen is a mated pair of relevant connectors. The connector reference plane for the test specimen is the point at which the cable sheath enters the connector (the back end of the connector) or the point at which the internal geometry of the cable is no longer maintained, whichever is farther from the connector (see Figure 6). Also connectors with PCB-mounting are applicable. This definition applies to both ends of the test specimen. The connector shall be terminated in accordance with the manufacturer's instructions and shall be compatible with the measurement test set up and fixtures.

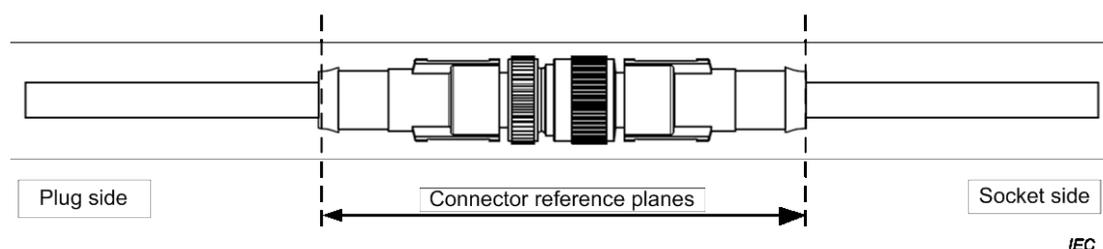


Figure 6 – Definition of reference planes

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

4.7.2.1 General

Twisted-pair interconnect, printed circuits or other interconnections are used between the connector reference plane of the DUT and the calibration plane. It is necessary to control the characteristics of these interconnections to the best extent possible as they are beyond the calibration plane. These interconnections should be as short as practical and their common mode and DM impedances shall be managed to minimize their effects on measurement. Refer to Annex A for additional information about test fixtures which may be used to facilitate impedance management. The return loss performance of the interconnections shall meet the requirements of Table 3. The insertion loss performance of the interconnections is assumed to be less than 0,1 dB over the frequency range from 1 MHz to 100 MHz (Category 5) and 1 MHz to 500 MHz (Category 6_A).

It is recommended that all DUTs, including TFJs and TFPs, have sockets with 2,5 mm spacing applied to the ends of their interconnects to facilitate a consistent interfacing with the baluns.

4.7.2.2 Impedance matching interconnect

4.7.2.2.1 General

When used, twisted-pair interconnect shall have 100 Ω nominal differential characteristic impedance. The twisted-pairs should not exhibit gaps between the conductors insulation. Interconnect shall be qualified for differential mode return loss. There are two different methods to obtain interconnect: they may be obtained as individual twisted-pairs, or they may be part of a cable. If common mode terminations are required, the interconnect shall be placed in an impedance managing system, as described in Annex A. The maximum length of the twisted-pair leads at each end of the DUT shall be 51 mm.

4.7.2.2.2 Individual twisted-pair interconnect

Twisted-pair interconnect may be obtained from discrete twisted-pair stock or removed from sheathed cable. Prior to attachment to the DUT, the return loss of each pair shall be tested. For this test, 100 mm lengths of twisted-pair shall be used. The interconnect shall be terminated across each pair with a precision 0,1 % (0603 size or similar) chip resistor or similar chip resistor as described in 4.5.1. The resistor 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 insulation, and excess solder. When tested, the test leads shall be attached to the balun or differential mode test port using the same fixtures as when testing the DUT. The twisted-pair leads are then trimmed for attachment to the device and the test fixtures. See Annex A for an appropriate test fixture. It is recommended to use the same load for both calibration and termination of the test lead during measurement.

4.7.2.2.3 Interconnect as part of cables

Interconnect may also be obtained from a section of twisted-pair cable where the four twisted-pair interconnect are maintained in the cable sheath. This method will most often be used with TFPs, cut from the ends of assembled cords, but can also be used with connector with female contacts. Prior to attachment to the DUT, the return loss of the cable pairs (within the cable) shall be tested. For this test, a 100 mm length of cable shall be selected. Each twisted-pair of the cable end shall be DM terminated across each pair with precision 0,1 % (0603 size or similar) differential mode chip resistors as described in 4.6. The cable shall then be terminated to the DUT per manufacturer’s instructions and trimmed for attachment to the measurement system. When this method is used with TFPs cut from assembled cords, it shall be sufficient if the cord cable was qualified for return loss to 100 MHz at Category 5 and 500 MHz at Category 6_A, or if the assembled cord was qualified for return loss to 100 MHz or 500 MHz.

4.7.2.3 Interconnection return loss requirements

The interconnection shall meet the requirements in Table 3 relative to the calibration resistor specified in 4.7.2.2.2.

Table 3 – Interconnection return loss

Frequency MHz	Return loss dB	Category
$1 \leq f < 80$	40 dB	All
$80 \leq f \leq 100$	$78 - 20 \log(f)$ dB	5
$80 \leq f \leq 500$	$78 - 20 \log(f)$ dB	6 _A

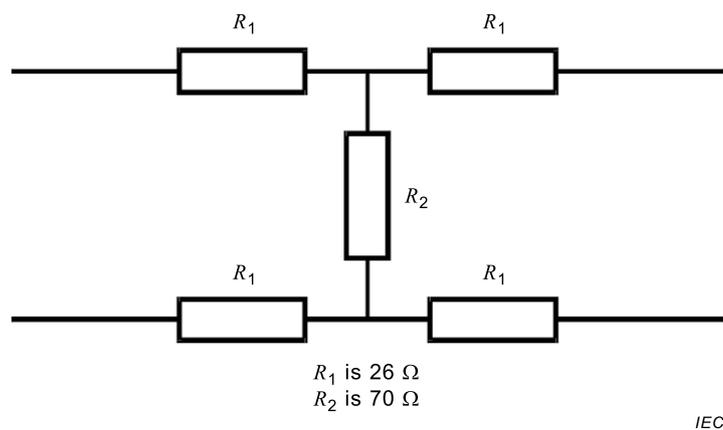
4.8 Termination of balun

4.8.1 General requirements

If the available balun does not provide a common-mode termination (centre tap is either connected to ground or open), a balanced resistor attenuator shall be applied in order to provide the required return loss. The attenuator shall be implemented at a small printed circuit board mounted with SMD resistors. There are two cases: one for the centre tap connected to ground and one for the centre tap open.

4.8.2 Centre tap connected to ground

A diagram of the attenuator is shown in Figure 7. The nominal attenuation is 10 dB and the calculated common-mode impedance is 26Ω .

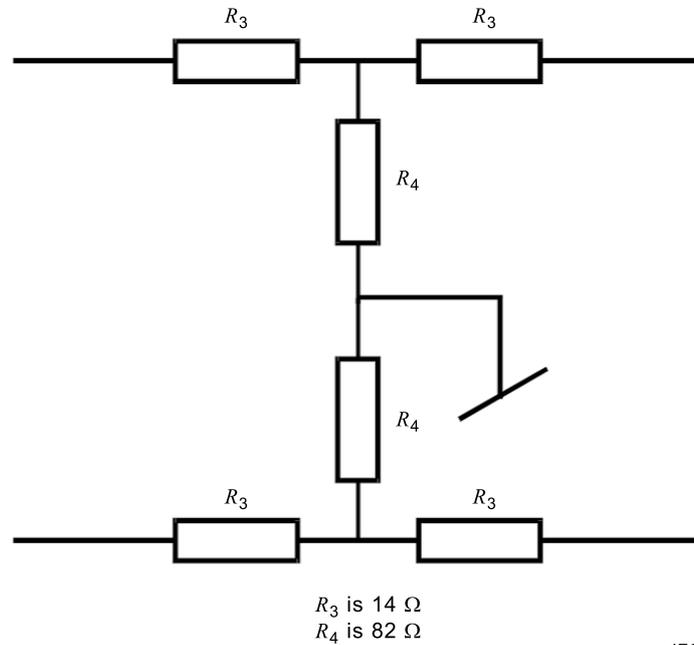


NOTE Resistor values are nominal. The nearest standard values may be chosen.

Figure 7 – Balanced attenuator for balun centre tap grounded

4.8.3 Centre tap open

A diagram of the attenuator is shown in Figure 8. The nominal attenuation is 5 dB and the calculated common-mode impedance is 48 Ω.



IEC

NOTE Resistor values are nominal. The nearest standard values may be chosen.

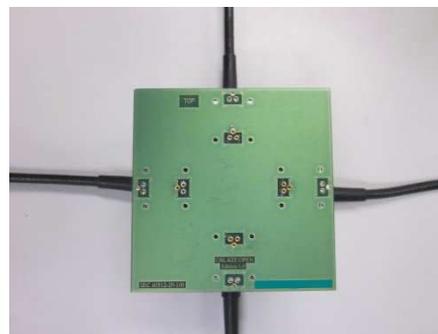
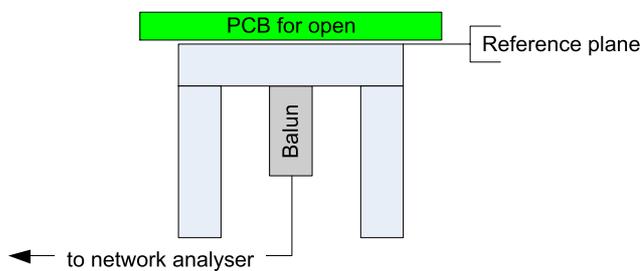
Figure 8 – Balanced attenuator for balun centre tap open

4.9 Sequence for calibration and measurement

The following sequence shall be used to perform a correct calibration of the test equipment and measurement of the DUT.

NOTE Figures 9 to 14 show grey schematics which is similar to the frame in Figure A.3.

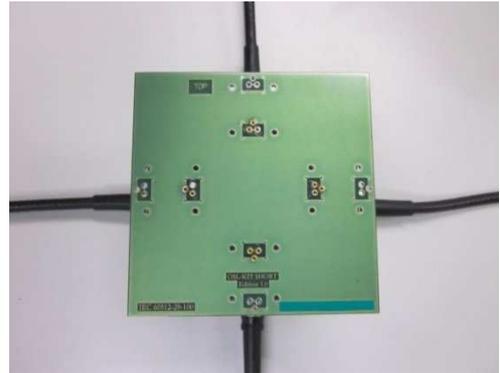
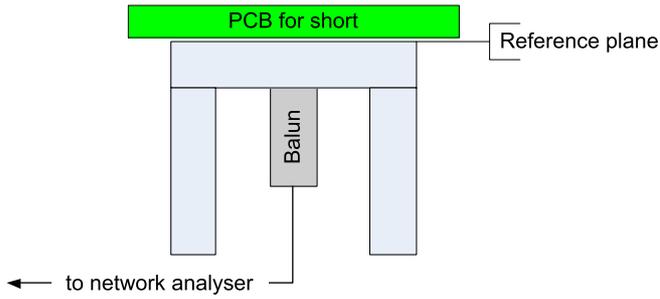
- a) Open calibration on the reference plane with a 2port network analyser as shown in Figure 9.



IEC

Figure 9 – Open calibration

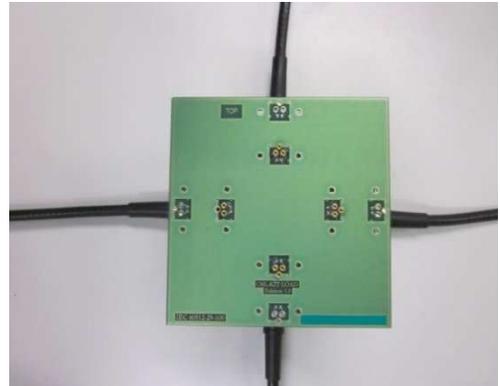
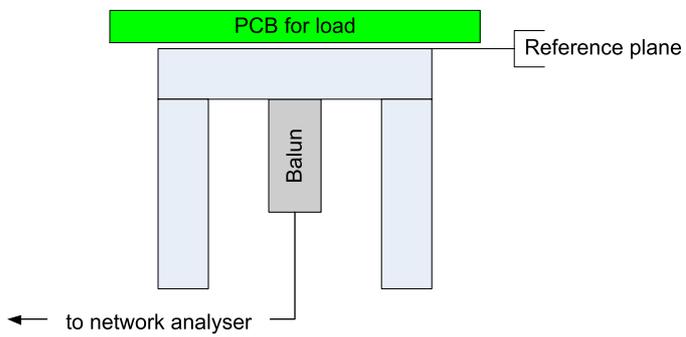
- b) Short calibration on the reference plane with a 2 port network analyser as shown in Figure 10.



IEC

Figure 10 – Short calibration

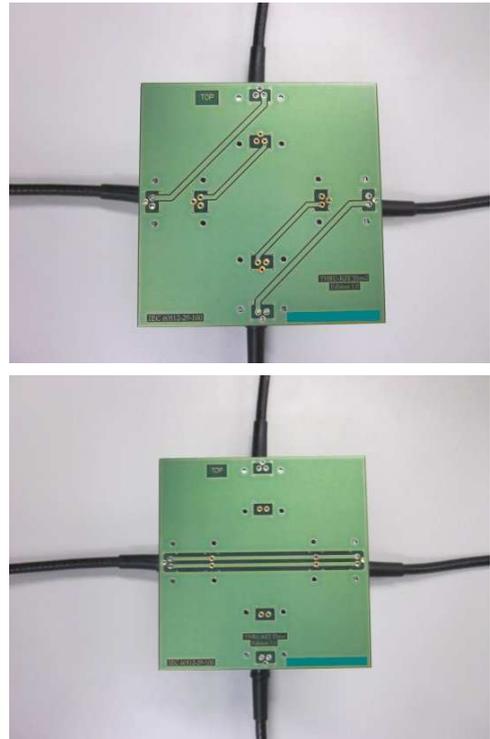
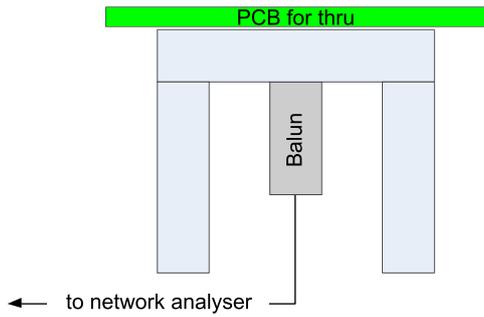
- c) Load calibration on the reference plane with a 2 port network analyser as shown in Figure 11.



IEC

Figure 11 – Load calibration

- d) Thru calibration on the reference plane with a 2 port network analyser as shown in Figure 12.



IEC

Figure 12 – Thru calibration

e) Measurement of RL and NEXT on the DUT as shown in Figure 13.

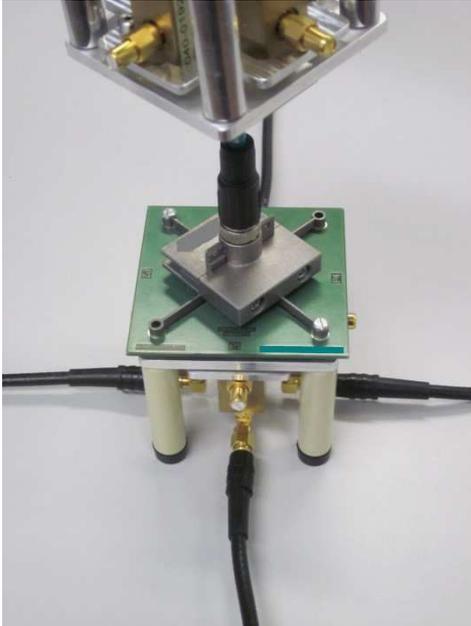
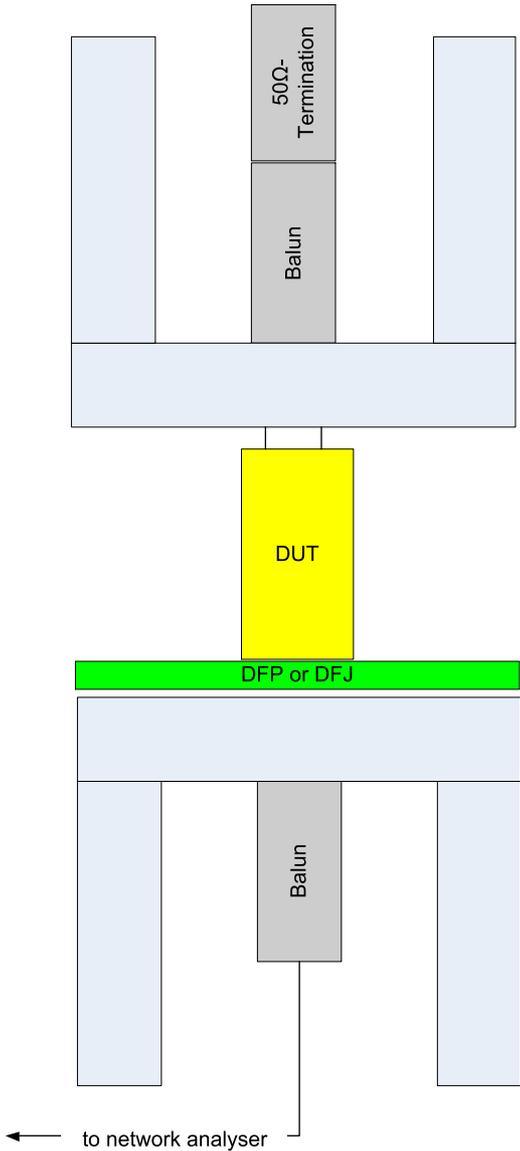


Figure 13 – Measurement of RL and NEXT on the DUT

IEC

f) Measurement of IL and FEXT on the DUT as shown in Figure 14.

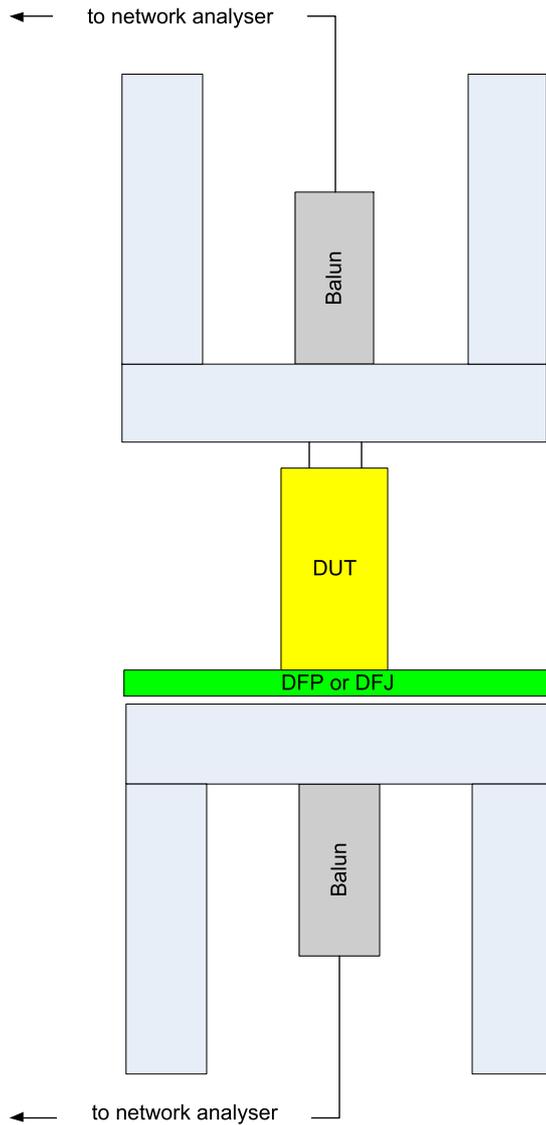


Figure 14 – Measurement of IL and FEXT on the DUT

IEC

5 Connector measurement up to 100 MHz and 500 MHz

5.1 General

The measurements made in this clause are of a mated connector with male contacts and a connector with female contacts. DFPs and DFJs for use in these tests, shall meet all the requirements of 6.2.

5.2 Insertion loss, Test 29a

5.2.1 Object

The object of this test is to measure the insertion loss, which is defined as the additional attenuation that is provided by a pair of mated connectors inserted in a communication cable.

5.2.2 Connector with male or female contacts for insertion loss

The insertion loss shall be measured in at least one direction.

5.2.3 Test method

Insertion loss (IL) is evaluated by measuring the scattering parameters, S_{21} , of all the conductor pairs.

5.2.4 Test set-up

The test set-up consists of a network analyser and two baluns as defined in 4.3. It is not necessary to terminate the unused pairs.

5.2.5 Procedure

5.2.5.1 Calibration

A full 2-port calibration shall be performed at the calibration planes.

5.2.5.2 Measurement

The test specimen shall be terminated with measurement cables at both ends as shown in Figure 15. The length of measurement cables shall be equal to the length of the reference cables used for reflection calibrations. The measurement cables shall be the cable types for which the connector is intended. An S_{21} measurement shall be performed. Common mode termination is required on the pair under test at least one end.

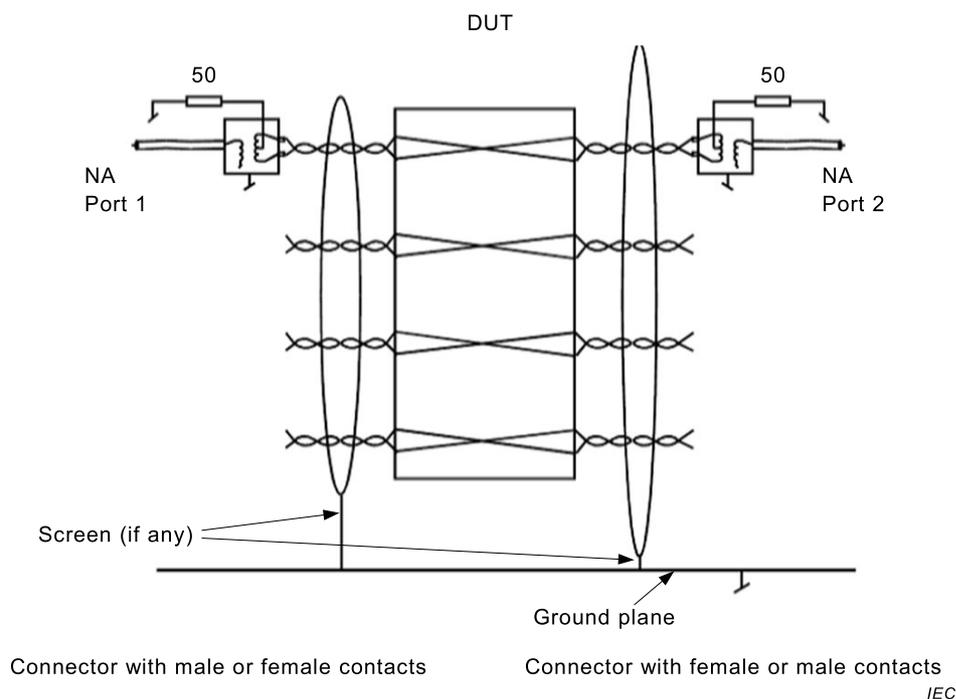


Figure 15 – Measuring set-up

Connectors with female or male contacts shall be measured with at least one connector with male or female contacts in at least one direction. For improved accuracy, the insertion loss of the interconnections at each end of the mated connection may be subtracted from the measurement of the DUT.

5.2.6 Test report

The measured 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 measured results exceed the test limits.

5.2.7 Accuracy

The accuracy shall be within $\pm 0,05$ dB.

5.3 Return loss, Test 29b

5.3.1 Object

The object of this test is to measure the return loss (RL) of the DUT with male or female contacts mated with the direct fixture of appropriate gender. See Figure 16.

5.3.2 Connector with male or female contacts for return loss

Connecting hardware shall be tested in at least one direction for return loss using at least one connector with male or female contacts. This connector with male or female contacts shall satisfy the requirements of 6.2.

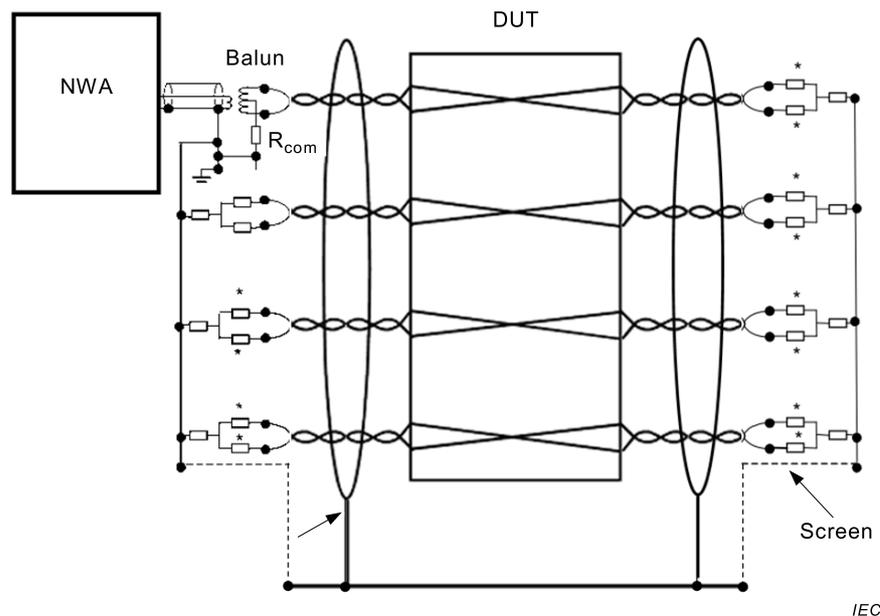
5.3.3 Test method

Return loss is measured by measuring the scattering parameters, S_{11} and S_{22} , of all the conductor pairs.

NOTE As a connector is a low-loss device, the return loss of the two sides is nearly equal.

5.3.4 Test set-up

The test set-up is as described in Clause 4. Differential mode only termination resistors are recommended and shall satisfy the requirements of 4.5.3. When possible, it is recommended to use the same resistor terminations as were used for instrument calibration as the far-end terminations. Interconnect (if used) shall be prepared and controlled per 4.7.2 and shall satisfy the requirements of 4.5.3.



NOTE The line termination resistor networks marked with an asterisk (*) may also include only-differential-mode or balun-used termination.

Figure 16 – Return loss measurement

5.3.5 Procedure

5.3.5.1 Calibration

A full one port, open, short, and load, calibration, shall be performed at the reference plane, as a minimum. A full two port calibration is also acceptable. The calibration load shall meet the requirements of 4.5.3.

5.3.5.2 Measurement

S_{11} and S_{22} measurements shall be carried out for each of the pairs.

Pass-fail qualification is determined by comparing the results to the corresponding connecting hardware requirements plus 6 dB. These higher limits for the components are necessary to ensure the limits for the corresponding connecting hardware considering all worst-case scenarios.

5.3.6 Test report

The measured 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 measured results exceed the test limits.

5.3.7 Accuracy

The return loss of the load for calibration is 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 baluns is expected to deteriorate the return loss of the set-up (effectively the directional bridge implemented by the test set-up) 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. The accuracy (uncertainty band) is given in Table 4 and Table 5.

Table 4 – Uncertainty band of return loss measurement at frequencies below 100 MHz

Measured RL (dB)	10	12	15	18	20	22	25	28	30
Lower uncertainty limit (dB)	–0,3	–0,3	–0,5	–0,7	–0,8	–1,0	–1,4	–1,9	–2,4
Higher uncertainty limit (dB)	+0,3	+0,4	+0,5	+0,7	+0,9	+1,2	+1,7	+2,5	+3,3

Table 5 – Uncertainty band of return loss measurement at frequencies above 100 MHz

Measured RL (dB)	10	12	15	18	20	22	25	28	30
Lower uncertainty limit (dB)	–0,5	–0,7	–0,9	–1,3	–1,6	–1,9	–2,6	–3,5	–4,2
Higher uncertainty limit (dB)	+0,6	+0,7	+1,0	+1,3	+1,9	+2,5	+3,8	+6,0	+8,7

EXAMPLE Let the measured RL be 20 dB. The true RL then lies in the band of 18,4 dB to 21,9 dB at frequencies above 100 MHz.

5.4 Near-end crosstalk (NEXT), Test 29c

5.4.1 Object

The object of this test procedure is to measure the magnitude of the electric and magnetic coupling between disturber and disturbed pairs of a mated connector pair.

5.4.2 Connector with male or female contacts for NEXT

Connecting hardware shall be tested in both directions for NEXT loss using at least one connector with male or female contacts. This connector with male or female contacts shall satisfy the requirements of Clause 6.

5.4.3 Test method

NEXT is evaluated by measuring the scattering parameters, S_{21} , of the possible conductor pair combinations at each end of the mated connector, while the other ends of the pairs are terminated.

5.4.4 Test set-up

The test set-up consists of two baluns and a network analyser. An illustration of the set-up, which also shows the termination principles, is shown in Figure 17.

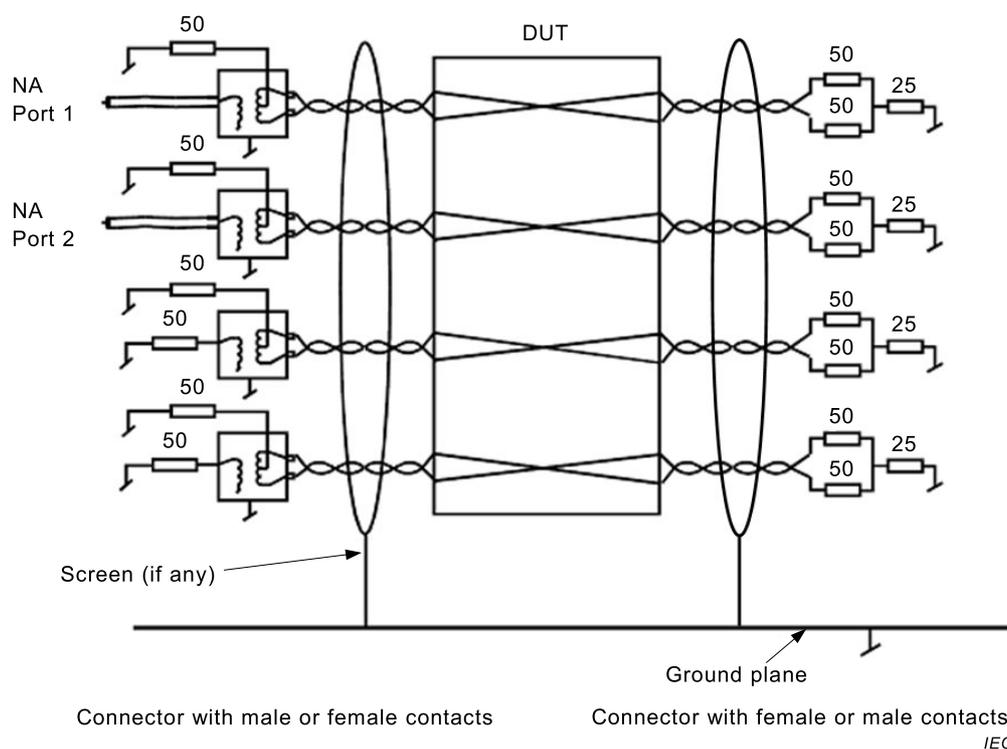


Figure 17 – NEXT measurement

5.4.5 Procedure

5.4.5.1 Calibration

A full 2-port calibration shall be performed at the calibration planes.

5.4.5.2 Establishment of noise floor

The noise floor of the set-up shall be measured. The level of the noise floor is determined by white noise, which may be reduced by increasing the test power and by reducing the bandwidth of the network analyser, and by residual crosstalk between the test baluns. The noise floor shall be measured by terminating the baluns with resistors and performing an S_{21} measurement. 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.

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

5.4.5.3 Measurement

Connect the disturbing pair of the connector under test (DUT) to the signal source and the disturbed pair to the receiver port. The DUT shall be tested with differential and common mode terminations. The measurements have to be performed from both ends of the mated connector. The measurements from the connector with male or female contacts end shall be used in the calculations in 5.4.5.4, for full qualification in the forward and reverse direction. Test all possible pair combinations and record the results.

There are 6 different combinations of NEXT in a 4-pair connector from each side, which gives a total of 12 measurements for each kind of termination method. Because of reciprocity, only 6 unique non-reciprocal combinations from each side need to be tested.

5.4.5.4 Connecting hardware NEXT loss measurement

- a) Measure the magnitude of the NEXT loss vector for the connector with the direct fixture (DFP or DFJ) of the appropriate gender in forward and reverse direction.
- b) Pass-fail qualification is determined by comparing the results to the corresponding connecting hardware requirements plus 6 dB. These higher limits for the components are necessary to ensure the limits for the corresponding connecting hardware considering all worst-case scenarios.

5.4.6 Test report

The results measured 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 measured 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 29d

5.5.1 Object

The object of this test procedure is to measure the magnitude of the electric and magnetic coupling between disturber and disturbed pairs of mated connectors.

5.5.2 Connector with male or female contacts for FEXT

Connecting hardware FEXT loss is determined by measurement of connecting hardware using at least one direct fixture (DFP or DFJ) qualified per Clause 6. Measure connecting hardware FEXT loss with interconnects prepared and controlled per 4.7.

5.5.3 Test method

Far-end crosstalk is evaluated by measuring the scattering parameters, S_{21} , of the possible conductor pair combinations at one end of the mated connector, to the other end.

5.5.4 Test set-up

The test set-up consists of two baluns and a network analyser as defined in Clause 4. An illustration of the set-up, which also shows the termination principles, is shown in Figure 18.

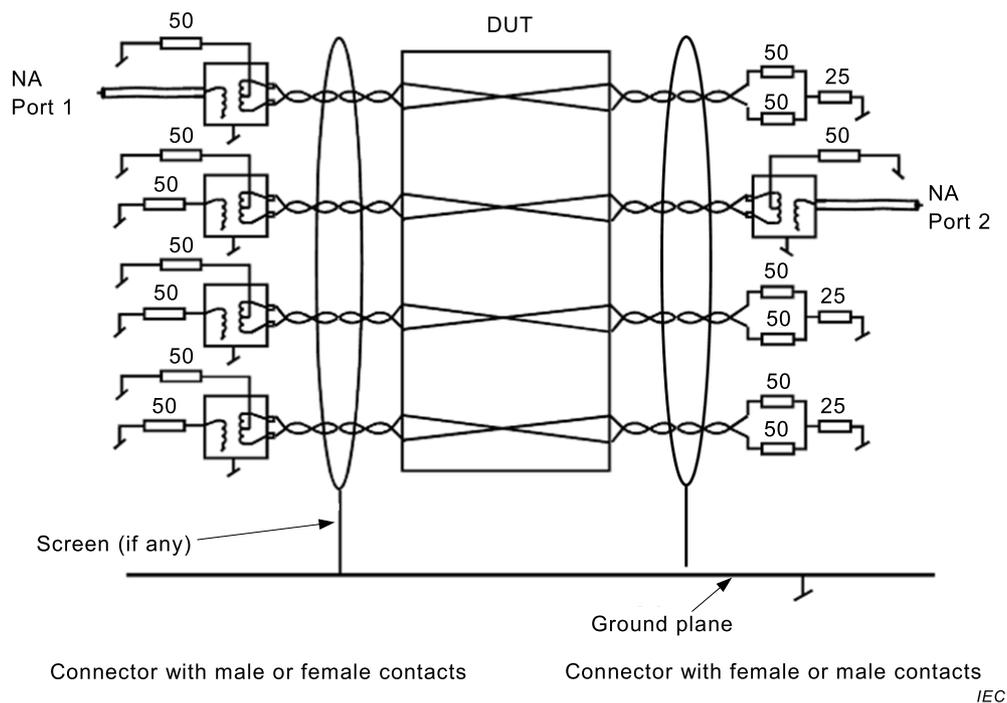


Figure 18 – FEXT measurement for differential and common mode terminations

5.5.5 Procedure

5.5.5.1 Calibration

Calibration is performed as shown in 5.4.5.1.

5.5.5.2 Establishment of noise floor

The noise floor of the set up is established as shown in 5.4.5.2.

5.5.5.3 Measurement

Connect the disturbing pair of the DUT to the signal source and the disturbed pair to the receiver port. Test all possible pair combinations¹ and record the results.

5.5.5.4 Connecting hardware FEXT loss measurement

- Measure the magnitude of the FEXT loss vector for the connector with male or female contacts mated to the direct fixture (DFP or DFJ) in the forward direction (launch signal into the direct fixture).
- Pass-fail qualification is determined by comparing the results to the corresponding connecting hardware requirements plus 6 dB. These higher limits for the components are necessary to ensure the limits for the corresponding connecting hardware considering all worst-case scenarios.

5.5.5.5 Determining pass and fail

The response with the DUT shall meet the requirements of the detail specification for all pair combinations. These higher limits for the components are necessary to ensure the limits for the corresponding connecting hardware considering all worst-case scenarios.

¹ There are 12 different combinations for far-end crosstalk in a 4-pair connector, which gives a total of 12 measurements.

5.5.6 Test report

The measured 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 measured 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 Transfer impedance (ZT), Test 29e

The test methods of 60512-26-100, Test 26e also apply to testing connectors with frequency ranges up to 500 MHz.

5.7 Transverse conversion loss (TCL), Test 29f

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. This is also called unbalance attenuation or Transverse conversion loss, TCL.

5.7.2 Connector with male or female contacts for TCL

Connecting hardware TCL loss is determined by measurement of connecting hardware using a DFJ or DFP qualified per 6.2. Measure connecting hardware TCL loss with interconnects prepared and controlled per 4.7.

5.7.3 Test method

The balance is evaluated by measuring the common-mode part of a differential-mode signal, which is launched in one of the conductor pairs of the DUT.

5.7.4 Test set-up

The test set-up consists of a network analyser and a balun with a differential-and common-mode test port. An illustration of the set-up, which also shows the termination principles, is shown in Figure 19. The DUT pair under test should be connected to the differential mode balun output terminals. All unused near-end pairs should be terminated as shown in Figure 5. All far-end pairs should be terminated as shown in Figure 5. The near-end and far-end terminating resistor networks should be bonded and connected to the measurement ground plane. The DUT should be positioned 50 mm from the ground plane on the near-end. The near-end interconnects connecting the DUT to the balun and terminations should be no longer than 51 mm and they should be oriented orthogonal to each other to minimize coupling.

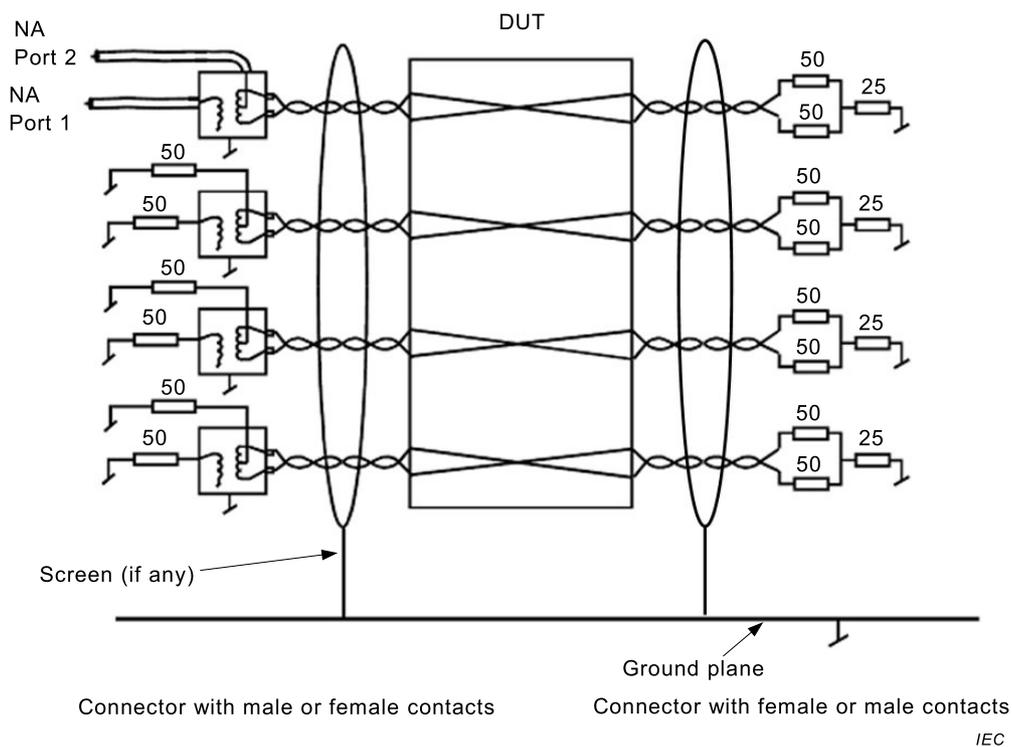


Figure 19 – TCL measurement

5.7.5 Procedure

5.7.5.1 Calibration

TCL calibration is performed in three steps.

STEP 1: The coaxial interconnect attached to the network analyzer are calibrated out by performing short, open, load, and through measurements at the point of termination to the balun. An example of the test lead through connection is shown in Figure 20.

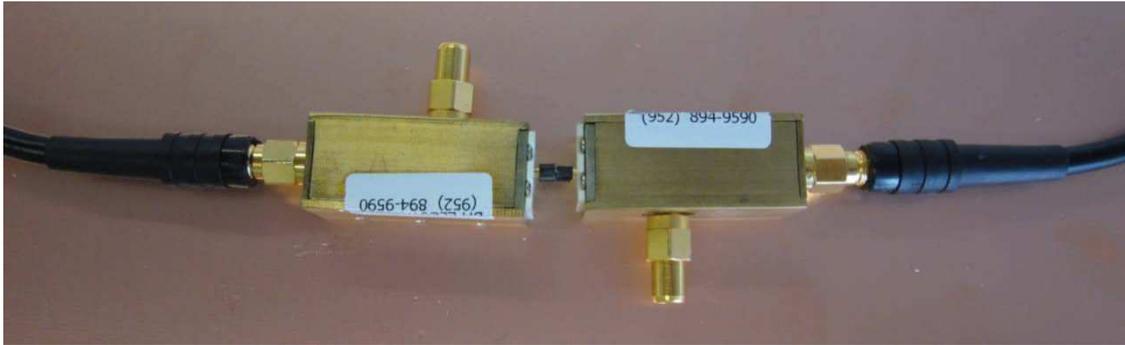


Figure 20 – Coaxial lead attenuation calibration

STEP 2: The attenuation of the differential signals of the test balun is measured by connecting two identical baluns back-to-back with minimal lead length an example of which is shown in Figure 21.

Notice that the baluns are positioned so as to maintain polarity and they are bonded (firmly attached, e.g. clamped) to a ground plane. The measured insertion loss is divided by 2 to approximate the insertion loss of one balun for a differential signal.

The calculated insertion loss is recorded as $IL_{bal,DM}$.



IEC

Figure 21 – Back to back balun insertion loss measurement

STEP 3: The attenuation of the common mode signals of the test balun is measured by connecting the balanced port and ground reference terminals of two baluns together, and the network analyzer ports to the common mode sockets, as shown in Figure 22 and 23.

A short length of bare wire may be used to connect each of the individual balun terminals. It is important to also connect the ground references. The baluns shall be firmly clamped to the ground plane. Also, the outer shield of the coaxial test lead shall be properly bonded to the ground plane as shown in Figure 19. Divide by 2 to obtain the common mode insertion loss of one balun. The resulting insertion loss is recorded as $IL_{bal,CM}$.



IEC

Figure 22 – Configuration for balun common mode insertion loss calibration

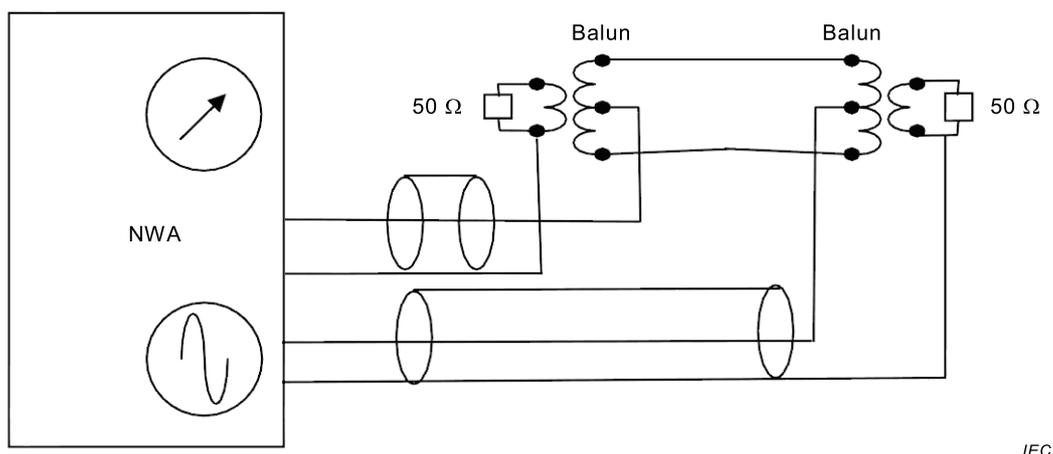


Figure 23 – Schematic for balun common mode insertion loss calibration

Additionally, a correction term for the impedance ratio of the balun transformer converting from 50 Ω on the network analyzer to 100 Ω on the DUT is needed.

5.7.5.2 Noise floor

The noise floor of the set-up shall be measured. The level of the noise floor is determined by white noise, which may be reduced by increasing the test power and by reducing the bandwidth of the network analyser, and by the longitudinal balance (see Table 1) of the test balun. The noise floor, $a_{\text{noise,m}}$ shall be measured by terminating the differential output of the balun with a 100 Ω resistor and perform a S_{21} measurement between the differential-mode and the common-mode test port of the balun. a_{noise} is calculated as:

$$a_{\text{noise,m}} = -20 \log |S_{21}| \quad (2)$$

$$a_{\text{noise}} = a_{\text{noise,m}} - a_{\text{bal,DM}} - a_{\text{bal,CM}} \quad (3)$$

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 10 dB, this shall be reported.

5.7.5.3 Measurement

Connect the measured pair of the DUT to the differential output of the test balun. Terminate the DUT according to 5.7.4. Perform a S_{21} measurement between the differential-mode and the commonmode test port of the balun. The balance, TCL , is calculated as:

$$a_{\text{meas}} = -20 \log |S_{21}| \quad (4)$$

$$TCL = a_{\text{meas}} - a_{\text{bal,DM}} - a_{\text{bal,CM}} \quad (5)$$

5.7.6 Test report

The measured 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 measured results exceed the test limits.

5.7.7 Accuracy

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

5.8 Transverse conversion transfer loss (TCTL), Test 29g

5.8.1 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 transfer loss, TCTL.

5.8.2 Connector with male or female contacts for TCTL

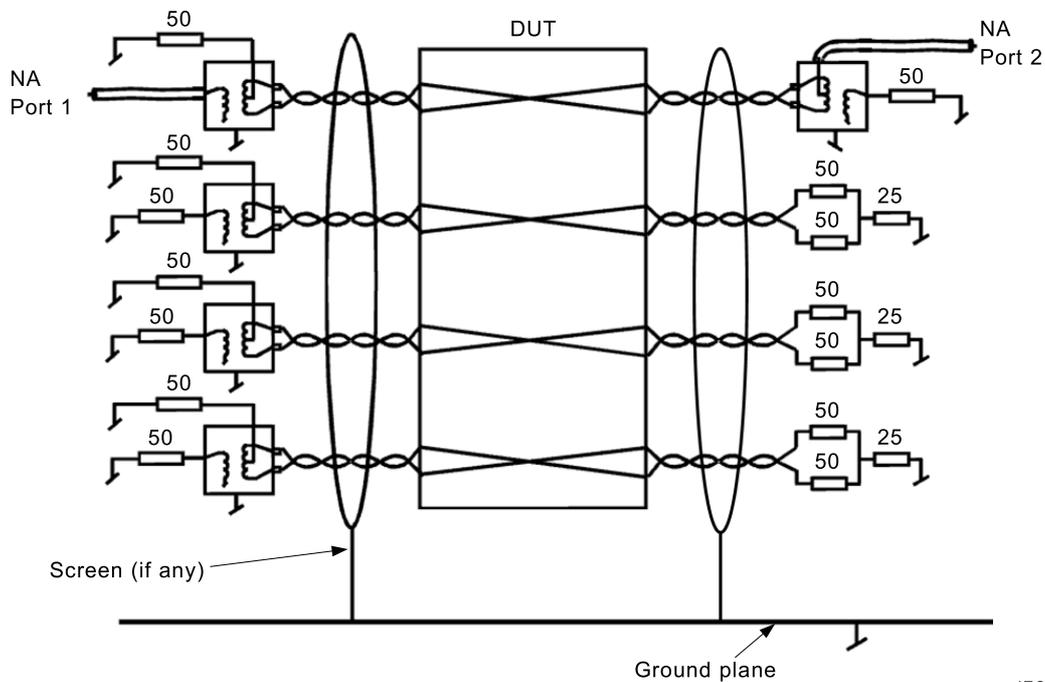
Connecting hardware TCTL loss is determined by measurement of connecting hardware using a TFP qualified per 6.2. Measure connecting hardware TCTL loss with interconnects prepared and controlled per 4.7.

5.8.3 Test method

The balance is evaluated by measuring the common-mode part of a differential-mode signal, which is launched in one of the conductor pairs of the DUT.

5.8.4 Test set-up

The test set-up consists of a network analyser and a balun with a differential-and common-mode test port. An illustration of the set-up, which also shows the termination principles, is shown in Clause 4. All unused pairs on both ends of the connecting hardware shall be terminated with 50Ω common and 100Ω differential resistor terminations as shown in Figure 24. There shall be a common ground at each end. The grounds of the two ends of the connecting hardware under test shall be connected securely to the same ground plane.



IEC

Figure 24 – TCTL measurement

5.8.5 Procedure

5.8.5.1 Calibration

The calibration of the test hardware for TCTL measurements shall follow the procedure outlined in 5.7.5.1 for both baluns being used in the measurement and both the common and differential mode calibration values should be recorded for both baluns, a total of four calibration values. The calibration values should be recorded as

$a_{\text{bal,DM.1}}$, $a_{\text{bal DM.2}}$, $a_{\text{bal CM.1}}$, and $a_{\text{bal CM.2}}$

5.8.5.2 Noise floor

The same requirements as described in 5.7.5.2 for TCL measurements apply.

5.8.5.3 Measurement

Connect the measured pair of the DUT to the differential output of the test balun. Terminate the DUT according to 5.8.4. Perform a S_{21} measurement between the differential-mode and the common-mode test port of the balun. The balance, $TCTL$, is calculated as

$$a_{\text{meas}} = -20 \log S_{21} \quad (6)$$

$$TCTL = a_{\text{meas}} - a_{\text{bal,DM}} - a_{\text{bal,CM}} \quad (7)$$

5.8.6 Test report

The measured 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 measured results exceed the test limits.

5.8.7 Accuracy

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

5.9 Coupling attenuation

Coupling attenuation measurements, when required by the detail specification, apply only to shielded connectors.

Coupling attenuation shall be performed according to ISO/IEC 11801 Am2 for limiting values and test methods, over the frequency range of 100 MHz to 500 MHz.

6 Construction and qualification of direct fixtures (DFP and DFJ)

6.1 General

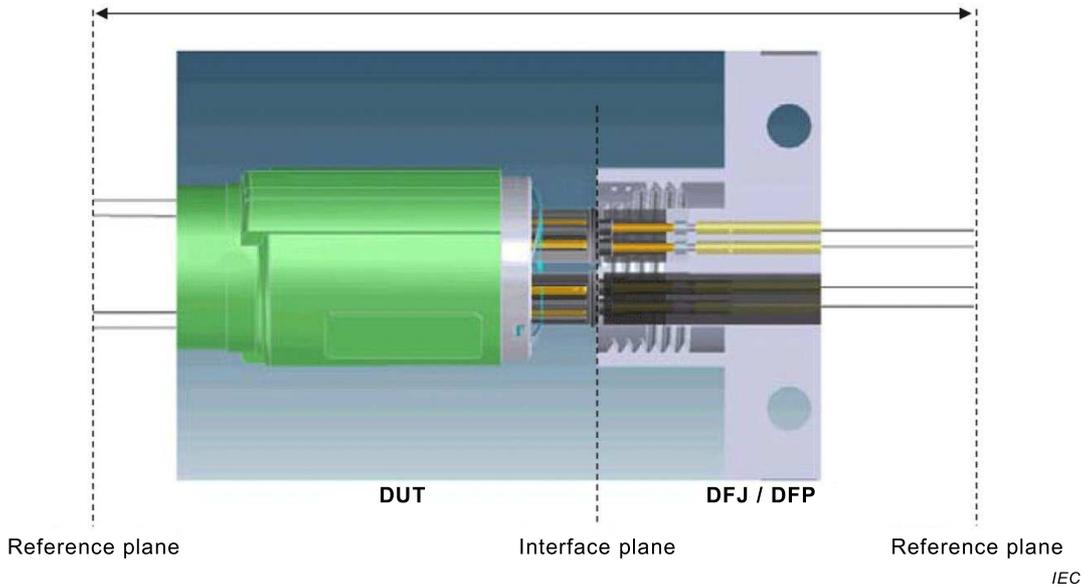
For the qualification of M12-Connectors it is necessary to use suitable direct fixtures.

This clause describes the construction, qualification, and requirements of direct fixtures for verifying connecting hardware performance.

For the purposes of this Standard, a direct fixture consists of an assembly that meets the dimensional requirements of a M12-connector with male or female contacts.

Direct fixtures shall be qualified for all requirements of 5.4 (NEXT loss), 5.5 (FEXT loss), 5.2 (Insertion loss) and 5.3 (return loss).

The reference planes should be as close as possible to the interface plane as shown in Figure 25.



NOTE Shown with a mating interface according to IEC 61076-2-109 and only with two pairs.

Figure 25 – Reference planes

6.2 Direct fixtures for DUT testing

6.2.1 Requirements for direct fixture up to 100 MHz

A direct fixture up to 100 MHz is used during DUT NEXT and FEXT measurements and may also be used for DUT return loss measurements. The performance of the direct fixture is according Table 6. See Annex A for an example and source of a direct fixture. This fixture shall conform to the dimensional requirements of IEC 61076-2-101 and to the transmission requirements of Clause 5. Figure 26 and Figure 27 show an example for the connector according to IEC 61076-2-101, M12, d-code. The respective direct fixture (DFJ or DFP) is compatible with connectors with male contacts or female contacts as defined by IEC 61076-2-101. Test fixtures described in Annex A are designed to provide suitable interface and termination.

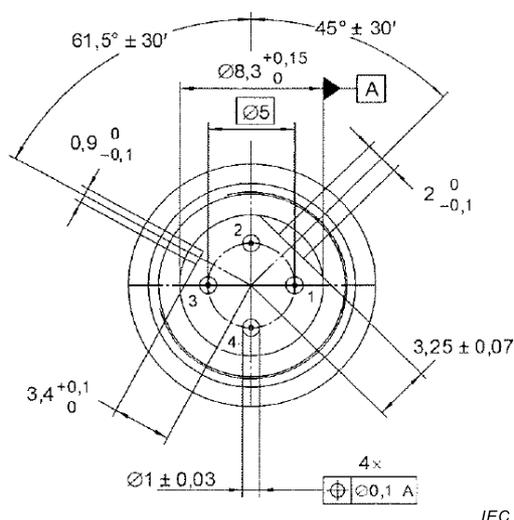


Figure 26 – Direct fixture M12, d-code mating face

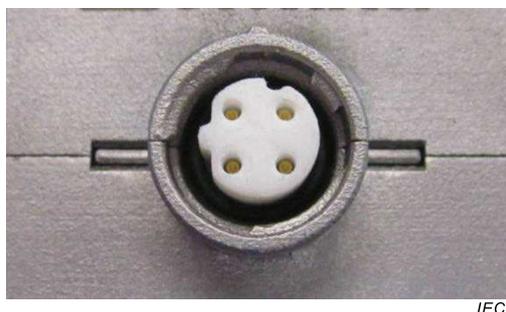


Figure 27 – Direct fixture M12, d-code

Table 6 – Direct fixture M12, performance up to 100 MHz

Direct fixture M12, d-code performance parameter	Value dB
Pair-to-pair residual NEXT loss	$> 103 - 20 \log(f)$, 75 dB max
Pair-to-pair residual FEXT loss	$> 95,1 - 20 \log(f)$, 75 dB max
Return loss	$> 66 - 20 \log(f)$, 40 dB max
Insertion loss	$0,04\sqrt{f}$, 0,1 dB max

6.2.2 Requirements for direct fixture up to 500 MHz

A direct fixture up to 500 MHz is used during DUT NEXT and FEXT measurements and may also be used for DUT return loss measurements. The performance of the direct fixture is according to Table 7. See Annex A for an example and source of a direct fixture. This fixture shall conform to the dimensional requirements of IEC 61076-2-109 and to the transmission requirements of Clause 5. Figure 28 and Figure 29 show an example for the connector according to IEC 61076-2-109, M12, x-code. The respective direct fixture (DFJ or DFP) is compatible with connectors with male contacts or female contacts as defined by IEC 61076-2-109. Test fixtures described in Annex A are designed to provide suitable interface and termination.

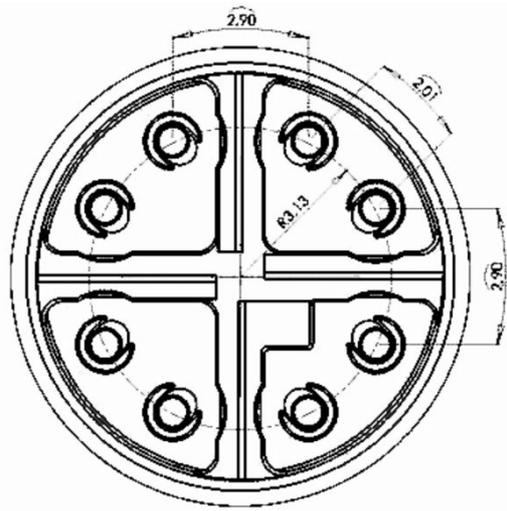


Figure 28 – Direct fixture M12, x-code mating face

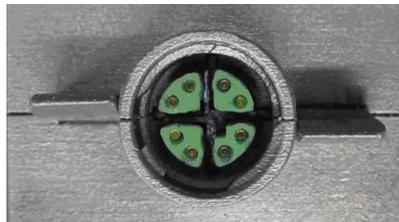


Figure 29 – Direct fixture M12, x-code

Table 7 – Direct fixture M12, performance up to 500 MHz

Direct fixture M12, x-code performance parameter	Value dB
Pair-to-pair residual NEXT loss	$> 109 - 20\log(f)$, 75 dB max
Pair-to-pair residual FEXT loss	$> 103,1 - 20\log(f)$, 75 dB max
Return loss	$> 74 - 20\log(f)$, 40 dB max
Insertion loss	$0,02\sqrt{f}$, 0,1 dB max

Annex A (normative)

Impedance controlled measurement fixture

A.1 General

An impedance controlled measurement fixture consists of a device designed to provide controlled interconnections to the DUT. The fixture provides an interface that is designed to maintain correct DM and CM impedance of the pairs in the transmission line when they are separated for interfacing between the DUT and the port interfaces of test equipment. The port interfaces of test equipment, which are typically $50\ \Omega$, coaxial ports are further conditioned by the use of balun transformers presenting a $100\ \Omega$ balanced port to the DUT. The interface, in addition to providing impedance control of the balanced leads of the DUT, also provides shielding for the pairs to reduce unwanted pair-to-pair couplings. The interface is electrically connected to the balun and instrument ground reference through pin and socket connectors. An example fixture, as shown in Figure A.1 and A.2, provides pin and socket connections to the DUT. Termination adapters which provide DMCM resistor terminations for the inactive ports are provided for making NEXT loss and FEXT loss measurements where the highest accuracy is required.

NOTE Photos are for illustrative purposes only and do not constitute an endorsement by IEC.

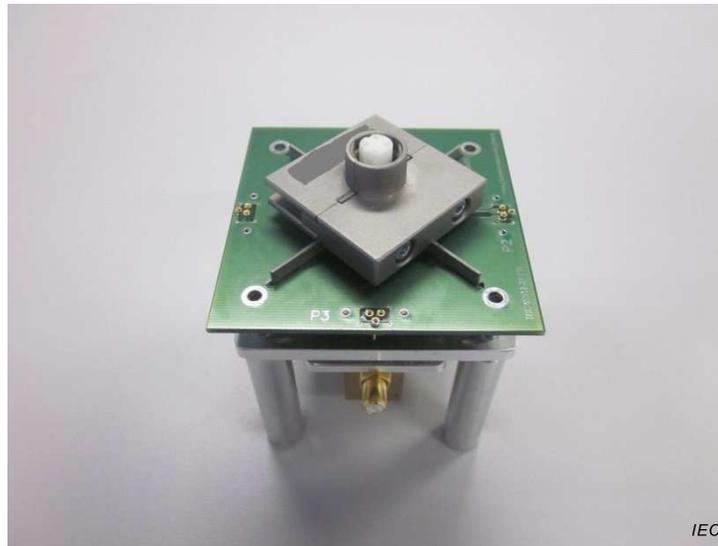


Figure A.1 – Test head assembly M12, d-code with baluns attached

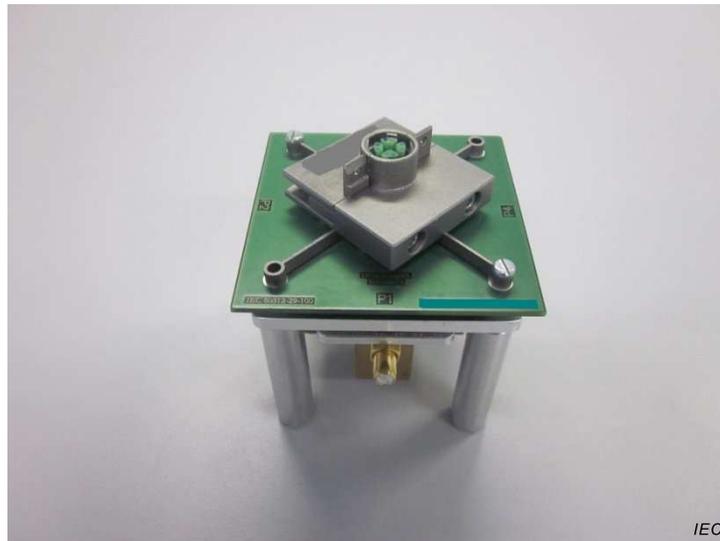


Figure A.2 – Test head assembly M12, x-code with baluns attached

Calibration standards are provided which use the same materials and positioning. The calibration plane is thereby located at the top (open end) of the sockets of the adapter mounting plate. A mounting plate with socket interfaces connects directly to the test baluns. Two such fixtures will provide 8 test ports for connection to both near and far ends of a four pair DUT.

The balun interfaces are designed to mate to BH electronics 040-0192 baluns.

Alternative equivalent components may also be used.

Future developments of test fixtures are expected. Such fixtures may be used in place of or in addition to those specified and recommended in this Standard, if they meet the relevant requirements specified in this Standard.

A.2 Load

The load is needed to evaluate the direct fixture M12. The Figure A.3 shows the evaluation of the direct fixture M12.

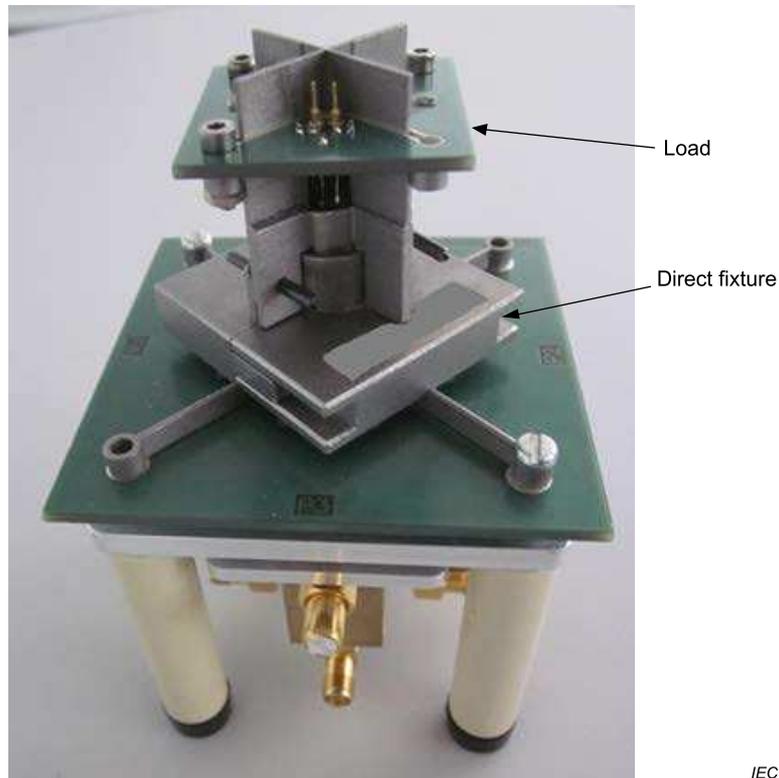


Figure A.3 – Test head assembly M12 mated with the load M12

In the connected state, the requirements from the direct fixture are observed from Table 6 for M12, d-code and Table 7 for M12, x-code. The requirements from the loads are measured in the reverse direction. Figure A.4, A.5 and A.6 show the test setup for evaluating the loads.

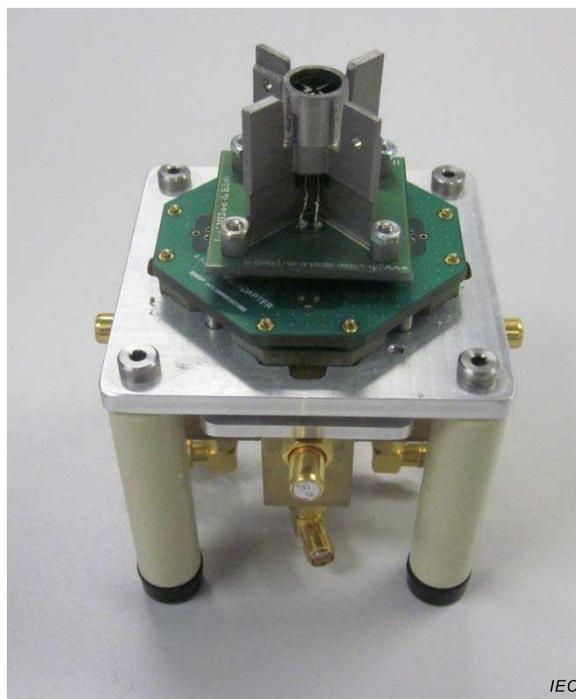


Figure A.4 – Balun test fixture with the load M12



Figure A.5 – Load M12, x-code

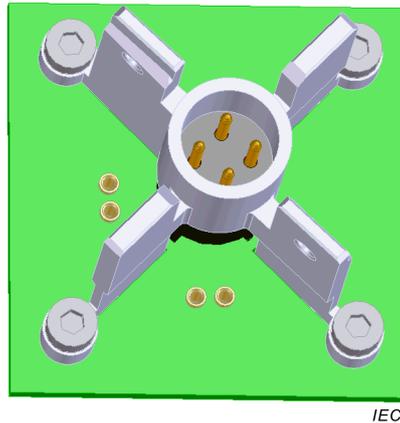


Figure A.6 – Load M12, d-code

Table A.1 and Table A.2 are the requirements from the loads when measured in the reverse direction.

Table A.1 – Load M12, performance up to 500 MHz

Load M12, up to 500 MHz performance parameter	Value dB
Pair-to-pair residual NEXT loss	$> 104 - 20 \log(f)$,75 dB max
Return loss	$> 71 - 20 \log(f)$,40 dB max

Table A.2 – Load M12, performance up to 100 MHz

Load M12, up to 100 MHz performance parameter	Value dB
Pair-to-pair residual NEXT loss	$103 - 20 \log(f)$,75 dB max
Return loss	$> 63 - 20 \log(f)$,40 dB max

A.3 Additional components for connection to a network analyzer

SMA cables, connectors, 50Ω SMA terminations, are necessary for interfacing the coaxial ports of the baluns to network analyzer ports as shown in Figures A.7 and A.8. Mounting

brackets are recommended for holding the test interface assemblies at convenient positions for attachment to connectors under test. Foil tape with conductive adhesive 3M 5012C or equivalent may be used for where additional shielding is needed for various components. Alternative equivalent components may also be used. This information does not constitute an endorsement by IEC.

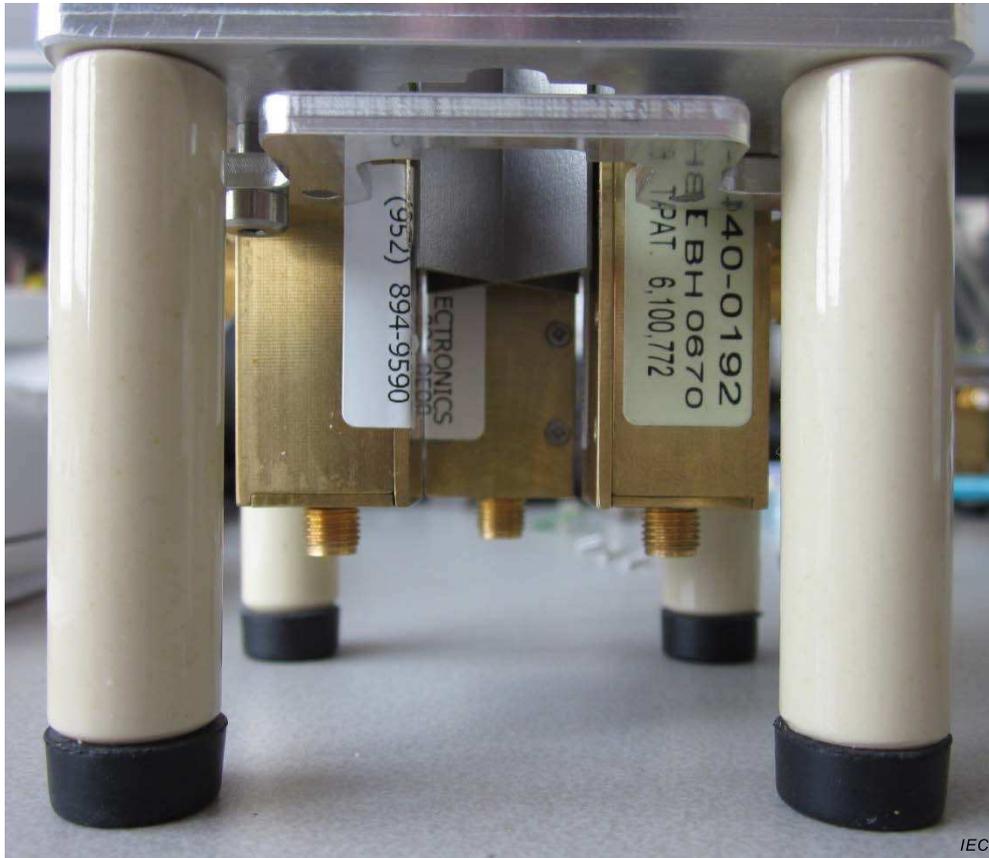


Figure A.7 – Test head showing shielding between baluns

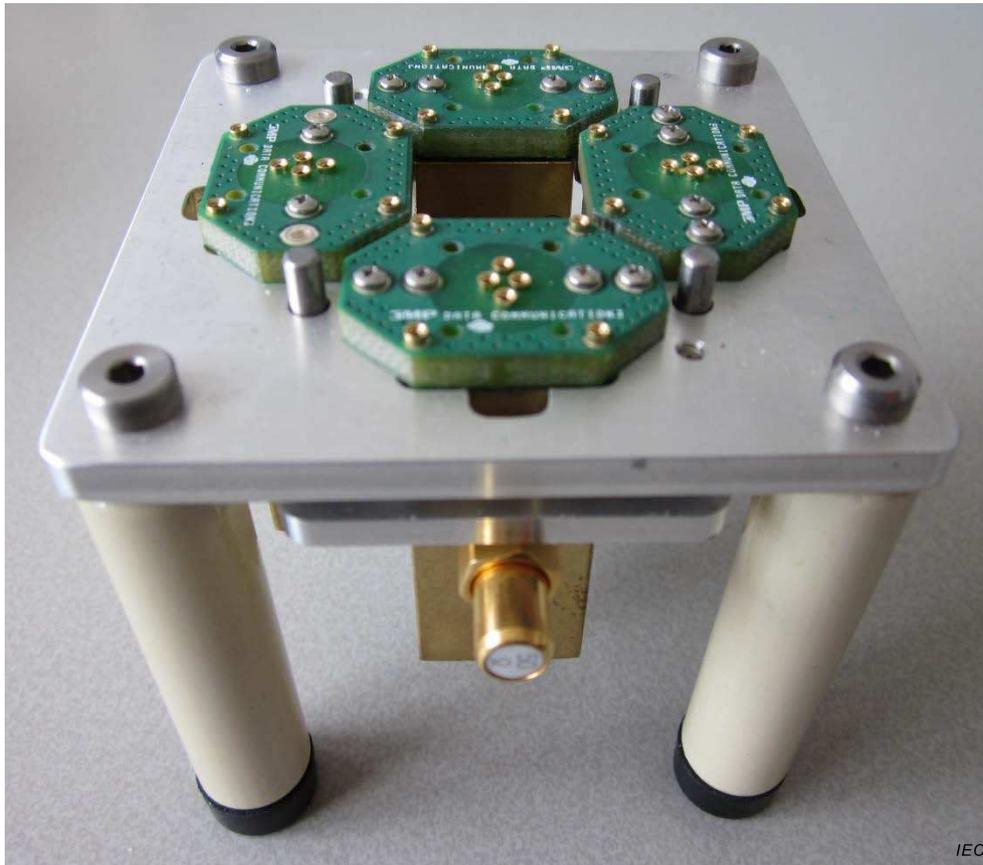
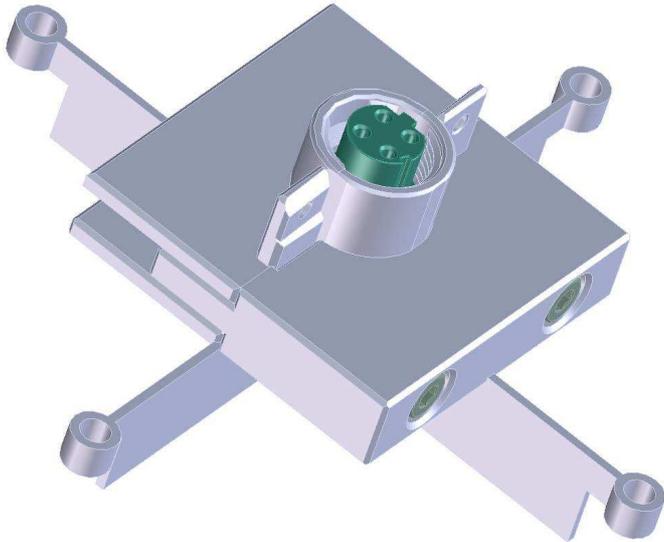


Figure A.8 – Balun test fixture assembly

A.4 Direct fixture

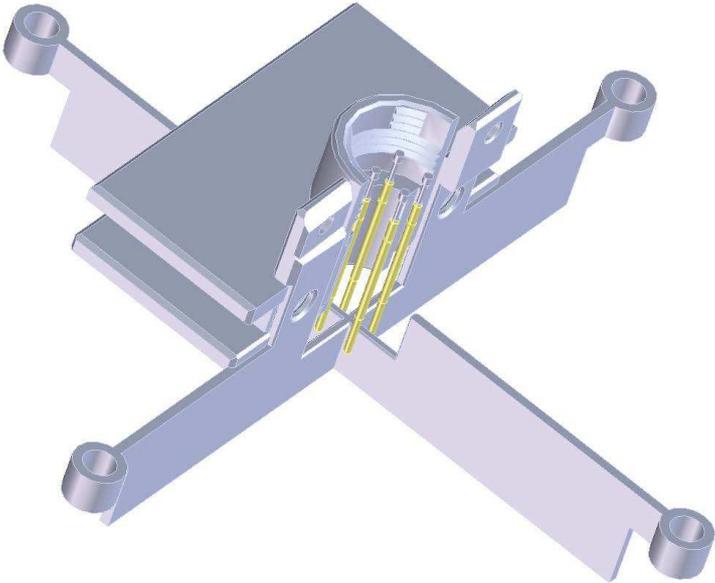
A fixture for direct measurement of DUT properties has shielded probes that make contact with the connector with male (DFP) or female (DFJ) contacts. A construction for a DFJ is shown in Figures A.9 to A.13

The fixture has levels of crosstalk and return loss compliant with Table 6. Insertion loss, NEXT loss, FEXT loss, return loss and TCL/TCTL measurements can be made using this fixture.



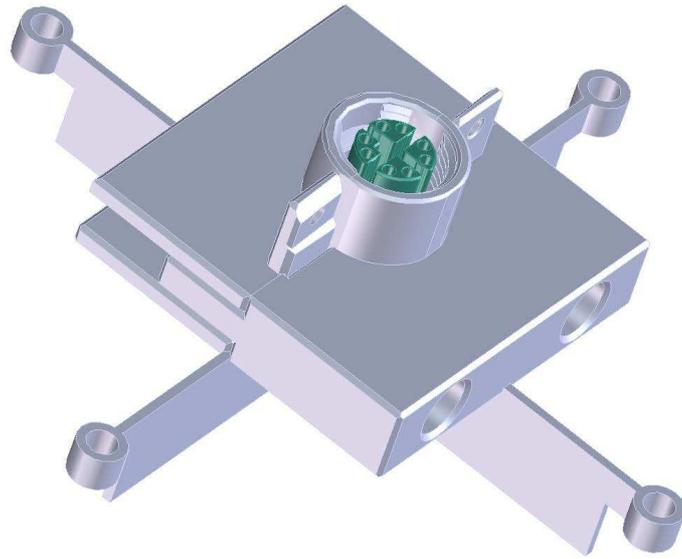
IEC

Figure A.9 – Direct fixture M12, d-code (DFJ) for DUT with male contacts



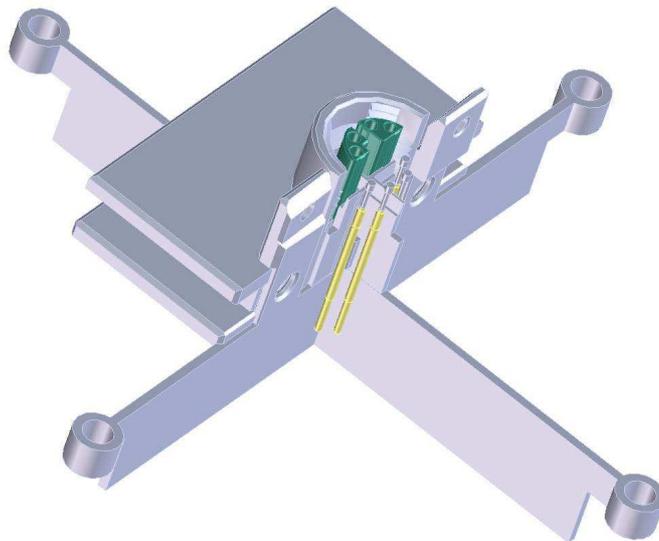
IEC

Figure A.10 – Direct fixture M12, d-code (DFJ) for DUT with male contacts



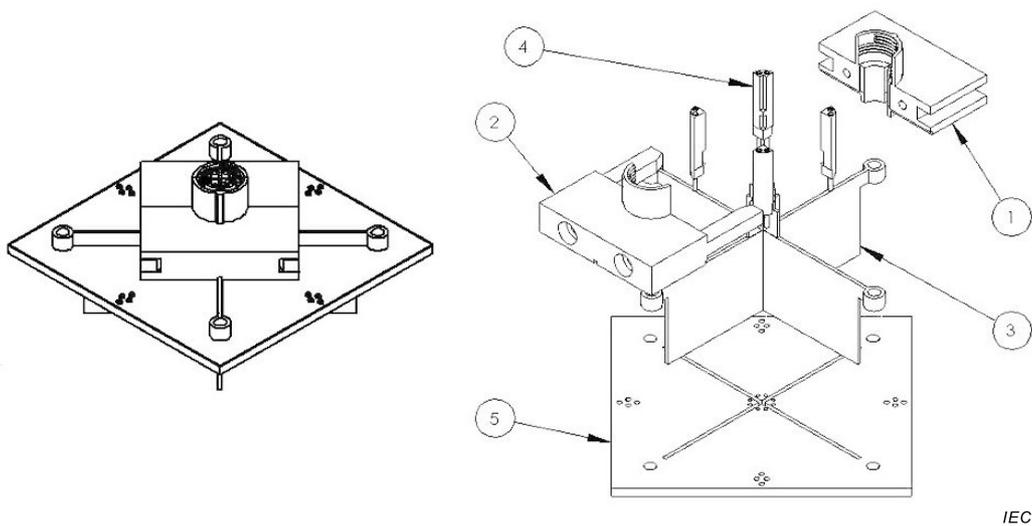
IEC

Figure A.11 – Direct fixture M12, x-code (DFJ) for DUT with male contacts



IEC

Figure A.12 – Direct fixture M12, x-code (DFJ) for DUT with male contacts – Cross-cut

**Key**

- 1) Half-shell from metal
- 2) Half-shell from metal
- 3) Shielding cross
- 4) Contact needles
- 5) PCB direct fixture

Figure A.13 – Exploded assembly of the direct fixture (DFJ)

A.5 Connecting hardware measurement 1 configuration

Figure A.14 shows an example of a connecting hardware measurement configuration.

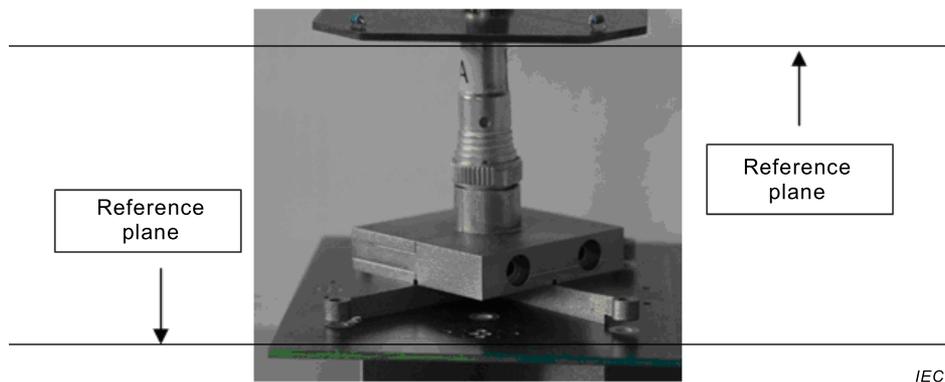


Figure A.14 – Example of a connecting hardware measurement configuration

A.6 DUT connections using header PCB assemblies

One method to minimize the effects of interconnecting leads is to use dedicated PCB header assemblies to connect between the DUT and the test equipment. These PCB headers contain connections to interface to the test port and also connections to interface to the DUT terminals or IDC slots.

NOTE For reference sources, see Annex B.

Annex B (informative)

Reference source

B.1 Test fixture components

All test fixture components referenced in Annex A including the direct fixture DFJ or DFP may be obtained from: Phoenix Contact GmbH Co.KG, Flachsmarktstrasse 8, D-32825 Blomberg, Germany, www.phoenixcontact.com. These test fixtures are provided in kit form including adapter plates, balun mounting plates, baluns and calibration references.

NOTE Reference sources are for illustrative purposes only and do not constitute an endorsement by IEC.

Annex C (informative)

Related connectors

The test methods described in this standard apply especially to the connectors according to Table C.1.

Table C.1 – Related connectors

Connector standard	Poles	Coding	Max. frequency MHz
IEC 61076-2-101	4	D	100
IEC 61076-2-109	8	X	500
IEC PAS 61076-2-110	8	H	500

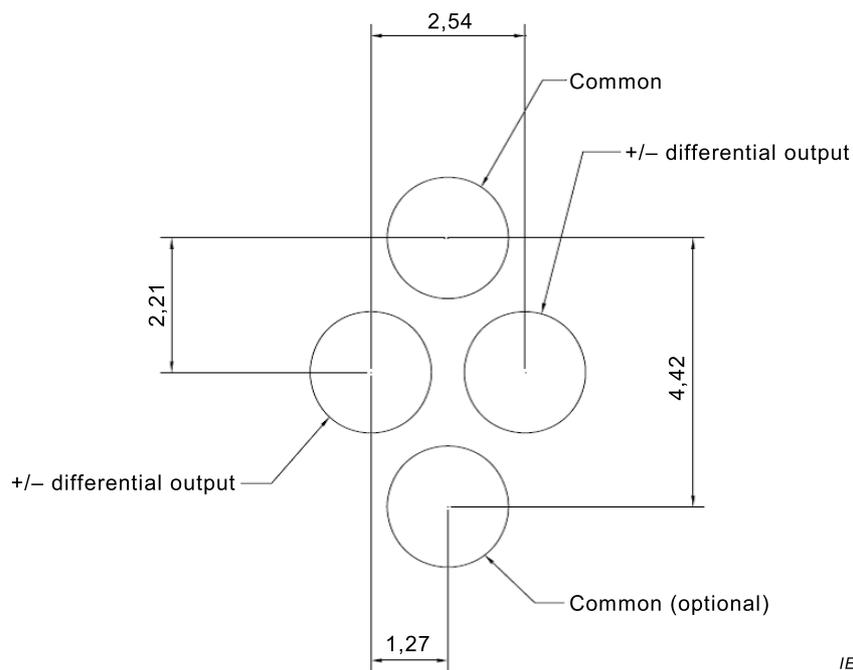
Annex D (informative)

Interface to test fixtures

For ease of interfacing to test fixtures, a pin and socket interface with dimensions as shown in Figure D.1 and Figure D.2 is recommended. Gold plated sockets are recommended.

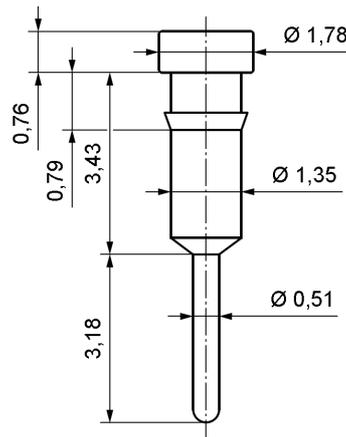
NOTE Mill-Max part number 1001-0-15-15-30-27-04-0 as shown in Figure D.2. Alternative equivalent components may also be used. This information does not constitute an endorsement by IEC.

Dimensions in mm



IEC

Figure D.1 – Test balun interface pattern

Dimensions in mm

IEC

Figure D.2 – Example pin and socket dimension

Example socket description:

Mill-Max 1001-0-15-15-30-27-04-0

Material: Brass alloy

Contact: 30 = Standard 4 finger contact

Contact material: Beryllium copper

Shell plating: 0,254 μm (10 μin) gold over nickel

Contact plating: 0,762 μm (30 μin) gold over nickel

Press-in 1,45 mm (0,057 in) mounting hole

Bibliography

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

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

IEC PAS 61076-2-110, *Connectors for electronic equipment – Product requirements – Part 2-110: Circular connectors – Detail specification for circular connectors M12 x 1 with screw-locking, for high speed Ethernet and high speed data communication with frequencies up to 500 MHz and 10 gigabits/s*

IEC 61156 (all parts), *Multicore and symmetrical pair/quad cables for digital communications*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	58
1 Domaine d'application et objet.....	60
2 Références normatives.....	60
3 Termes, définitions et abréviations.....	61
3.1 Termes et définitions.....	61
3.2 Abréviations.....	62
4 Montage d'essai général.....	62
4.1 Instrumentation d'essai.....	62
4.2 Câbles coaxiaux et interconnexion pour analyseurs de réseau.....	63
4.3 Précautions de mesure.....	63
4.4 Composants de référence pour l'étalonnage.....	66
4.4.1 Charges de référence pour l'étalonnage.....	66
4.5 Charges de sortie pour la terminaison des paires de conducteurs.....	67
4.5.1 Mode différentiel.....	67
4.5.2 Sorties de symétriseurs.....	68
4.5.3 Types de sorties.....	68
4.6 Sortie des écrans.....	68
4.7 Spécimen d'essai et plans de référence.....	68
4.7.1 Généralités.....	68
4.7.2 Interconnexions entre le dispositif en essai (DUT) et le plan d'étalonnage.....	69
4.8 Sortie du symétriseur.....	70
4.8.1 Exigences générales.....	70
4.8.2 Prise centrale connectée à la terre.....	70
4.8.3 Prise centrale ouverte.....	71
4.9 Séquence d'étalonnage et de mesure.....	71
5 Mesure des connecteurs jusqu'à 100 MHz et 500 MHz.....	75
5.1 Généralités.....	75
5.2 Perte d'insertion, Essai 29a.....	76
5.2.1 Objet.....	76
5.2.2 Connecteur avec contacts mâles ou femelles pour perte d'insertion.....	76
5.2.3 Méthode d'essai.....	76
5.2.4 Montage d'essai.....	76
5.2.5 Procédure.....	76
5.2.6 Rapport d'essai.....	77
5.2.7 Précision.....	77
5.3 Affaiblissement de réflexion, Essai 29b.....	77
5.3.1 Objet.....	77
5.3.2 Connecteur avec contacts mâles ou femelles pour affaiblissement de réflexion.....	77
5.3.3 Méthode d'essai.....	77
5.3.4 Montage d'essai.....	78
5.3.5 Procédure.....	78
5.3.6 Rapport d'essai.....	78
5.3.7 Précision.....	79
5.4 Paradiaphonie (NEXT), Essai 29c.....	79

5.4.1	Objet	79
5.4.2	Connecteur avec contacts mâles ou femelles pour paradiaphonie.....	79
5.4.3	Méthode d'essai	79
5.4.4	Montage d'essai	80
5.4.5	Procédure.....	80
5.4.6	Rapport d'essai	81
5.4.7	Précision	81
5.5	Télédiaphonie (FEXT), Essai 29d.....	81
5.5.1	Objet	81
5.5.2	Connecteur avec contacts mâles ou femelles pour télédiaphonie.....	81
5.5.3	Méthode d'essai	81
5.5.4	Montage d'essai	81
5.5.5	Procédure.....	82
5.5.6	Rapport d'essai	83
5.5.7	Précision	83
5.6	Impédance de transfert (ZT), Essai 29e	83
5.7	Perte de conversion transverse (TCL), Essai 29f	83
5.7.1	Objet	83
5.7.2	Connecteur avec contacts mâles ou femelles pour perte de conversion transverse	83
5.7.3	Méthode d'essai	83
5.7.4	Montage d'essai	83
5.7.5	Procédure.....	84
5.7.6	Rapport d'essai	87
5.7.7	Précision	87
5.8	Perte de transfert de conversion transverse (TCTL), Essai 29g.....	87
5.8.1	Objet	87
5.8.2	Connecteur avec contacts mâles ou femelles pour perte de transfert de conversion transverse.....	87
5.8.3	Méthode d'essai	88
5.8.4	Montage d'essai	88
5.8.5	Procédure.....	88
5.8.6	Rapport d'essai	89
5.8.7	Précision	89
5.9	Affaiblissement de couplage	89
6	Construction et qualification des fixations directes (DFP et DFJ)	89
6.1	Généralités	89
6.2	Fixations directes pour dispositifs en essai	90
6.2.1	Exigences relatives aux fixations directes jusqu'à 100 MHz	90
6.2.2	Exigences relatives aux fixations directes jusqu'à 500 MHz	91
Annexe A (normative)	Dispositif de mesure à contrôle d'impédance.....	93
A.1	Généralités	93
A.2	Charge.....	94
A.3	Composants supplémentaires pour la connexion à un analyseur de réseau	97
A.4	Fixation directe	98
A.5	Configuration de mesure 1 du matériel de connexion	101
A.6	Connexions de dispositif en essai utilisant des ensembles de cartes imprimées à embase	101
Annexe B (informative)	Source de référence	102

B.1 Composants du dispositif d'essai	102
Annexe C (informative) Connecteurs apparentés	103
Annexe D (informative) Interface avec les dispositifs d'essai	104
Bibliographie.....	106
Figure 1 – Stratégies de mesure	63
Figure 2 – Hybride à 180° utilisé à la place d'un symétriseur	64
Figure 3 – Configurations de mesure pour la qualification de symétriseurs d'essai.....	66
Figure 4 – Etalonnage des charges de référence	67
Figure 5 – Réseaux de charges résistives.....	67
Figure 6 – Définition des plans de référence	68
Figure 7 – Atténuateur symétrique pour prise centrale de symétriseur à la terre	70
Figure 8 – Atténuateur symétrique pour prise centrale de symétriseur ouverte.....	71
Figure 9 – Etalonnage en circuit ouvert.....	71
Figure 10 – Etalonnage en court-circuit.....	72
Figure 11 – Etalonnage en charge	72
Figure 12 – Etalonnage direct.....	73
Figure 13 – Mesure d'affaiblissement de réflexion et de paradiaphonie sur le dispositif en essai.....	74
Figure 14 – Mesure de perte d'insertion et de télédiaphonie sur le dispositif en essai	75
Figure 15 – Montage de mesure	77
Figure 16 – Mesure de l'affaiblissement de réflexion.....	78
Figure 17 – Mesure de la paradiaphonie	80
Figure 18 – Mesure de la télédiaphonie pour les sorties de mode différentiel et de mode commun	82
Figure 19 – Mesure de la perte de conversion transverse	84
Figure 20 – Etalonnage de l'affaiblissement des fils coaxiaux	84
Figure 21 – Mesure de la perte d'insertion de symétriseurs placés dos à dos	85
Figure 22 – Configuration pour l'étalonnage de la perte d'insertion en mode commun d'un symétriseur	86
Figure 23 – Schéma pour l'étalonnage de la perte d'insertion en mode commun d'un symétriseur.....	86
Figure 24 – Mesure de la perte de transfert de conversion transverse, TCTL.....	88
Figure 25 – Plans de référence	90
Figure 26 – Connecteur M12 à fixation directe, face d'accouplement code d.....	90
Figure 27 – Connecteur M12 à fixation directe, code d.....	91
Figure 28 – Connecteur M12 à fixation directe, face d'accouplement code x	91
Figure 29 – Connecteur M12 à fixation directe, code x.....	92
Figure A.1 – Assemblage de têtes d'essai, M12, code d, avec symétriseurs montés	93
Figure A.2 – Assemblage de têtes d'essai, M12, code x, avec symétriseurs montés	94
Figure A.3 – Assemblage de têtes d'essai, connecteur M12 accouplé à la charge M12	95
Figure A.4 – Dispositif d'essai de symétriseur avec la charge M12.....	95
Figure A.5 – Charge M12, code x.....	96
Figure A.6 – Charge M12, code d	96

Figure A.7 – Tête d'essai représentant un blindage entre des symétriseurs	97
Figure A.8 – Assemblage de dispositif d'essai de symétriseur	98
Figure A.9 – Connecteur M12 à fixation directe, code d, (DFJ) pour dispositif en essai avec contacts mâles	99
Figure A.10 – Connecteur M12 à fixation directe, code d, (DFJ) pour dispositif en essai avec contacts mâles	99
Figure A.11 – Connecteur M12 à fixation directe, code x, (DFJ) pour dispositif en essai avec contacts mâles	100
Figure A.12 – Connecteur M12 à fixation directe, code x, (DFJ) pour dispositif en essai avec contacts mâles – Vue en coupe	100
Figure A.13 – Vue éclatée de la fixation directe (DFJ).....	101
Figure A.14 – Exemple de configuration de mesure pour un matériel de connexion	101
Figure D.1 – Configuration d'une interface de symétriseur d'essai	104
Figure D.2 – Exemple de dimensions de broche et de support	105
Tableau 1 – Caractéristiques des performances des symétriseurs d'essai jusqu'à 500 MHz ⁶⁴	
Tableau 2 – Caractéristiques des performances des symétriseurs d'essai jusqu'à 100 MHz	65
Tableau 3 – Affaiblissement de réflexion d'une interconnexion	70
Tableau 4 – Bande d'incertitude de mesure de l'affaiblissement de réflexion à des fréquences inférieures à 100 MHz.....	79
Tableau 5 – Bande d'incertitude de mesure de l'affaiblissement de réflexion à des fréquences supérieures à 100 MHz.....	79
Tableau 6 – Connecteur M12 à fixation directe, performances jusqu'à 100 MHz	91
Tableau 7 – Connecteur M12 à fixation directe, performances jusqu'à 500 MHz	92
Tableau A.1 – Charge M12, performances jusqu'à 500 MHz	96
Tableau A.2 – Charge M12, performances jusqu'à 100 MHz	96
Tableau C.1 – Connecteurs apparentés	103

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale IEC 60512-29-100 a été établie par le sous-comité 48B: Connecteurs, du comité d'études 48 de l'IEC: Composants électromécaniques et structures mécaniques pour équipements électroniques.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
48B/2410/FDIS	48B/2424/RVD

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de la présente norme.

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

Une liste de toutes les parties de la série IEC 60512, publiées sous le titre général *Connecteurs pour équipements électroniques – Essais et mesures*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

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

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

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

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

1 Domaine d'application et objet

La présente partie de l'IEC 60512 spécifie les méthodes d'essais pour les performances des transmissions pour les connecteurs de type M12 jusqu'à 500 MHz. Elle est également applicable aux essais réalisés sur des connecteurs à fréquences plus basses s'ils satisfont aux exigences des spécifications particulières et de la présente norme.

NOTE 1 Toutes les figures représentent des équipements pour des connecteurs conformes à l'IEC 61076-2-109 à titre d'exemple.

Les méthodes d'essai spécifiées ici sont:

- perte d'insertion, essai 29a;
- affaiblissement de réflexion, essai 29b;
- paradiaphonie (NEXT), essai 29c;
- télédiaphonie (FEXT), essai 29d;
- perte de conversion transverse (TCL), essai 29f;
- perte de transfert de conversion transverse (TCTL), essai 29g.

Pour l'essai d'impédance de transfert (ZT), voir l'IEC 60512-26-100, essai 26e.

Pour l'affaiblissement de couplage, voir l'ISO/IEC 11801.

Toutes les méthodes s'appliquent pour des connecteurs de deux et de quatre paires.

NOTE 2 Toutes les figures représentent des principes pour des câblages de quatre paires. Elles s'appliquent également aux câblages de deux paires.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

IEC 60050 (toutes les parties), *Vocabulaire Electrotechnique International* (disponible à <<http://www.electropedia.org>>)

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

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 l'IEC 60603-7 – Essais 26a à 26g*

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

IEC 61076-2-101, *Connecteurs pour équipements électroniques – Exigences de produits – Partie 2: Connecteurs circulaires – Spécification particulière pour les connecteurs M12 à vis*

IEC 61076-2-109, *Connecteurs pour équipements électroniques – Exigences de produit – Partie 2-109: Connecteurs circulaires – Spécification particulière relative aux connecteurs avec verrouillage à vis M 12 x 1, pour les transmissions de données à des fréquences jusqu'à 500 MHz*

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

ISO/IEC 11801, *Technologies de l'information – Câblage générique des locaux d'utilisateurs*

EN 50289-1-14, *Câbles de communication – Spécifications des méthodes d'essais – Partie 1-14: Méthodes d'essais électriques – Affaiblissement de couplage ou affaiblissement de blindage du matériel de connexion*

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

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

3 Termes, définitions et abréviations

3.1 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions de l'IEC 60050-581, de l'IEC 61076-1, de l'IEC 60512-1, ainsi que les suivants s'appliquent.

3.1.1

jack d'essai de référence

RTJ

connecteur doté de contacts femelles construit de telle sorte qu'il constitue un artefact d'essai

Note 1 à l'article: L'abréviation «RTJ» est dérivée du terme anglais développé correspondant «Reference Test Jack».

3.1.2

fiche d'essai de référence

RTP

connecteur doté de contacts mâles construit de telle sorte qu'il constitue un artefact d'essai

Note 1 à l'article: L'abréviation «RTP» est dérivée du terme anglais développé correspondant «Reference Test Plug».

3.1.3

jack à fixation directe

DFJ

interface avec des contacts pour accoupler une fiche avec des contacts mâles

Note 1 à l'article: L'abréviation «DFJ» est dérivée du terme anglais développé correspondant «Direct Fixture Jack».

3.1.4

fiche à fixation directe

DFP

interface avec des contacts pour accoupler un jack avec des contacts femelles

Note 1 à l'article: L'abréviation «DFP» est dérivée du terme anglais développé correspondant «Direct Fixture Plug».

3.2 Abréviations

CM	Common Mode (mode commun)
DM	Differential Mode (mode différentiel)
DFJ	Direct Fixture Jack (jack à fixation directe)
DFP	Direct Fixture Plug (fiche à fixation directe)
DMCM	Differential Mode plus Common Mode (mode différentiel plus mode commun)
DUT	Device Under Test (dispositif en essai)
FEXT	Far-end crosstalk (télédiaphonie)
IDC	Insulation Displacement Connection (connexion autodénudante)
IEC	International Electrotechnical Commission (Commission Electrotechnique Internationale)
IL	Insertion Loss (perte d'insertion)
NEXT	Near-end crosstalk (paradiaphonie)
RL	Return Loss (affaiblissement de réflexion)
RTJ	Reference Test Jack (jack d'essai de référence)
RTP	Reference Test Plug (fiche d'essai de référence)
TCL	Transverse Conversion Loss (perte de conversion transverse)
TCTL	Transverse Conversion Transfer Loss (perte de transfert de conversion transverse)

4 Montage d'essai général

4.1 Instrumentation d'essai

L'ensemble de l'instrumentation d'essai doit être qualifié sur la plage de fréquences comprises entre 1 MHz et la fréquence maximale spécifiée pour le DUT.

Ces procédures d'essai exigent l'utilisation d'un analyseur de réseau vectoriel. Il convient que l'analyseur présente une capacité d'étalonnage complet sur 2 ports. L'analyseur doit au minimum couvrir la plage de fréquences comprises entre 1 MHz et la fréquence maximale spécifiée pour le DUT.

Lorsqu'ils sont utilisés, deux symétriseurs d'essai au moins sont exigés pour réaliser les mesures avec des signaux symétriques équilibrés. Les exigences relatives aux symétriseurs sont données en 4.3.

En option, on peut utiliser des analyseurs de réseau multiports pour les montages d'essai sans symétriseur.

Des charges de référence sont nécessaires pour l'étalonnage du montage d'essai. Les exigences concernant les charges de référence sont données en 4.5.1.

Des charges de sortie sont nécessaires pour la terminaison des paires, utilisées et non utilisées, qui ne sont pas terminées par des symétriseurs d'essai. Les exigences concernant les charges des sorties sont données en 4.6.

Une pince absorbante et des absorbeurs en ferrite sont nécessaires pour les mesures de l'affaiblissement de couplage. Les exigences pour ces éléments sont données dans l'EN 50289-1-14.

Les procédures d'essai permettent de soumettre à un essai indépendant la partie mâle et la partie femelle du connecteur. Les deux essais sont décrits à l'Article 5. La Figure 1 représente les stratégies de mesure réalisables pour la qualification d'un DUT.

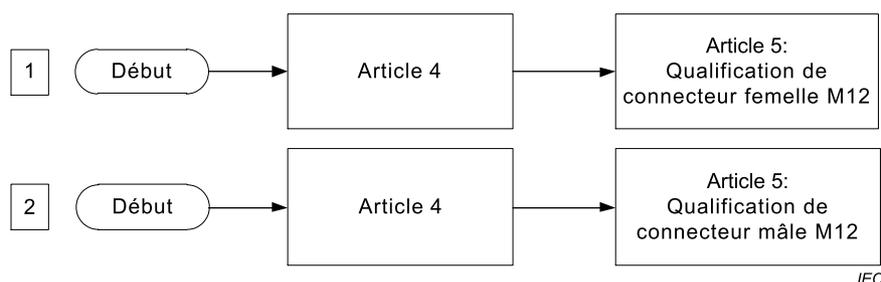


Figure 1 – Stratégies de mesure

4.2 Câbles coaxiaux et interconnexion pour analyseurs de réseau

Les câbles coaxiaux utilisés pour effectuer la connexion entre l'analyseur de réseau et les symétriseurs doivent être aussi courts que possible. (Il est recommandé qu'ils ne dépassent pas 600 mm chacun). Les symétriseurs doivent être reliés électriquement à un plan de terre commun. Pour les mesures de diaphonie, un dispositif d'essai peut être utilisé afin de réduire la diaphonie résiduelle (voir Annexe A). Les composants d'interconnexion symétriques et les matériels de connexion associés pour raccorder l'équipement d'essai et le connecteur en essai doivent satisfaire aux exigences données en 4.8.

4.3 Précautions de mesure

Afin d'assurer un haut degré de fiabilité pour les mesures de transmission, les précautions suivantes sont exigées.

- a) Des charges de résistances et de symétriseurs stables et cohérentes doivent être utilisées pour chaque paire tout au long de la série d'essais.
- b) 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.
- c) Une méthodologie d'essai et des sorties cohérentes (symétriseurs ou résistances) doivent être utilisées à toutes les étapes des qualifications de performances de transmission. L'espacement relatif entre conducteurs dans les paires doit être préservé tout au long des essais au maximum de ce qui est possible.
- d) La symétrie des câbles est maintenue autant que possible par des longueurs de câbles et un torsadage de paires cohérents au point de charge.
- e) 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.

Exigences pour les symétriseurs

Les symétriseurs peuvent être des transformateurs de symétriseurs ou des hybrides à 180° avec des atténuateurs pour améliorer l'adaptation, si nécessaire (voir Figure 2).

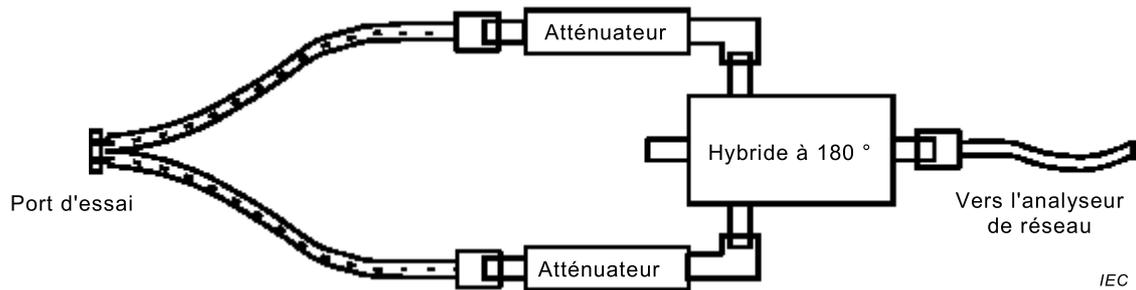


Figure 2 – Hybride à 180° utilisé à la place d'un symétriseur

Les spécifications des symétriseurs s'appliquent sur toute la plage de fréquences sur laquelle ils sont utilisés. Les symétriseurs doivent être blindés contre le brouillage radioélectrique et doivent être conformes aux spécifications indiquées au Tableau 1 et au Tableau 2.

Tableau 1 – Caractéristiques des performances des symétriseurs d'essai jusqu'à 500 MHz

Paramètre	Fréquence MHz	Valeur
Impédance, primaire ¹⁾	$1 \leq f \leq 500$	50 Ω dissymétrique
Impédance, secondaire	$1 \leq f \leq 500$	100 Ω symétrique
Perte d'insertion	$1 \leq f \leq 500$	2,0 dB maximum
Affaiblissement de réflexion, bidirectionnel ²⁾	$1 \leq f < 15$ $15 \leq f \leq 500$	12 dB minimum 20 dB minimum
Affaiblissement de réflexion, mode commun ²⁾	$1 \leq f < 15$ $15 \leq f < 400$ $400 \leq f \leq 500$	15 dB minimum 20 dB minimum 15 dB minimum
Puissance assignée	$1 \leq f \leq 500$	0,1 W minimum
Symétrie longitudinale ²⁾	$1 \leq f < 100$ $100 \leq f \leq 500$	60 dB minimum 50 dB minimum
Symétrie du signal de sortie ²⁾	$1 \leq f \leq 500$	50 dB minimum
Réjection en mode commun ²⁾	$1 \leq f \leq 500$	50 dB minimum
¹⁾ L'impédance au primaire peut varier, si nécessaire, pour s'adapter aux sorties de l'analyseur dont la valeur est différente de 50 Ω. ²⁾ Mesure effectuée conformément à la Recommandation G.117 de l'UIT-T, l'analyseur de réseau étant étalonné avec une charge de 50 Ω.		

**Tableau 2 – Caractéristiques des performances
des symétriseurs d'essai jusqu'à 100 MHz**

Paramètre	Fréquence MHz	Valeur
Impédance, primaire	$1 \leq f \leq 100$	50 Ω dissymétrique
Impédance, secondaire	$1 \leq f \leq 100$	100 Ω symétrique
Perte d'insertion	$1 \leq f \leq 100$	10,0 dB maximum
Affaiblissement de réflexion, secondaire	$1 \leq f < 100$	14 dB minimum
Affaiblissement de réflexion en mode commun avec charge de mode commun ¹⁾	$1 \leq f < 100$	10 dB maximum
Puissance assignée	$1 \leq f \leq 100$	0,1 W minimum
Symétrie longitudinale ²⁾	$1 \leq f < 100$	50 dB minimum
Symétrie du signal de sortie ³⁾	$1 \leq f \leq 100$	50 dB minimum
Réjection en mode commun ³⁾	$1 \leq f \leq 100$	50 dB minimum
¹⁾ Mesuré en connectant ensemble les bornes de sortie symétriques et en mesurant l'affaiblissement de réflexion. L'impédance nominale du primaire doit terminer la borne d'entrée de ce primaire. Voir aussi Figure 3, partie Affaiblissement de réflexion en mode commun. ²⁾ Applicable aux symétriseurs qui sont utilisés pour les mesures de symétrie. Mesuré de la borne d'entrée du primaire à la borne de mode commun lorsque la borne symétrique du secondaire est une charge de 100 Ω . ³⁾ Mesure effectuée conformément aux Recommandations G.117 et O.9 de l'UIT-T.		

Pour faciliter le raccordement des dispositifs d'essai, il est recommandé d'utiliser une interface entre broches et support, dont les dimensions sont données à l'Annexe D. La Figure 3 représente les configurations d'essai appropriées pour qualifier des symétriseurs d'essai selon les exigences du Tableau 2.

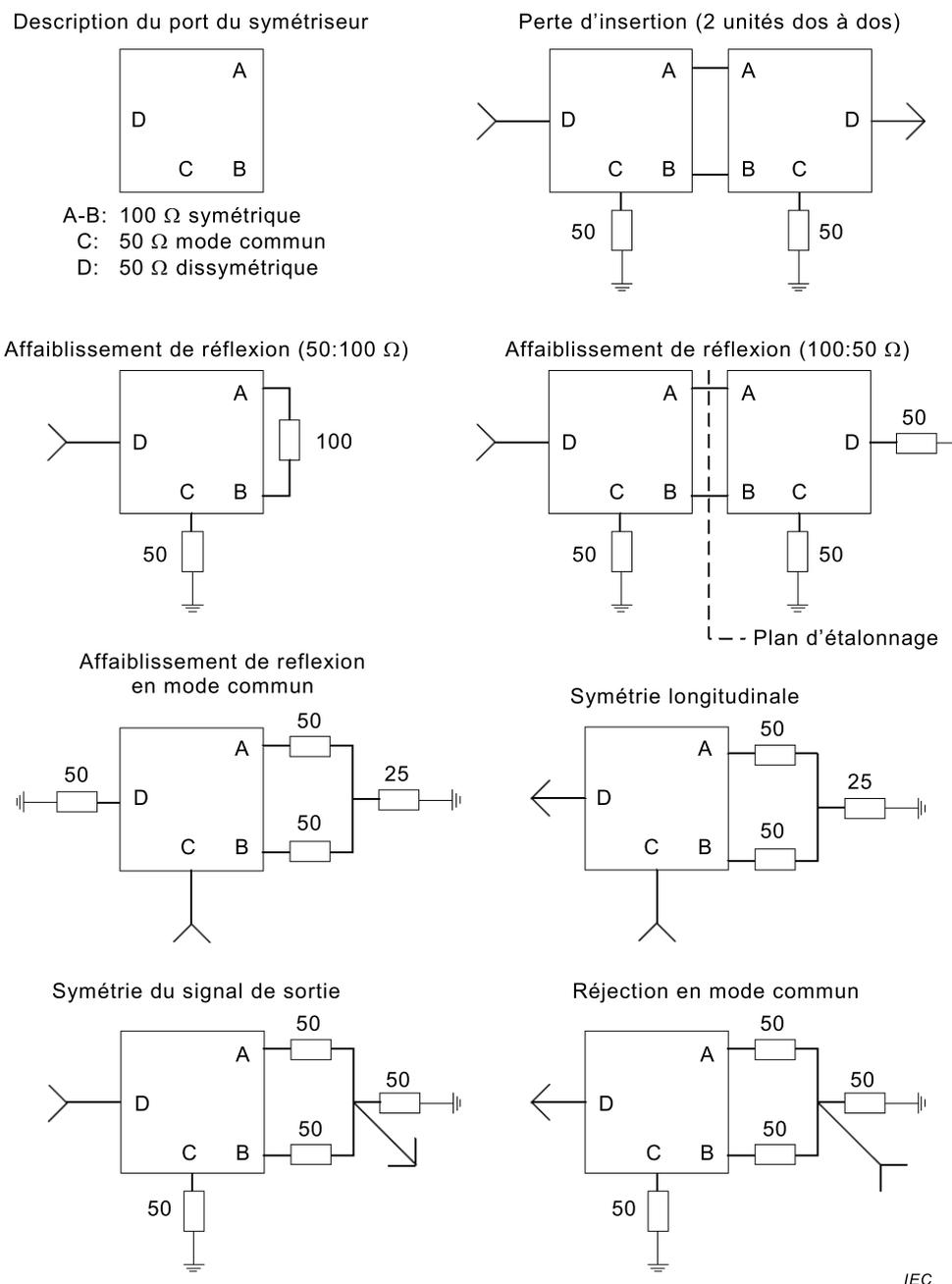


Figure 3 – Configurations de mesure pour la qualification de symétriseurs d'essai

4.4 Composants de référence pour l'étalonnage

4.4.1 Charges de référence pour l'étalonnage

Pour réaliser un étalonnage sur un ou deux ports de l'équipement d'essai, un court-circuit, un circuit ouvert et une charge de référence sont nécessaires. Ces dispositifs doivent être utilisés pour obtenir un étalonnage.

La charge de référence doit être étalonnée par rapport à une référence d'étalonnage, qui doit être une charge de 50 Ω, que l'on retrouve dans une Norme internationale de référence. Deux charges de référence de 100 Ω en parallèle doivent être étalonnées par rapport à la référence d'étalonnage. Les charges de référence pour l'étalonnage doivent être placées dans un connecteur de type N, selon l'IEC 61169-16, conçu pour le montage sur panneau, qui est usiné plat sur son côté arrière (voir Figure 4). Les charges doivent être fixées sur le côté plat du connecteur, réparties de manière uniforme autour du conducteur central. Un analyseur de

réseau doit être étalonné par étalonnage complet sur un port avec la référence d'étalonnage. Ensuite, l'affaiblissement de réflexion des charges de référence destinées à l'étalonnage doit être mesuré. L'affaiblissement de réflexion ainsi vérifié doit être supérieur à 46 dB pour les fréquences inférieures ou égales à 100 MHz et supérieur à 40 dB pour les fréquences supérieures à 100 MHz et jusqu'à la limite pour laquelle les mesures doivent être réalisées.

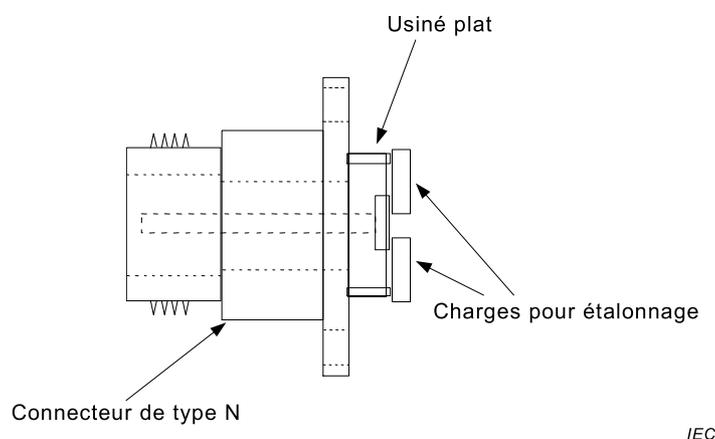


Figure 4 – Etalonnage des charges de référence

4.5 Charges de sortie pour la terminaison des paires de conducteurs

4.5.1 Mode différentiel

Les sorties de mode différentiel plus mode commun (DMCM), comme indiqué sur la partie gauche de la Figure 5, doivent être utilisées sur toutes les paires actives en essai, sauf lors de la mesure de l'affaiblissement de réflexion, pour laquelle les charges résistives de mode différentiel uniquement sont recommandées. Les charges résistives de mode différentiel plus mode commun doivent être utilisées sur toutes les paires inactives et sur les extrémités opposées des paires actives pour les essais d'affaiblissement paradiaphonique (NEXT) et d'affaiblissement télédiaphonique (FEXT). Les paires inactives utilisées pour les essais d'affaiblissement de réflexion peuvent être raccordées à des charges résistives de mode différentiel (DM) ou de mode différentiel plus mode commun (DMCM) ou ne pas être raccordées. Les sorties de symétriseur peuvent être utilisées sur l'extrémité éloignée de toutes les parties inactives à condition que leurs caractéristiques de performances d'affaiblissement de réflexion en mode différentiel (MD) et en mode commun (MC) respectent les performances minimales des réseaux de résistances spécifiés.

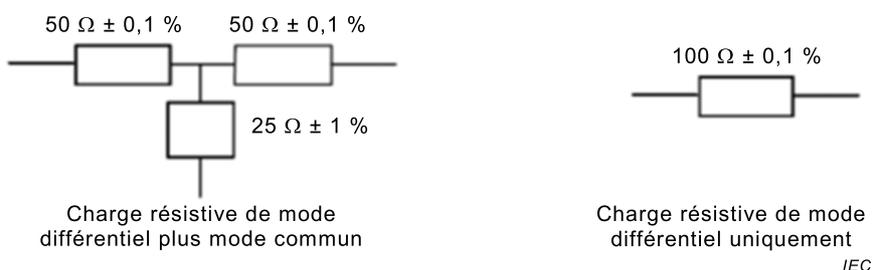


Figure 5 – Réseaux de charges résistives

Des résistances chipsets de petite géométrie doivent être utilisées pour la construction des charges résistives. Les deux résistances de charge de mode différentiel (DM) de 50 Ω doivent être adaptées à 0,1 % près en courant continu. La longueur des connexions aux résistances de charge d'impédance doit être réduite à sa valeur minimale. Des longueurs de fil de 2 mm maximum sont recommandées.

4.5.2 Sorties de symétriseurs

Les symétriseurs utilisés pour fournir une sortie doivent satisfaire aux exigences de 4.3. La résistance de sortie de mode commun appliquée au port de mode commun (CM) du symétriseur doit avoir une valeur de $50 \Omega \pm 1 \%$.

4.5.3 Types de sorties

Les performances des réseaux de charges résistives d'adaptation d'impédance doivent être vérifiées en mesurant l'affaiblissement de réflexion de la sortie au niveau du plan d'étalonnage. Pour effectuer cette mesure, un étalonnage sur un port est nécessaire en utilisant une charge reliée à une référence comme cela est décrit en 4.4.1.

L'affaiblissement de réflexion en mode différentiel (DM) de la sortie avec charge doit dépasser $20 - 20 \log(f/500)$. Les calculs donnant des valeurs limites d'affaiblissement de réflexion supérieures à 40 dB doivent revenir à une valeur minimale exigée de 40 dB. L'affaiblissement de réflexion en mode commun doit dépasser 15 dB. L'affaiblissement paradiaphonique (NEXT) résiduel entre deux réseaux de sorties d'impédance quelconques doit dépasser les exigences de la formule (1). Les calculs donnant des valeurs limites d'affaiblissement paradiaphonique (NEXT) résiduel supérieures à 84 dB doivent revenir à une valeur minimale exigée de 84 dB.

$$NEXT_{\text{residual_term}} \geq 114 - 20 \cdot \log(f) \text{ dB} \quad (1)$$

4.6 Sortie des écrans

Si le connecteur en essai est écranté, des câbles de mesure écrantés doivent être utilisés.

Le ou les écrans de ces câbles doivent être fixés au plan de terre aussi près que possible des symétriseurs de mesure.

4.7 Spécimen d'essai et plans de référence

4.7.1 Généralités

Le spécimen est une paire de connecteurs adaptés accouplés. Le plan de référence du connecteur pour le spécimen est soit le point au niveau duquel la gaine de câble entre dans le connecteur (extrémité arrière du connecteur), soit le point à partir duquel la géométrie interne du câble n'est plus maintenue, selon ce qui est le plus éloigné du connecteur (voir Figure 6). Les connecteurs pour montage sur circuit imprimé sont également applicables. Cette définition s'applique aux deux extrémités du spécimen. Le connecteur doit être terminé conformément aux instructions du constructeur et doit être compatible avec le montage et les dispositifs d'essai de mesure.

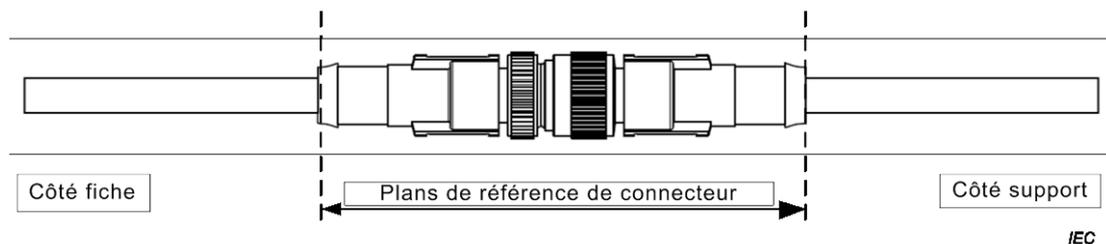


Figure 6 – Définition des plans de référence

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

4.7.2.1 Généralités

On utilise des interconnexions en paires torsadées, des circuits imprimés ou d'autres interconnexions entre le plan de référence du connecteur du dispositif en essai et le plan d'étalonnage. Il est nécessaire de contrôler les caractéristiques de ces interconnexions dans la mesure du possible étant donné qu'elles dépassent du plan d'étalonnage. Il convient que ces interconnexions soient aussi courtes que possible en pratique; leurs impédances de mode commun et de mode différentiel doivent être gérées de manière à réduire leur incidence sur la mesure. Se reporter à l'Annexe A pour obtenir des informations supplémentaires sur les dispositifs d'essai qui peuvent être utilisés pour faciliter la gestion de l'impédance. Les performances d'affaiblissement de réflexion des interconnexions doivent satisfaire aux exigences du Tableau 3. On suppose que les performances de perte d'insertion des interconnexions sont inférieures à 0,1 dB sur la plage de fréquences comprises entre 1 MHz et 100 MHz (Catégorie 5) et entre 1 MHz à 500 MHz (Catégorie 6_A).

Il est recommandé que tous les dispositifs en essai, y compris les TFJ et les TFP, possèdent des supports présentant un espacement de 2,5 mm aux extrémités de leurs interconnexions pour faciliter un interfaçage cohérent avec les symétriseurs.

4.7.2.2 Interconnexion d'adaptation d'impédance

4.7.2.2.1 Généralités

Lorsqu'on l'utilise, l'interconnexion en 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 doit être qualifiée pour un affaiblissement de réflexion en mode différentiel. Il existe deux méthodes différentes pour obtenir une interconnexion: on peut l'obtenir sous forme de paires torsadées individuelles, ou en tant que partie d'un câble. Si des sorties de mode commun sont exigées, l'interconnexion doit être placée dans un système de gestion de l'impédance conforme à la description donnée dans l'Annexe A. La longueur maximale des fils de paires torsadées à chaque extrémité du dispositif en essai doit être égale à 51 mm.

4.7.2.2.2 Interconnexion torsadée individuelle

Une interconnexion à paires torsadées peut être obtenue à partir d'un élément à paires torsadées discret ou prélevée sur un câble gainé. Avant de la fixer au dispositif en essai, l'affaiblissement de réflexion de chaque paire doit être soumis à un essai. Pour réaliser cet essai, on doit utiliser des longueurs de paires torsadées de 100 mm. L'interconnexion doit être raccordée au niveau de chaque paire à une résistance chipse présentant une précision de 0,1 % (par exemple, un composant de taille 0603 ou équivalent) ou à une résistance chipse similaire, comme indiqué en 4.5.1. La résistance doit être fixée directement aux conducteurs de la paire de façon à réduire au minimum la perturbation de la paire. Parmi les perturbations potentielles, on peut citer les espacements entre l'isolant des conducteurs de la paire, la fusion de l'isolant et un excès de brasure. Durant l'essai, les fils d'essai doivent être reliés au symétriseur ou au port d'essai de mode différentiel à l'aide des mêmes dispositifs d'essai que ceux utilisés pour le dispositif en essai. Les fils de paires torsadées sont ensuite coupés pour être fixés au dispositif et aux dispositifs d'essai. Voir l'Annexe A détaillant un dispositif d'essai approprié. Il est recommandé d'utiliser la même charge pour l'étalonnage et pour la terminaison du fil d'essai durant la mesure.

4.7.2.2.3 Interconnexion faisant partie de câbles

L'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 TFP obtenus en coupant les extrémités des cordons assemblés, mais elle peut également être utilisée avec des embases. Avant la fixation au dispositif en essai, l'affaiblissement de réflexion des paires de câbles (à l'intérieur du câble) doit être soumis à un essai. Pour réaliser cet essai, on doit choisir une

longueur de câble de 100 mm. Chaque paire torsadée de l'extrémité du câble doit être raccordée à une sortie de mode différentiel au niveau de chaque paire en utilisant des résistances chipées de mode différentiel ayant une précision de 0,1 % (taille 0603 size ou similaire), comme indiqué en 4.6. Le câble doit ensuite être raccordé au dispositif en essai selon les instructions du fabricant et coupé pour être fixé au système de mesure. Quand cette méthode est utilisée avec des TFP coupés à partir de cordons assemblés, elle doit être suffisante si le câble du cordon a été qualifié pour un affaiblissement de réflexion à 100 MHz pour la catégorie 5 et 500 MHz pour la catégorie 6_A, ou si le cordon assemblé a été qualifié pour un affaiblissement de réflexion à 100 MHz ou 500 MHz.

4.7.2.3 Exigences relatives à l'affaiblissement de réflexion de l'interconnexion

L'interconnexion doit satisfaire aux exigences du Tableau 3 relatives à la résistance d'étalonnage spécifiée en 4.7.2.2.2.

Tableau 3 – Affaiblissement de réflexion d'une interconnexion

Fréquence MHz	Affaiblissement de réflexion dB	Catégorie
$1 \leq f < 80$	40 dB	Toutes
$80 \leq f \leq 100$	$78 - 20 \log(f)$ dB	5
$80 \leq f \leq 500$	$78 - 20 \log(f)$ dB	6 _A

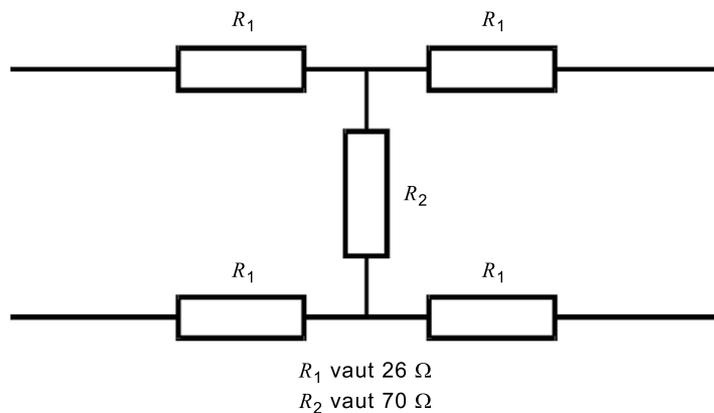
4.8 Sortie du symétriseur

4.8.1 Exigences générales

Si le symétriseur disponible ne fournit pas de sortie de mode commun (prise centrale soit connectée à la terre, soit ouverte), un atténuateur symétrique résistif doit être utilisé pour fournir l'affaiblissement de réflexion exigé. L'atténuateur doit être mis en œuvre au niveau d'une petite carte imprimée avec des résistances pour montage en surface (CMS). Deux cas sont possibles: un avec la prise centrale connectée à la terre et un avec prise centrale ouverte.

4.8.2 Prise centrale connectée à la terre

Un schéma de l'atténuateur est donné à la Figure 7. L'affaiblissement nominal est de 10 dB et l'impédance de mode commun calculée est de 26 Ω.



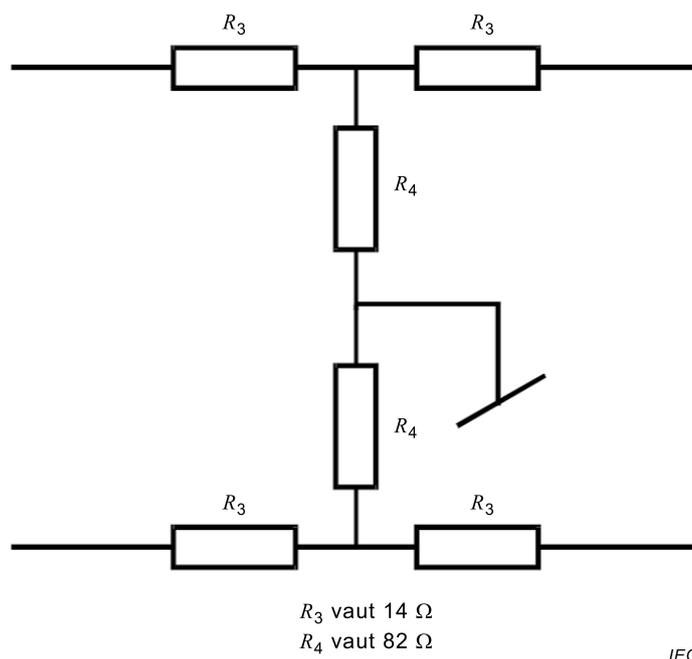
IEC

NOTE Les valeurs des résistances sont des valeurs nominales. Les valeurs normalisées les plus proches peuvent être choisies.

Figure 7 – Atténuateur symétrique pour prise centrale de symétriseur à la terre

4.8.3 Prise centrale ouverte

Un schéma de l'atténuateur est donné à la Figure 8. L'affaiblissement nominal est de 5 dB et l'impédance de mode commun calculée est de 48 Ω .



NOTE Les valeurs des résistances sont des valeurs nominales. Les valeurs normalisées les plus proches peuvent être choisies.

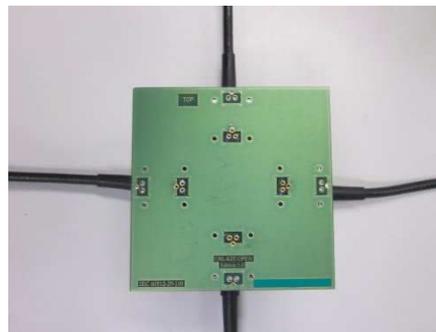
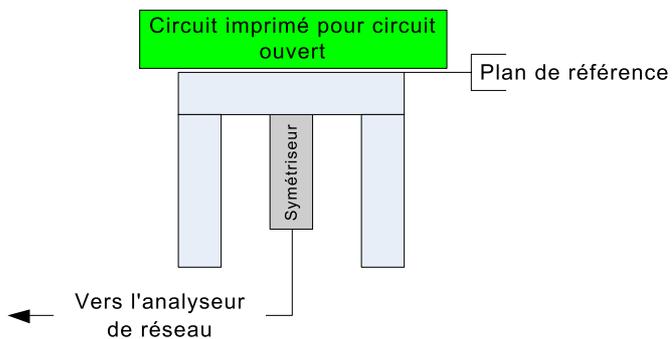
Figure 8 – Atténuateur symétrique pour prise centrale de symétriseur ouverte

4.9 Séquence d'étalonnage et de mesure

La séquence suivante doit être utilisée pour réaliser un étalonnage correct de l'équipement d'essai et la mesure du dispositif en essai.

NOTE Les parties grises dans les Figures 9 à 14 sont similaires au châssis de la Figure A.3.

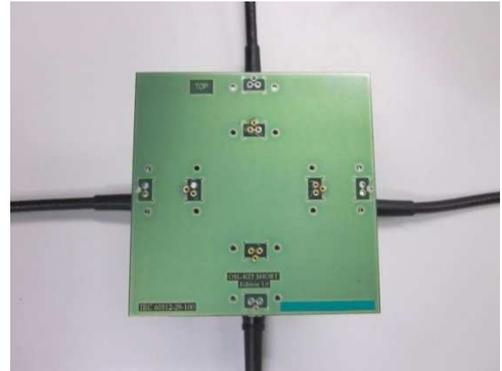
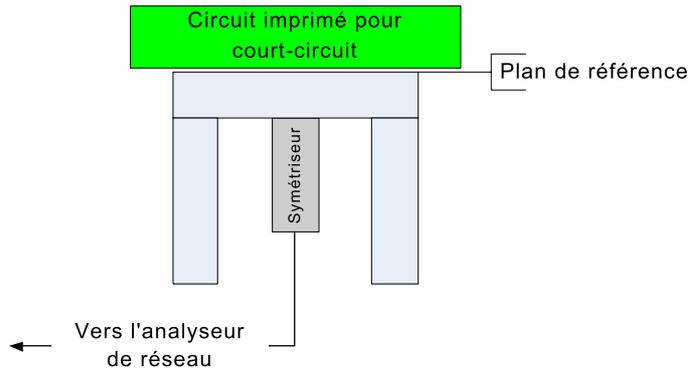
- a) Etalonnage en circuit ouvert sur le plan de référence avec un analyseur de réseau à 2 ports comme indiqué à la Figure 9.



IEC

Figure 9 – Etalonnage en circuit ouvert

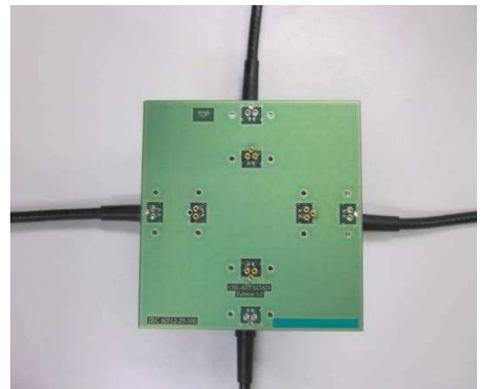
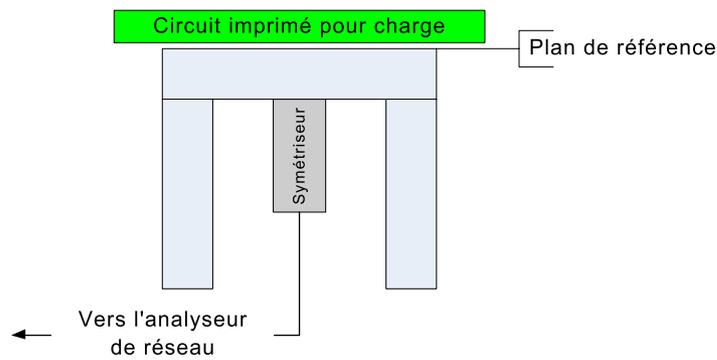
- b) Etalonnage en court-circuit sur le plan de référence avec un analyseur de réseau à 2 ports comme indiqué à la Figure 10.



IEC

Figure 10 – Etalonnage en court-circuit

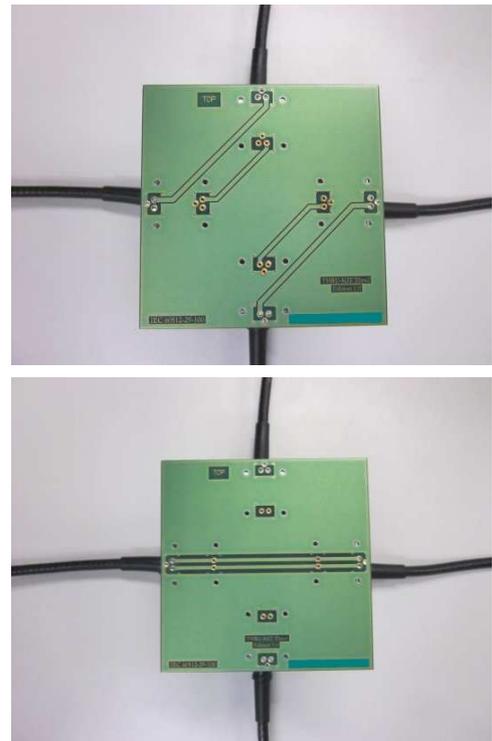
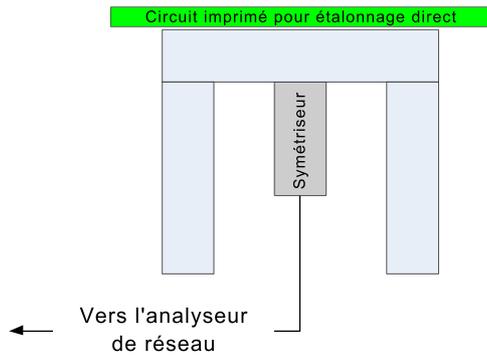
- c) Etalonnage en charge sur le plan de référence avec un analyseur de réseau à 2 ports comme indiqué à la Figure 11.



IEC

Figure 11 – Etalonnage en charge

- d) Etalonnage direct sur le plan de référence avec un analyseur de réseau à 2 ports comme indiqué à la Figure 12.



IEC

Figure 12 – Etalonnage direct

- e) Mesure d'affaiblissement de réflexion (RL) et de paradiaphonie (NEXT) sur le dispositif en essai comme indiqué à la Figure 13.

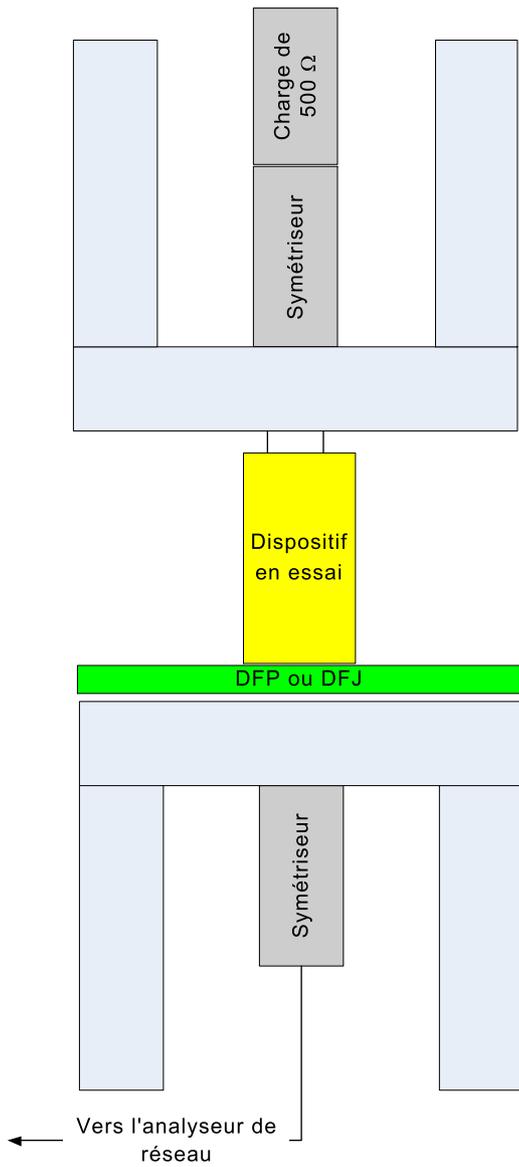
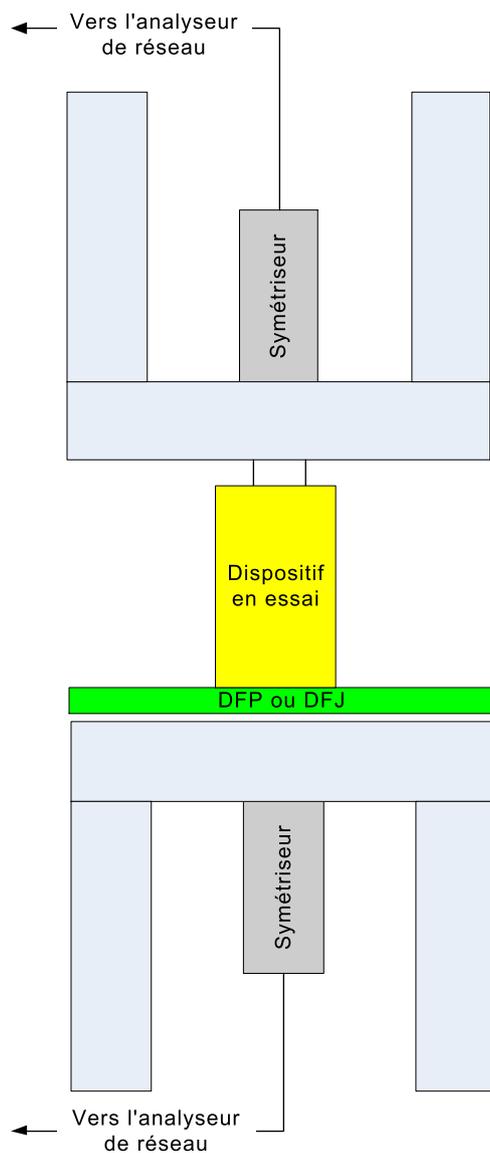


Figure 13 – Mesure d'affaiblissement de réflexion et de paradiaphonie sur le dispositif en essai

IEC

- f) Mesure de perte d'insertion (IL) et de télédiaphonie (FEXT) sur le dispositif en essai comme indiqué à la Figure 14.



IEC

Figure 14 – Mesure de perte d'insertion et de télédiaphonie sur le dispositif en essai

5 Mesure des connecteurs jusqu'à 100 MHz et 500 MHz

5.1 Généralités

Les mesures décrites dans le présent article s'appliquent à un connecteur accouplé avec des contacts mâles et un connecteur avec des contacts femelles. Les fiches à fixation directe (DFP) et les jacks à fixation directe (DFJ) utilisés dans ces essais doivent satisfaire aux exigences de 6.2.

5.2 Perte d'insertion, Essai 29a

5.2.1 Objet

Cet essai est destiné à mesurer la perte d'insertion, définie comme l'affaiblissement supplémentaire causé par une paire de connecteurs accouplés insérés dans un câble de communication.

5.2.2 Connecteur avec contacts mâles ou femelles pour perte d'insertion

La perte d'insertion doit être mesurée dans au moins un sens.

5.2.3 Méthode d'essai

La perte d'insertion est évaluée en mesurant les paramètres de diffusion, S_{21} , de toutes les paires de conducteurs.

5.2.4 Montage d'essai

Le montage d'essai se compose d'un analyseur de réseau et de deux symétriseurs, comme défini en 4.3. Il n'est pas nécessaire de charger les paires inutilisées.

5.2.5 Procédure

5.2.5.1 Étalonnage

Un étalonnage complet sur 2 ports doit être réalisé au niveau des plans d'étalonnage.

5.2.5.2 Mesure

Le spécimen d'essai doit être raccordé à des câbles de mesure aux deux extrémités comme indiqué à la Figure 15. La longueur de ces câbles de mesure doit être égale à la longueur des câbles de référence utilisés pour les étalonnages de réflexion. Les câbles de mesure doivent être des types de câbles auxquels le connecteur est destiné. Une mesure de S_{21} doit être réalisée. Une sortie de mode commun est exigée sur la paire en essai, au moins sur l'une des extrémités.

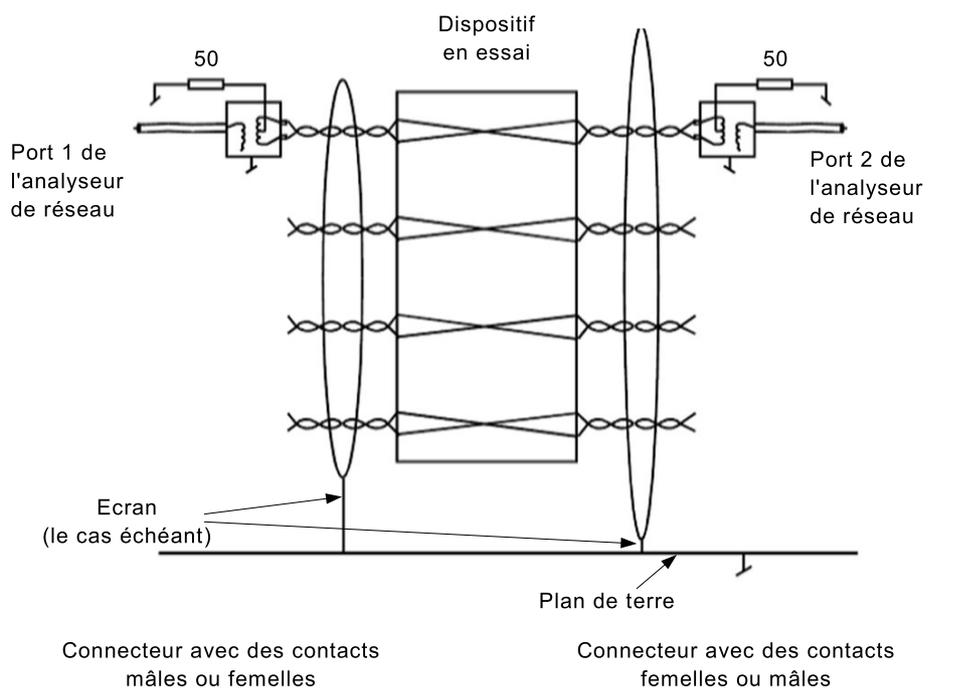


Figure 15 – Montage de mesure

Les connecteurs avec des contacts femelles ou mâles doivent être mesurés en plaçant au moins un connecteur avec des contacts mâles ou femelles dans au moins un sens. Pour améliorer la précision, l'affaiblissement de réflexion des interconnexions à chaque extrémité de la connexion accouplée peut être soustrait de la mesure du dispositif en essai.

5.2.6 Rapport d'essai

Les résultats mesurés doivent être consignés sous forme de graphiques ou de tableaux avec les limites de spécification représentées sur les graphiques ou dans les tableaux aux mêmes fréquences que celles indiquées dans la spécification particulière applicable. Les résultats doivent être consignés pour toutes les paires. On doit noter de manière explicite si les résultats mesurés dépassent les limites d'essai.

5.2.7 Précision

La précision doit être dans les limites de $\pm 0,05$ dB.

5.3 Affaiblissement de réflexion, Essai 29b

5.3.1 Objet

Cet essai est destiné à mesurer l'affaiblissement de réflexion (RL) du dispositif en essai avec des contacts mâles ou femelles accouplés à la fixation directe du genre approprié. Voir Figure 16.

5.3.2 Connecteur avec contacts mâles ou femelles pour affaiblissement de réflexion

Le matériel de connexion doit être soumis à des essais d'affaiblissement de réflexion dans au moins un sens en utilisant au moins un connecteur avec des contacts mâles ou femelles. Ce connecteur avec des contacts mâles ou femelles doit satisfaire aux exigences de 6.2.

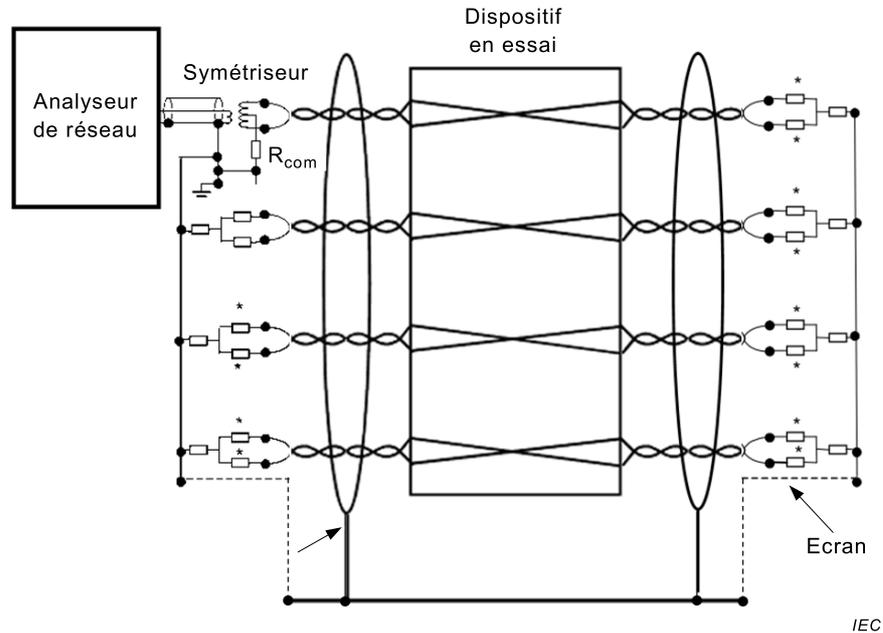
5.3.3 Méthode d'essai

L'affaiblissement de réflexion est mesuré en mesurant les paramètres de diffusion, S_{11} et S_{22} , de toutes les paires de conducteurs.

NOTE Etant donné qu'un connecteur est un dispositif à faible perte, l'affaiblissement de réflexion des deux côtés est pratiquement égal.

5.3.4 Montage d'essai

Le montage d'essai est tel que décrit à l'Article 4. L'utilisation de résistances de sorties de mode différentiel uniquement est recommandée et doit satisfaire aux exigences de 4.5.3. Quand cela est possible, il est recommandé d'utiliser les mêmes charges résistives que celles utilisées pour l'étalonnage de l'instrument en tant que sorties aux extrémités éloignées. L'interconnexion (le cas échéant) doit être préparée et contrôlée conformément à 4.7.2 et doit satisfaire aux exigences de 4.5.3.



IEC

NOTE Les réseaux de résistances de sortie de ligne marqués d'un astérisque (*) peuvent également inclure une sortie de mode différentiel uniquement ou une sortie de symétriseur.

Figure 16 – Mesure de l'affaiblissement de réflexion

5.3.5 Procédure

5.3.5.1 Étalonnage

Au minimum, un étalonnage complet sur un port, en circuit ouvert, en court-circuit et en charge, doit être réalisé au niveau du plan de référence. Un étalonnage complet sur deux ports est également acceptable. La charge d'étalonnage doit respecter les exigences de 4.5.3.

5.3.5.2 Mesure

Les mesures S_{11} et de S_{22} doivent être réalisées pour chaque paire.

La qualification d'acceptation et de rejet est déterminée en comparant les résultats aux exigences des matériels de connexion correspondants, plus 6 dB. Ces limites supérieures pour les composants sont nécessaires pour assurer les limites pour le matériel de connexion correspondant en considérant tous les scénarios les plus défavorables.

5.3.6 Rapport d'essai

Les résultats mesurés doivent être consignés sous forme de graphiques ou de tableaux avec les limites de spécification représentées sur les graphiques ou dans les tableaux aux mêmes fréquences que celles indiquées dans la spécification particulière applicable. Les résultats

doivent être consignés pour toutes les paires. On doit noter de manière explicite si les résultats mesurés dépassent les limites d'essai.

5.3.7 Précision

On vérifie 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 les symétriseurs est supposée détériorer l'affaiblissement de réflexion du montage (en fait le pont directionnel mis en place par le montage d'essai) de 6 dB. La précision 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. La précision (bande d'incertitude) est donnée au Tableau 4 et au Tableau 5.

Tableau 4 – Bande d'incertitude de mesure de l'affaiblissement de réflexion à des fréquences inférieures à 100 MHz

Affaiblissement de réflexion mesuré (dB)	10	12	15	18	20	22	25	28	30
Limite d'incertitude basse (dB)	-0,3	-0,3	-0,5	-0,7	-0,8	-1,0	-1,4	-1,9	-2,4
Limite d'incertitude haute (dB)	+0,3	+0,4	+0,5	+0,7	+0,9	+1,2	+1,7	+2,5	+3,3

Tableau 5 – Bande d'incertitude de mesure de l'affaiblissement de réflexion à des fréquences supérieures à 100 MHz

Affaiblissement de réflexion mesuré (dB)	10	12	15	18	20	22	25	28	30
Limite d'incertitude basse (dB)	-0,5	-0,7	-0,9	-1,3	-1,6	-1,9	-2,6	-3,5	-4,2
Limite d'incertitude haute (dB)	+0,6	+0,7	+1,0	+1,3	+1,9	+2,5	+3,8	+6,0	+8,7

EXEMPLE Considérons un affaiblissement de réflexion mesuré égal à 20 dB. La véritable valeur de l'affaiblissement de réflexion RL se trouve alors pour les fréquences au-dessus de 100 MHz dans la bande comprise entre 18,4 dB et 21,9 dB.

5.4 Paradiaphonie (NEXT), Essai 29c

5.4.1 Objet

Cette procédure d'essai a pour objet la mesure de l'amplitude du couplage électrique et magnétique entre des paires perturbatrices et perturbées de paires de connecteurs accouplés.

5.4.2 Connecteur avec contacts mâles ou femelles pour paradiaphonie

Le matériel de connexion doit être soumis à des essais d'affaiblissement paradiaphonique dans les deux sens en utilisant au moins un connecteur avec des contacts mâles ou femelles. Ce connecteur avec des contacts mâles et femelles doit satisfaire aux exigences de l'Article 6.

5.4.3 Méthode d'essai

La paradiaphonie (NEXT) est évaluée en mesurant les paramètres de diffusion, S_{21} , des combinaisons possibles de paires de conducteurs à chaque extrémité du connecteur accouplé, tandis que les autres extrémités des paires sont chargées.

5.4.4 Montage d'essai

Le montage d'essai se compose de deux symétriseurs et d'un analyseur de réseau. Une illustration du montage qui montre également les principes de terminaisons est représentée à la Figure 17.

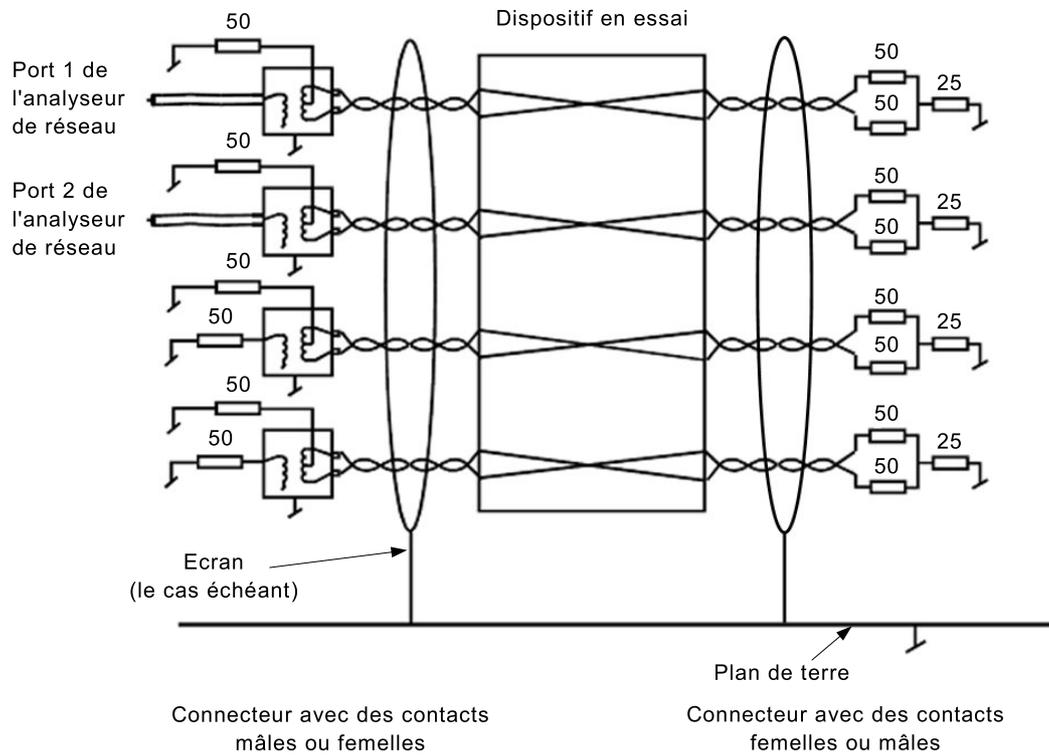


Figure 17 – Mesure de la paradiaphonie

5.4.5 Procédure

5.4.5.1 Étalonnage

Un étalonnage complet sur 2 ports doit être réalisé au niveau des plans d'étalonnage.

5.4.5.2 Etablissement du plancher de bruit

Le plancher de bruit du montage doit être mesuré. Le niveau du plancher de bruit est déterminé par du bruit blanc qui peut être réduit en augmentant la puissance d'essai et en réduisant la largeur de bande de l'analyseur de réseau et par la diaphonie résiduelle entre les symétriseurs d'essai. Le plancher de bruit doit être mesuré en raccordant les symétriseurs de résistances et en réalisant une mesure de S_{21} . Le plancher de bruit doit être inférieur de 20 dB à toute limite spécifiée de diaphonie. Si la valeur mesurée est à moins de 20 dB du plancher de bruit, ceci doit être consigné.

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

5.4.5.3 Mesure

Connecter la paire perturbatrice du connecteur en essai (CUT: Connector Under Test) à la source de signal et la paire perturbée au port de réception. Le dispositif en essai doit être soumis aux essais avec les sorties de mode différentiel et de mode commun.

Les mesures doivent être réalisées à partir des deux extrémités du connecteur accouplé. Les mesures réalisées à partir de l'extrémité du connecteur avec des contacts mâles ou femelles doivent être utilisées dans les calculs de 5.4.5.4, pour une qualification complète dans le sens direct et dans le sens inverse. Soumettre aux essais toutes les combinaisons de paires possibles et consigner les résultats.

Il existe 6 combinaisons différentes de paradiaphonie dans un connecteur de 4 paires à partir de chaque côté, ce qui donne un total de 12 mesures pour chaque type de méthode de terminaison. Du fait de la réciprocité, il est nécessaire de pratiquer les essais sur seulement 6 combinaisons uniques non réciproques à partir de chaque côté.

5.4.5.4 Mesure de l'affaiblissement paradiaphonique du matériel de connexion

- a) Mesurer l'amplitude du vecteur de l'affaiblissement paradiaphonique pour le connecteur avec fixation directe (DFP ou DFJ) du genre approprié dans le sens direct et dans le sens inverse.
- b) La qualification d'acceptation et de rejet est déterminée en comparant les résultats aux exigences des matériels de connexion correspondants, plus 6 dB. Ces limites supérieures pour les composants sont nécessaires pour assurer les limites pour le matériel de connexion correspondant en considérant tous les scénarios les plus défavorables.

5.4.6 Rapport d'essai

Les résultats mesurés doivent être consignés sous forme de graphiques ou de tableau avec les limites de spécification représentées sur les graphiques ou dans le tableau aux mêmes fréquences que celles indiquées dans la spécification particulière applicable. Les résultats doivent être consignés pour toutes les paires. On doit noter de manière explicite si les résultats mesurés dépassent les limites d'essai.

5.4.7 Précision

La précision doit être meilleure que ± 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 29d

5.5.1 Objet

Cette procédure d'essai a pour objet la mesure de l'amplitude du couplage électrique et magnétique entre des paires perturbatrices et perturbées de connecteurs accouplés.

5.5.2 Connecteur avec contacts mâles ou femelles pour télédiaphonie

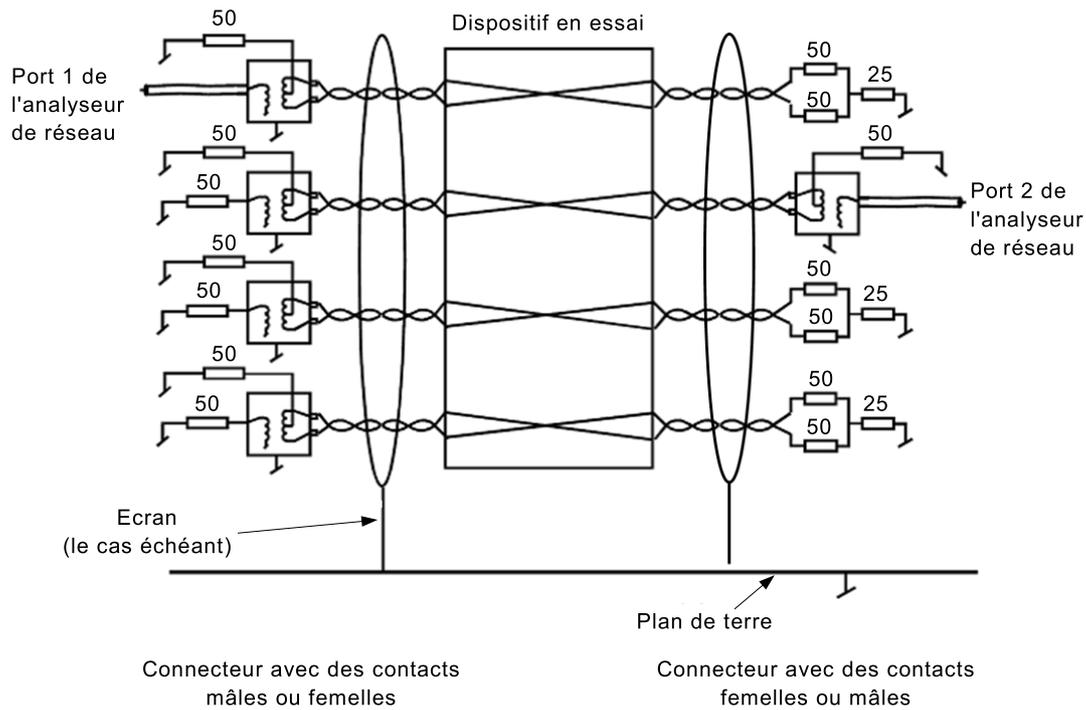
L'affaiblissement télédiaphonique du matériel de connexion est déterminé en mesurant le matériel de connexion à l'aide d'au moins une fixation directe (DFP ou DFJ) qualifiée selon l'Article 6. Mesurer l'affaiblissement télédiaphonique du matériel de connexion au moyen d'interconnexions préparées et contrôlées selon 4.7.

5.5.3 Méthode d'essai

La télédiaphonie est évaluée en mesurant les paramètres de diffusion, S_{21} , des combinaisons possibles de paires de conducteurs depuis l'une des extrémités du connecteur accouplé, jusqu'à l'autre extrémité.

5.5.4 Montage d'essai

Le montage d'essai se compose de deux symétriseurs et d'un analyseur de réseau, comme défini à l'Article 4. Une illustration du montage qui montre également les principes de terminaison est représentée à la Figure 18.



IEC

Figure 18 – Mesure de la télédiaphonie pour les sorties de mode différentiel et de mode commun

5.5.5 Procédure

5.5.5.1 Étalonnage

L'étalonnage est réalisé comme indiqué en 5.4.5.1.

5.5.5.2 Etablissement du plancher de bruit

Le plancher de bruit du montage est établi comme indiqué en 5.4.5.2.

5.5.5.3 Mesure

Connecter la paire perturbatrice du dispositif en essai à la source de signal et la paire perturbée au port de réception. Pratiquer des essais sur toutes les combinaisons de paires possibles¹ et consigner les résultats.

5.5.5.4 Mesure de l'affaiblissement télédiaphonique du matériel de connexion

- a) Mesurer l'amplitude du vecteur de l'affaiblissement télédiaphonique pour le connecteur avec des contacts mâles ou femelles accouplé à la fixation directe (DFP ou DFJ) dans le sens direct (signal envoyé dans la fiche d'essai).
- b) La qualification d'acceptation et de rejet est déterminée en comparant les résultats aux exigences des matériels de connexion correspondants, plus 6 dB. Ces limites supérieures pour les composants sont nécessaires pour assurer les limites pour le matériel de connexion correspondant en considérant tous les scénarios les plus défavorables.

¹ Il existe 12 combinaisons différentes pour la télédiaphonie dans un connecteur de quatre paires, ce qui donne un total de 12 mesures.

5.5.5.5 Détermination d'acceptation et de rejet

La réponse avec le dispositif en essai doit satisfaire aux exigences de la spécification particulière pour toutes les combinaisons de paires. Ces limites supérieures pour les composants sont nécessaires pour assurer les limites pour le matériel de connexion correspondant en considérant tous les scénarios les plus défavorables.

5.5.6 Rapport d'essai

Les résultats mesurés doivent être consignés sous forme de graphiques ou de tableaux avec les limites de spécification représentées sur les graphiques ou dans les tableaux aux mêmes fréquences que celles indiquées dans la spécification particulière applicable. Les résultats doivent être consignés pour toutes les combinaisons de paires. On doit noter de manière explicite si les résultats mesurés dépassent les limites d'essai.

5.5.7 Précision

La précision doit être meilleure que ± 1 dB pour les mesures jusqu'à 60 dB et à ± 2 dB pour les mesures jusqu'à 85 dB.

5.6 Impédance de transfert (ZT), Essai 29e

Les méthodes d'essai de l'IEC 60512-26-100, Essai 26e s'appliquent également aux essais sur des connecteurs dont les plages de fréquences atteignent 500 MHz.

5.7 Perte de conversion transverse (TCL), Essai 29f

5.7.1 Objet

Cet essai est destiné à mesurer la conversion de mode (mode différentiel en mode commun) d'un signal dans les paires de conducteurs du dispositif en essai. Ceci est également appelé affaiblissement dissymétrique ou perte de conversion transverse, TCL.

5.7.2 Connecteur avec contacts mâles ou femelles pour perte de conversion transverse

La perte de conversion transverse du matériel de connexion est déterminée en mesurant le matériel de connexion à l'aide d'une fixation directe (DFJ ou DFP) qualifiée selon 6.2. Mesurer la perte de conversion transverse du matériel de connexion au moyen d'interconnexions préparées et contrôlées selon 4.7.

5.7.3 Méthode d'essai

La symétrie est évaluée en mesurant la partie de mode commun d'un signal en mode différentiel qui est inséré dans l'une des paires de conducteurs du dispositif en essai.

5.7.4 Montage d'essai

Ce montage d'essai se compose d'un analyseur de réseau et d'un symétriseur avec un port d'essai de mode différentiel et de mode commun. Une illustration du montage qui montre également les principes de terminaison est représentée à la Figure 19. Il convient de raccorder la paire du dispositif en essai aux bornes de sortie du symétriseur de mode différentiel. Il convient que toutes les paires inutilisées à l'extrémité proche soient terminées comme indiqué à la Figure 5. Il convient que toutes les paires à l'extrémité éloignée soient terminées comme indiqué à la Figure 5. Il convient que les réseaux de résistances de sortie à l'extrémité proche et éloignée soient accouplés et raccordés au plan de terre de mesure. Il convient de positionner le dispositif en essai à 50 mm du plan de terre sur l'extrémité proche. Il convient que les interconnexions à l'extrémité proche raccordant le dispositif en essai au symétriseur et aux sorties ne dépassent pas 51 mm de longueur et il convient de les orienter de façon orthogonale les unes par rapport aux autres afin de minimiser le couplage.

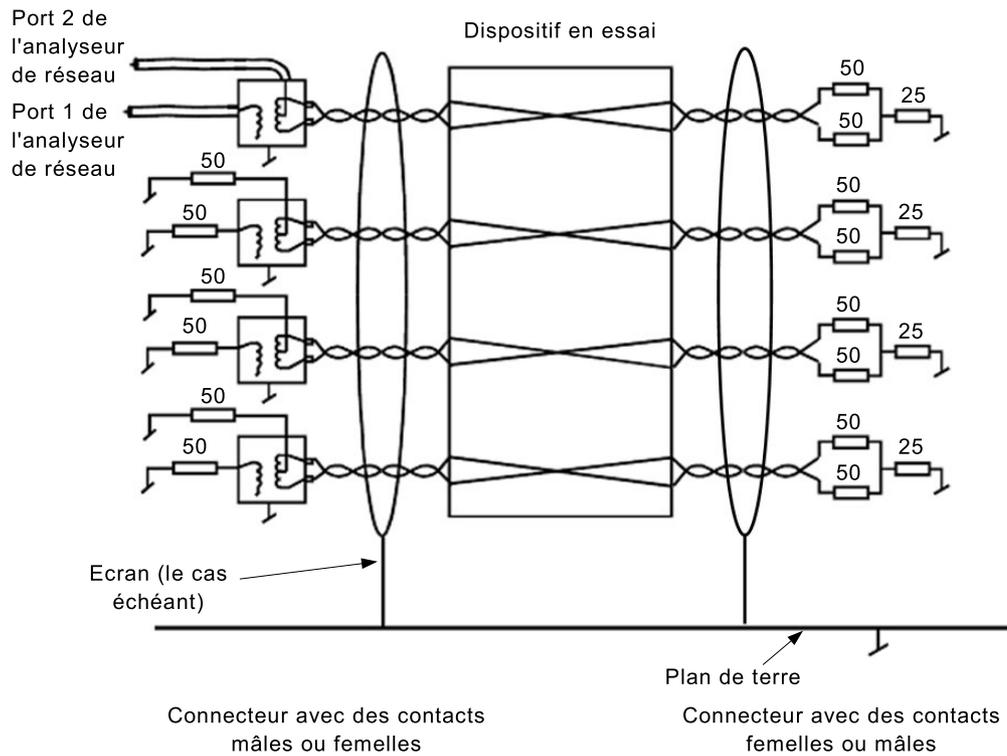


Figure 19 – Mesure de la perte de conversion transverse

5.7.5 Procédure

5.7.5.1 Étalonnage

L'étalonnage de la perte de conversion transverse est réalisé en trois étapes.

ETAPE 1: L'interconnexion coaxiale fixée à l'analyseur de réseau est étalonnée grâce à des mesures réalisées en utilisant des courts-circuits, des circuits ouverts, avec charge et des circuits directs au point de sortie du symétriseur. La Figure 20 donne un exemple de connexion directe avec des fils d'essai.



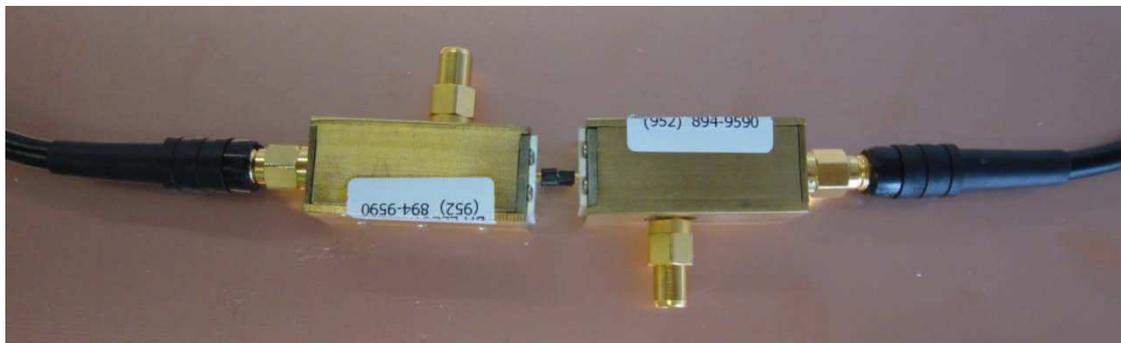
Figure 20 – Etalonnage de l'affaiblissement des fils coaxiaux

ETAPE 2: L'affaiblissement des signaux différentiels du symétriseur d'essai est mesuré en connectant deux symétriseurs identiques dos à dos avec une longueur de fil minimale. Un exemple est illustré à la Figure 21.

Noter que les symétriseurs sont positionnés de façon à maintenir la polarité et qu'ils sont couplés (solidement fixés, par exemple, par serrage) à un plan de terre. La perte d'insertion

mesurée est divisée par 2 pour s'approcher de la perte d'insertion d'un symétriseur pour un signal différentiel.

La perte d'insertion calculée est consignée sous la forme $IL_{\text{bal,DM}}$.



IEC

Figure 21 – Mesure de la perte d'insertion de symétriseurs placés dos à dos

ETAPE 3: L'affaiblissement des signaux en mode commun du symétriseur d'essai est mesuré en connectant ensemble les bornes des ports et les bornes de référence de terre symétriques des deux symétriseurs, et les ports de l'analyseur de réseau reliés aux supports de mode commun, comme indiqué à la Figure 22 et à la Figure 23.

On peut utiliser une courte longueur de fil nu pour connecter chacune des bornes individuelles du symétriseur. Il est important de connecter également les références de terre. Les symétriseurs doivent être solidement fixés par serrage au plan de terre. De même, le blindage extérieur du fil d'essai coaxial doit être correctement relié au plan de terre comme indiqué à la Figure 19. Diviser par 2 pour obtenir la perte d'insertion en mode commun d'un symétriseur. La perte d'insertion obtenue est consignée sous la forme $IL_{\text{bal,CM}}$.



Figure 22 – Configuration pour l'étalonnage de la perte d'insertion en mode commun d'un symétriseur

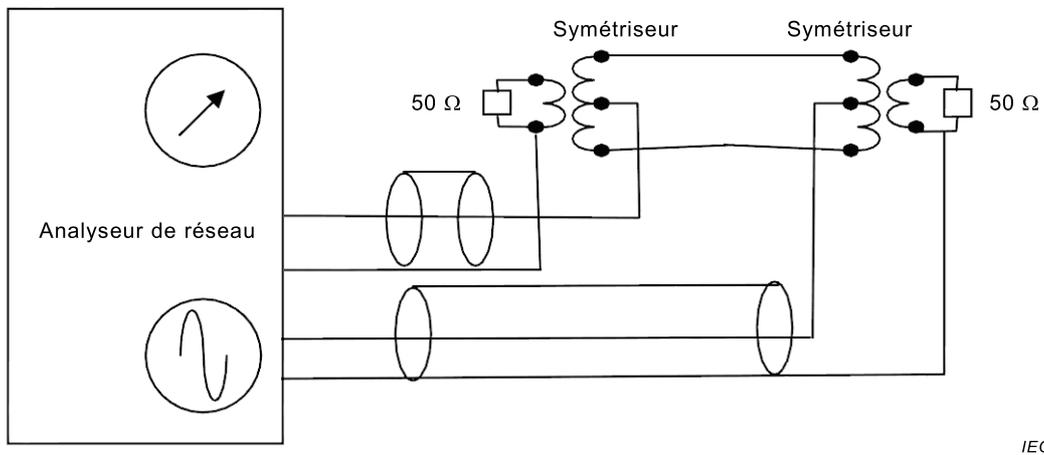


Figure 23 – Schéma pour l'étalonnage de la perte d'insertion en mode commun d'un symétriseur

En outre, un terme de correction pour le rapport d'impédance du transformateur de symétriseur effectuant une conversion de 50Ω sur l'analyseur de réseau en 100Ω sur le dispositif en essai, est nécessaire.

5.7.5.2 Plancher de bruit

Le plancher de bruit du montage doit être mesuré. Le niveau du plancher de bruit est déterminé par du bruit blanc qui peut être réduit en augmentant la puissance d'essai et en réduisant la largeur de bande de l'analyseur de réseau et par la symétrie longitudinale (voir Tableau 1) du symétriseur d'essai. Le plancher de bruit, $a_{\text{noise,m}}$, doit être mesuré en terminant la sortie différentielle du symétriseur avec une résistance de 100 Ω et en réalisant une mesure de S_{21} entre le port de mode différentiel et le port de mode commun du symétriseur. a_{noise} est calculé comme suit:

$$a_{\text{noise,m}} = -20 \log |S_{21}| \quad (2)$$

$$a_{\text{noise}} = a_{\text{noise,m}} - a_{\text{bal,DM}} - a_{\text{bal,CM}} \quad (3)$$

Le plancher de bruit doit être de 20 dB inférieur à toute limite spécifiée de symétrie. Si la valeur mesurée est à moins de 10 dB du plancher de bruit, ceci doit être consigné.

5.7.5.3 Mesure

Connecter la paire mesurée du dispositif en essai à la sortie différentielle du symétriseur d'essai. Terminer le dispositif en essai conformément à 5.7.4. Réaliser une mesure de S_{21} entre le port d'essai de mode différentiel et le port de mode commun du symétriseur. La symétrie, TCL, est calculée comme suit:

$$a_{\text{meas}} = -20 \log |S_{21}| \quad (4)$$

$$TCL = a_{\text{meas}} - a_{\text{bal,DM}} - a_{\text{bal,CM}} \quad (5)$$

5.7.6 Rapport d'essai

Les résultats mesurés doivent être consignés sous forme de graphiques ou de tableaux avec les limites de spécification représentées sur les graphiques ou dans les tableaux aux mêmes fréquences que celles indiquées dans la spécification particulière applicable. Les résultats doivent être consignés pour toutes les paires. On doit noter de manière explicite si les résultats mesurés dépassent les limites d'essai.

5.7.7 Précision

La précision doit être meilleure que ± 1 dB à la limite de spécification.

5.8 Perte de transfert de conversion transverse (TCTL), Essai 29g

5.8.1 Objet

Cet essai est destiné à mesurer la conversion de mode (mode différentiel en mode commun) d'un signal dans les paires de conducteurs du dispositif en essai. Cette propriété est également appelée affaiblissement de symétrie ou perte de transfert de conversion transverse, TCTL.

5.8.2 Connecteur avec contacts mâles ou femelles pour perte de transfert de conversion transverse

La perte de transfert de conversion transverse du matériel de connexion est déterminée en mesurant le matériel de connexion à l'aide d'un TFP qualifié selon 6.2. Mesurer la perte de transfert de conversion transverse du matériel de connexion au moyen d'interconnexions préparées et contrôlées selon 4.7.

5.8.3 Méthode d'essai

La symétrie est évaluée en mesurant la partie de mode commun d'un signal en mode différentiel qui est inséré dans l'une des paires de conducteurs du dispositif en essai.

5.8.4 Montage d'essai

Ce montage d'essai se compose d'un analyseur de réseau et d'un symétriseur avec un port d'essai de mode différentiel et de mode commun. Une illustration du montage qui montre également les principes de terminaison est représentée à l'Article 4. Toutes les paires inutilisées sur les deux extrémités du matériel de connexion doivent être raccordées à des charges résistives de mode commun de $50\ \Omega$ et de mode différentiel de $100\ \Omega$, comme indiqué à la Figure 24. Chaque extrémité doit être reliée à une terre commune. Les terres des deux extrémités du matériel de connexion en essai doivent être connectées de façon sûre au même plan de terre.

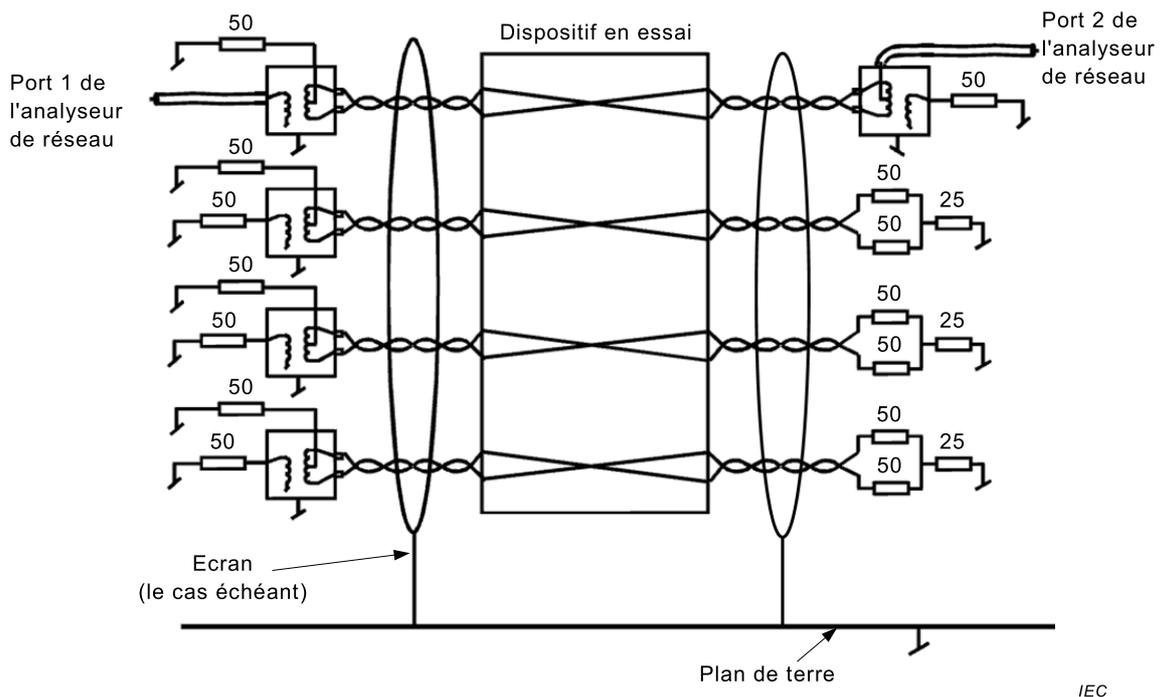


Figure 24 – Mesure de la perte de transfert de conversion transverse, TCTL

5.8.5 Procédure

5.8.5.1 Étalonnage

L'étalonnage du matériel d'essai pour les mesures de TCTL doit suivre la procédure indiquée en 5.7.5.1 pour les deux symétriseurs utilisés dans la mesure et il convient d'enregistrer les valeurs d'étalonnage à la fois en mode commun et en mode différentiel pour les deux symétriseurs, ce qui donne un total de quatre valeurs d'étalonnage. Il convient de consigner les valeurs d'étalonnage comme suit:

$a_{bal, DM.1}$, $a_{bal DM.2}$, $a_{bal CM.1}$ et $a_{bal CM.2}$

5.8.5.2 Plancher de bruit

Les mêmes exigences que celles décrites en 5.7.5.2 pour les mesures de TCL s'appliquent.

5.8.5.3 Mesure

Connecter la paire mesurée du dispositif en essai à la sortie différentielle du symétriseur d'essai. Terminer le dispositif en essai conformément à 5.8.4. Réaliser une mesure de S_{21} entre le port d'essai de mode différentiel et le port de mode commun du symétriseur. La symétrie, TCTL, est calculée comme suit:

$$a_{\text{meas}} = -20 \log S_{21} \quad (6)$$

$$TCTL = a_{\text{meas}} - a_{\text{bal,DM}} - a_{\text{bal,CM}} \quad (7)$$

5.8.6 Rapport d'essai

Les résultats mesurés doivent être consignés sous forme de graphiques ou de tableaux avec les limites de spécification représentées sur les graphiques ou dans les tableaux aux mêmes fréquences que celles indiquées dans la spécification particulière applicable. Les résultats doivent être consignés pour toutes les paires. On doit noter de manière explicite si les résultats mesurés dépassent les limites d'essai.

5.8.7 Précision

La précision doit être meilleure que ± 1 dB à la limite de spécification.

5.9 Affaiblissement de couplage

Des mesures d'affaiblissement de couplage, lorsque la spécification particulière l'exige, s'appliquent uniquement à des connecteurs blindés.

L'affaiblissement de couplage doit être réalisé selon l'ISO/IEC 11801 Am2 pour les valeurs limites et les méthodes d'essai, sur la plage de fréquences comprises entre 100 MHz et 500 MHz.

6 Construction et qualification des fixations directes (DFP et DFJ)

6.1 Généralités

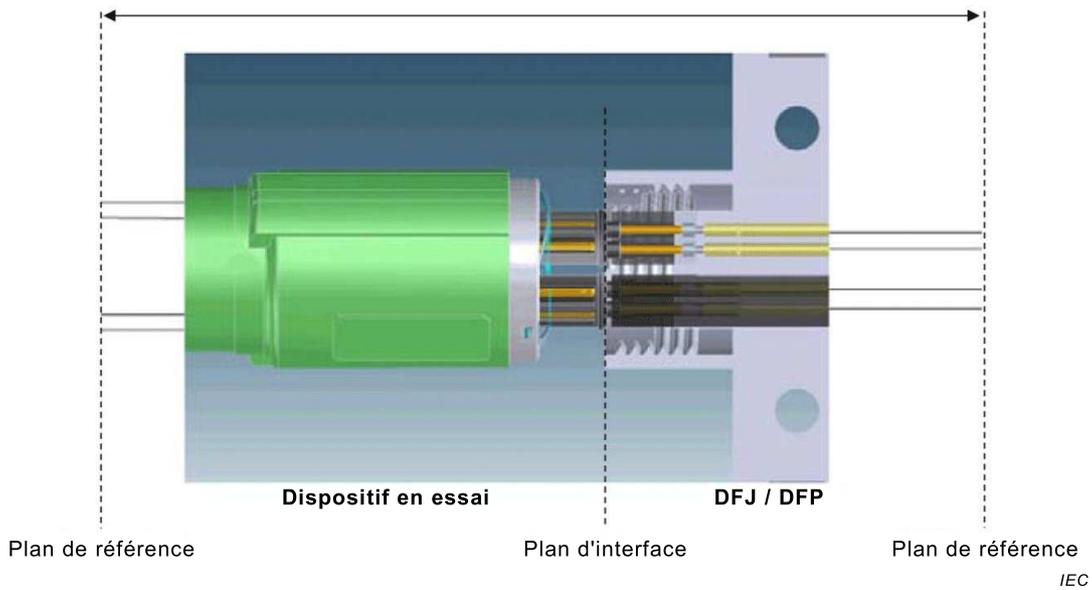
Il est nécessaire d'utiliser des fixations directes appropriées pour qualifier des connecteurs M12.

Le présent article décrit la construction, la qualification et les exigences pour des fixations directes en vérifiant les performances du matériel de connexion.

Pour les besoins de la présente norme, une fixation directe se compose d'un assemblage répondant aux exigences dimensionnelles d'un connecteur M12 avec des contacts mâles ou femelles.

Les fixations directes doivent être qualifiées pour toutes les exigences indiquées en 5.4 (affaiblissement paradiaphonique), en 5.5 (affaiblissement télédiaphonique), en 5.2 (perte d'insertion) et en 5.3 (affaiblissement de réflexion).

Il convient de rapprocher au maximum les plans de référence du plan d'interface comme indiqué à la Figure 25.



NOTE Interface d'accouplement conforme à l'IEC 61076-2-109 et deux paires uniquement.

Figure 25 – Plans de référence

6.2 Fixations directes pour dispositifs en essai

6.2.1 Exigences relatives aux fixations directes jusqu'à 100 MHz

Une fixation directe jusqu'à 100 MHz est utilisée pour effectuer les mesures de la paradiaphonie et de la télédiaphonie du dispositif en essai et peut également être utilisée pour les mesures de l'affaiblissement de réflexion du dispositif en essai. Les performances de la fixation directe sont conformes au Tableau 6. Voir l'Annexe A qui fournit un exemple et une source de fixation directe. Cette fixation doit être conforme aux exigences dimensionnelles de l'IEC 61076-2-101 et aux exigences de transmission de l'Article 5. La Figure 26 et la Figure 27 représentent un exemple de connecteur conforme à l'IEC 61076-2-101, M12, code d. La fixation directe respective (DFJ ou DFP) est compatible avec des connecteurs avec des contacts mâles ou des contacts femelles comme cela est défini par l'IEC 61076-2-101. Les fixations directes décrites à l'Annexe A sont conçues pour fournir une interface et une sortie appropriées.

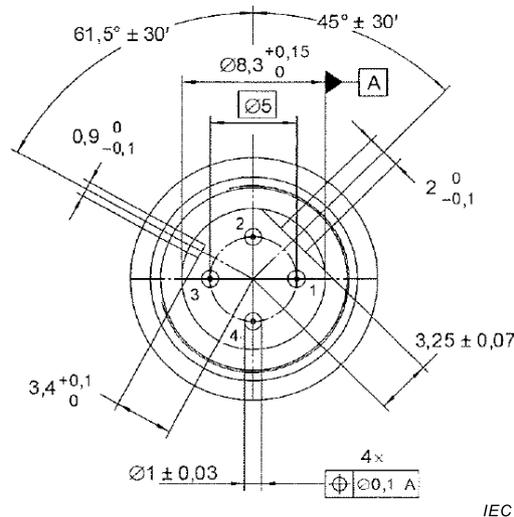
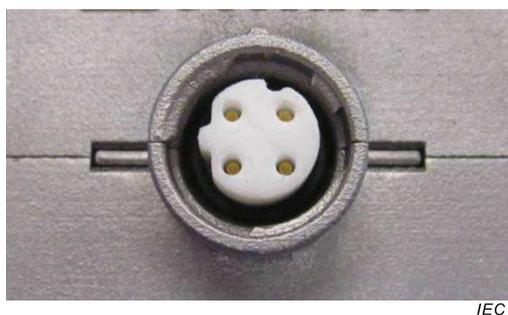


Figure 26 – Connecteur M12 à fixation directe, face d'accouplement code d



IEC

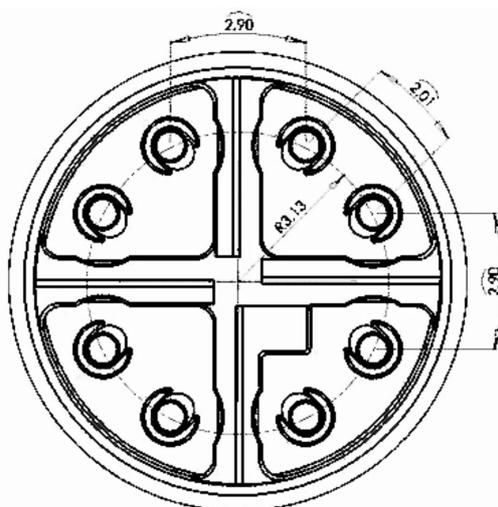
Figure 27 – Connecteur M12 à fixation directe, code d

Tableau 6 – Connecteur M12 à fixation directe, performances jusqu'à 100 MHz

Connecteur M12 à fixation directe, code d, paramètre de performances	Valeur dB
Affaiblissement paradiaphonique résiduel paire à paire	$> 103 - 20\log(f)$, 75 dB max
Affaiblissement télédiaphonique résiduel paire à paire	$> 95,1 - 20\log(f)$, 75 dB max
Affaiblissement de réflexion	$> 66 - 20\log(f)$, 40 dB max
Perte d'insertion	$0,04\sqrt{f}$, 0,1 dB max

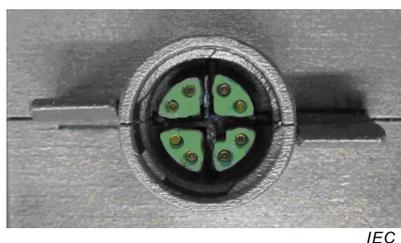
6.2.2 Exigences relatives aux fixations directes jusqu'à 500 MHz

Une fixation directe jusqu'à 500 MHz est utilisée pour effectuer les mesures de la paradiaphonie et de la télédiaphonie du dispositif en essai et peut également être utilisée pour les mesures de l'affaiblissement de réflexion du dispositif en essai. Les performances de la fixation directe sont conformes au Tableau 7. Voir l'Annexe A qui fournit un exemple et une source de fixation directe. Cette fixation doit être conforme aux exigences dimensionnelles de l'IEC 61076-2-109 et aux exigences de transmission de l'Article 5. La Figure 28 et la Figure 29 représentent un exemple de connecteur conforme à l'IEC 61076-2-109, M12, code x. La fixation directe respective (DFJ ou DFP) est compatible avec des connecteurs avec des contacts mâles ou des contacts femelles comme cela est défini par l'IEC 61076-2-109. Les fixations directes décrites à l'Annexe A sont conçues pour fournir une interface et une sortie appropriées.



IEC

Figure 28 – Connecteur M12 à fixation directe, face d'accouplement code x



IEC

Figure 29 – Connecteur M12 à fixation directe, code x

Tableau 7 – Connecteur M12 à fixation directe, performances jusqu'à 500 MHz

Connecteur M12 à fixation directe, code x, paramètre de performances	Valeur dB
Affaiblissement paradiaphonique résiduel paire à paire	$> 109 - 20\log(f)$,75 dB max
Affaiblissement télédiaphonique résiduel paire à paire	$> 103,1 - 20\log(f)$,75 dB max
Affaiblissement de réflexion	$> 74 - 20\log(f)$,40 dB max
Perte d'insertion	$0,02\sqrt{f}$, 0,1 dB max

Annexe A (normative)

Dispositif de mesure à contrôle d'impédance

A.1 Généralités

Un dispositif de mesure à contrôle d'impédance se compose d'un dispositif conçu pour fournir des interconnexions contrôlées au dispositif en essai. Le dispositif fournit une interface conçue pour maintenir une impédance correcte de mode différentiel et de mode commun au niveau des paires dans la ligne de transmission lorsqu'elles sont séparées pour permettre l'interfaçage entre le dispositif en essai et les interfaces des ports de l'équipement d'essai. Les interfaces des ports de l'équipement d'essai, généralement des ports coaxiaux de 50 Ω , sont encore conditionnées par l'utilisation de transformateurs de symétriseurs présentant un port symétrique de 100 Ω vers le dispositif en essai. L'interface, qui exerce un contrôle de l'impédance des fils symétriques du dispositif en essai, fournit également un blindage des paires qui réduit les couplages paire à paire indésirables. L'interface est raccordée électriquement à la référence de terre du symétriseur et de l'instrument par des connecteurs à broche et support. Un exemple de dispositif, présenté à la Figure A.1 et à la Figure A.2, fournit des connexions à broche et support au dispositif en essai. Des adaptateurs de sortie qui fournissent des charges résistives de mode différentiel plus mode commun pour les ports inactifs sont prévus pour réaliser des mesures d'affaiblissement paradiaphonique et télédiaphonique lorsqu'une précision maximale est exigée.

NOTE Les photos sont données à des fins d'illustration uniquement et ne signifient nullement que l'IEC les approuve ou les recommande.

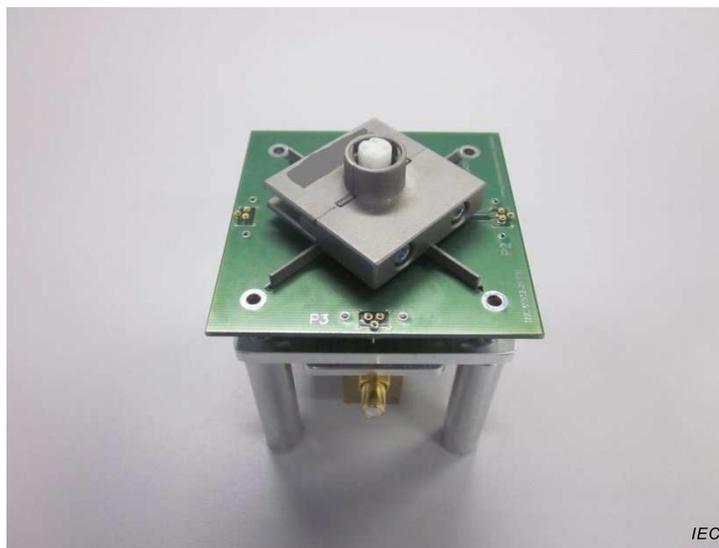


Figure A.1 – Assemblage de têtes d'essai, M12, code d, avec symétriseurs montés

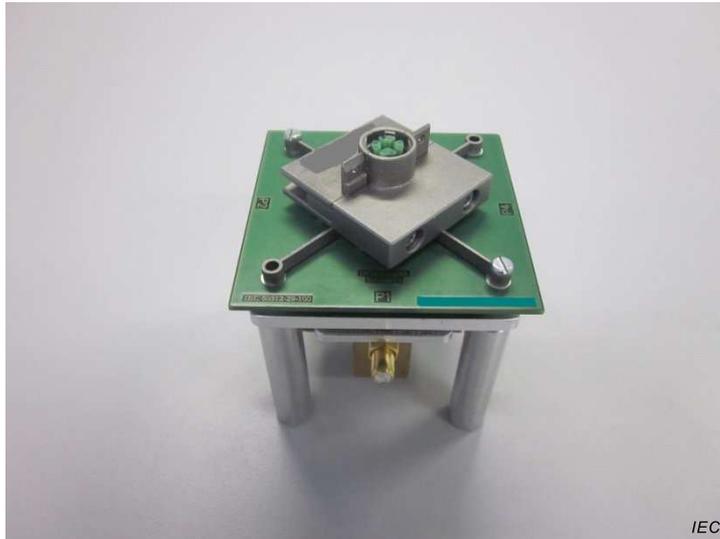


Figure A.2 – Assemblage de têtes d'essai, M12, code x, avec symétriseurs montés

Des normes d'étalonnage, utilisant les mêmes matériaux et le même positionnement, sont fournies. Le plan d'étalonnage se situe ainsi sur la partie supérieure (extrémité ouverte) des supports de la plaque de montage de l'adaptateur. Une plaque de montage équipée d'interfaces de support fournit une connexion directe aux symétriseurs d'essai. Deux dispositifs de ce type fournissent 8 ports d'essai pour la connexion aux extrémités proches et éloignées d'un dispositif en essai à quatre paires.

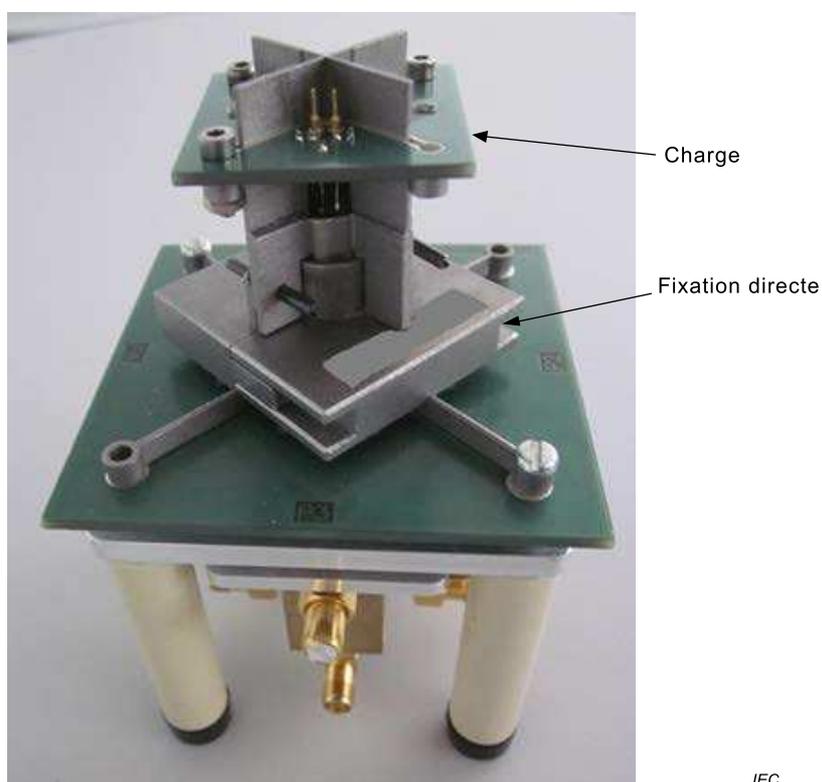
Les interfaces du symétriseur sont conçues pour s'accoupler aux symétriseurs BH electronics 040-0192.

Des composants alternatifs équivalents peuvent aussi être utilisés.

Des évolutions techniques des dispositifs d'essai sont attendues. Ces nouveaux dispositifs peuvent remplacer ou compléter les dispositifs spécifiés et recommandés dans la présente norme, s'ils satisfont aux exigences correspondantes spécifiées dans la présente norme.

A.2 Charge

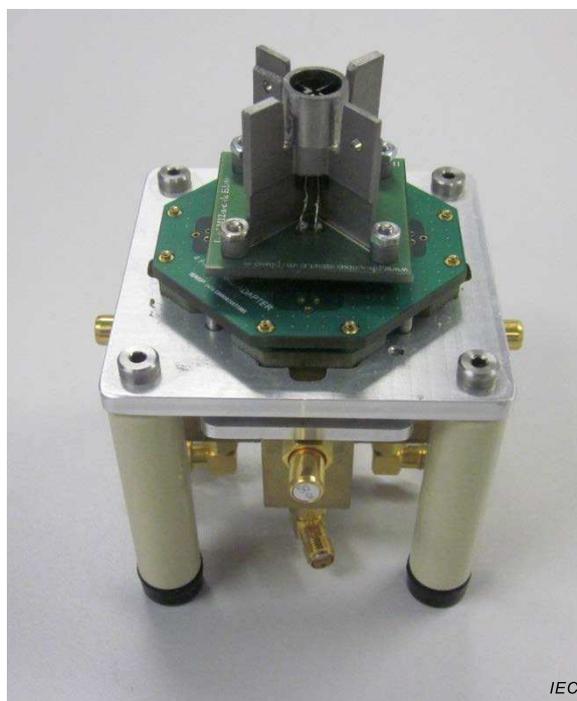
La charge est nécessaire pour évaluer le connecteur M12 à fixation directe. La Figure A.3 représente l'évaluation du connecteur M12 à fixation directe.



IEC

Figure A.3 – Assemblage de têtes d’essai, connecteur M12 accouplé à la charge M12

Dans l'état connecté, les exigences de la fixation directe sont indiquées dans le Tableau 6 pour les connecteurs M12, code d et dans le Tableau 7 pour les connecteurs M12 code x. Les exigences concernant les charges sont mesurées dans le sens inverse. Les Figures A.4, A.5 et A.6 représentent le montage d'essai pour évaluer les charges.



IEC

Figure A.4 – Dispositif d’essai de symétriseur avec la charge M12



Figure A.5 – Charge M12, code x

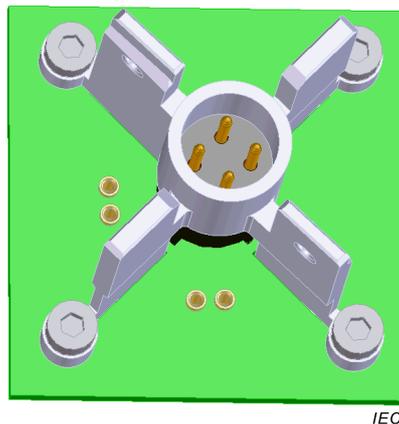


Figure A.6 – Charge M12, code d

Le Tableau A.1 et le Tableau A.2 donnent les exigences concernant les charges lorsqu'elles sont mesurées dans le sens inverse.

Tableau A.1 – Charge M12, performances jusqu'à 500 MHz

Charge M12, jusqu'à 500 MHz, paramètre de performances	Valeur dB
Affaiblissement paradiaphonique résiduel paire à paire	$> 104 - 20\log(f)$,75 dB max
Affaiblissement de réflexion	$> 71 - 20\log(f)$,40 dB max

Tableau A.2 – Charge M12, performances jusqu'à 100 MHz

Charge M12, jusqu'à 100 MHz, paramètre de performances	Valeur dB
Affaiblissement paradiaphonique résiduel paire à paire	$103 - 20\log(f)$,75 dB max
Affaiblissement de réflexion	$> 63 - 20\log(f)$,40 dB max

A.3 Composants supplémentaires pour la connexion à un analyseur de réseau

Des câbles de type SMA, des connecteurs, des sorties SMA 50 Ω , sont nécessaires pour réaliser l'interface entre les ports coaxiaux des symétriseurs et les ports de l'analyseur de réseau, comme indiqué à la Figure A.7 et à la Figure A.8. Des supports de montage sont recommandés pour maintenir les assemblages d'interfaces d'essai dans une position adaptée à la fixation des connecteurs en essai. Un ruban en feuille avec un adhésif conducteur, 3M 5012C ou équivalent, peut être utilisé lorsqu'un blindage supplémentaire est nécessaire pour différents composants. Des composants alternatifs équivalents peuvent aussi être utilisés. Ces informations ne signifient nullement que l'IEC approuve ou recommande ces composants.



Figure A.7 – Tête d'essai représentant un blindage entre des symétriseurs

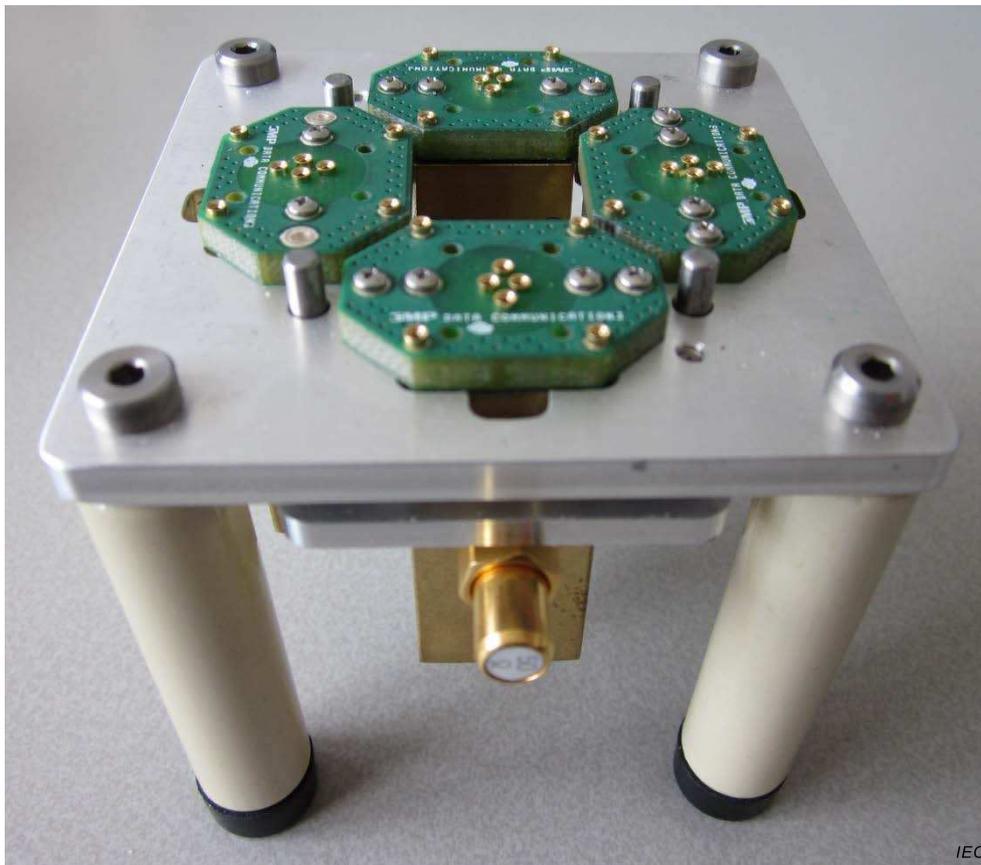
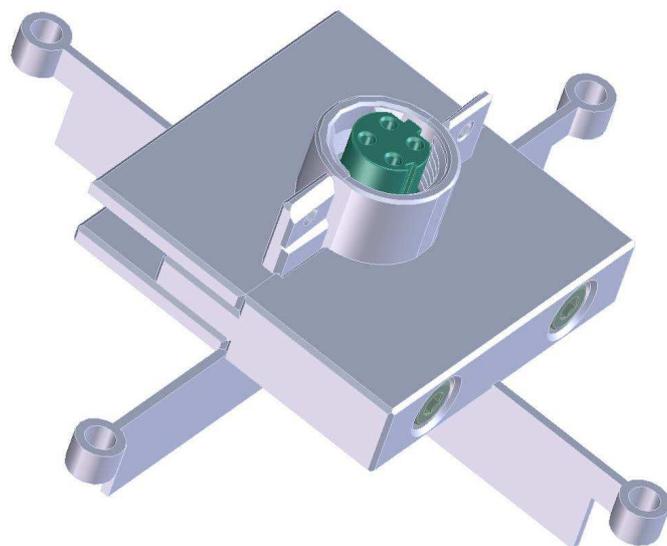


Figure A.8 – Assemblage de dispositif d'essai de symétriseur

A.4 Fixation directe

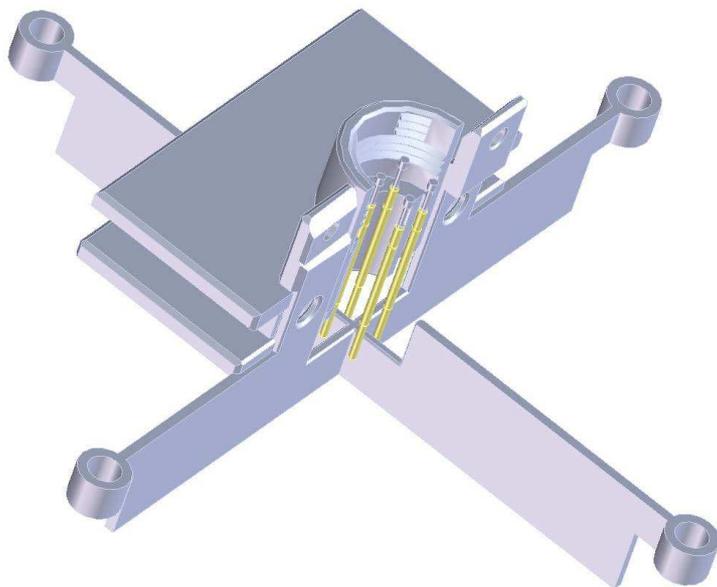
Une fixation destinée à la mesure directe des propriétés d'un dispositif en essai possède des sondes blindées reliées en contact avec le connecteur avec des contacts mâles (DFP) ou femelles (DFJ). Une construction de DFJ est représentée aux Figures A.9 à A.13.

Le dispositif possède des niveaux de diaphonie et d'affaiblissement de réflexion conformes au Tableau 6. Les mesures de perte d'insertion, d'affaiblissement paradiaphonique, d'affaiblissement télédiaphonique, d'affaiblissement de réflexion, de perte de conversion transverse et de perte de transfert de conversion transverse peuvent être réalisées à l'aide de cette fixation.



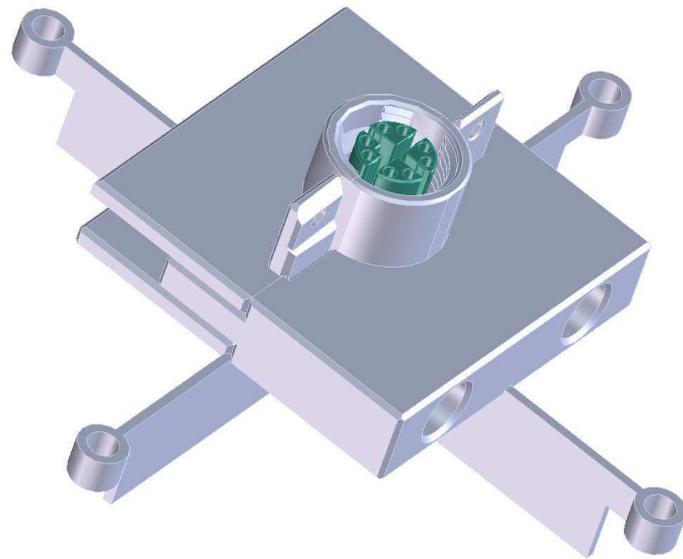
IEC

**Figure A.9 – Connecteur M12 à fixation directe, code d, (DFJ)
pour dispositif en essai avec contacts mâles**



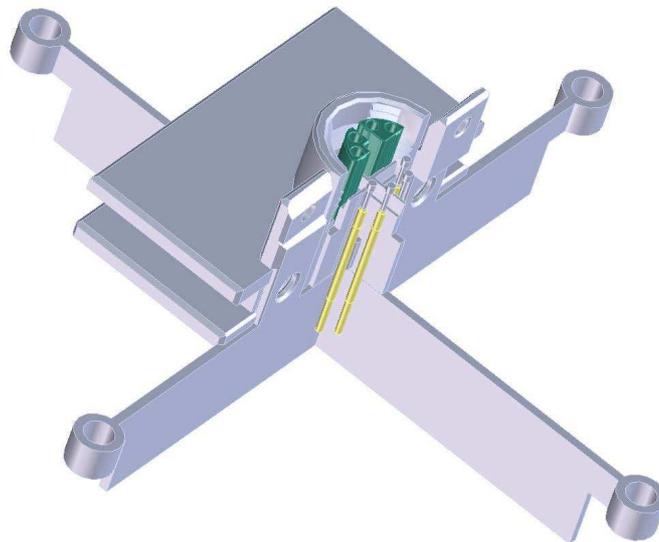
IEC

**Figure A.10 – Connecteur M12 à fixation directe, code d, (DFJ)
pour dispositif en essai avec contacts mâles**



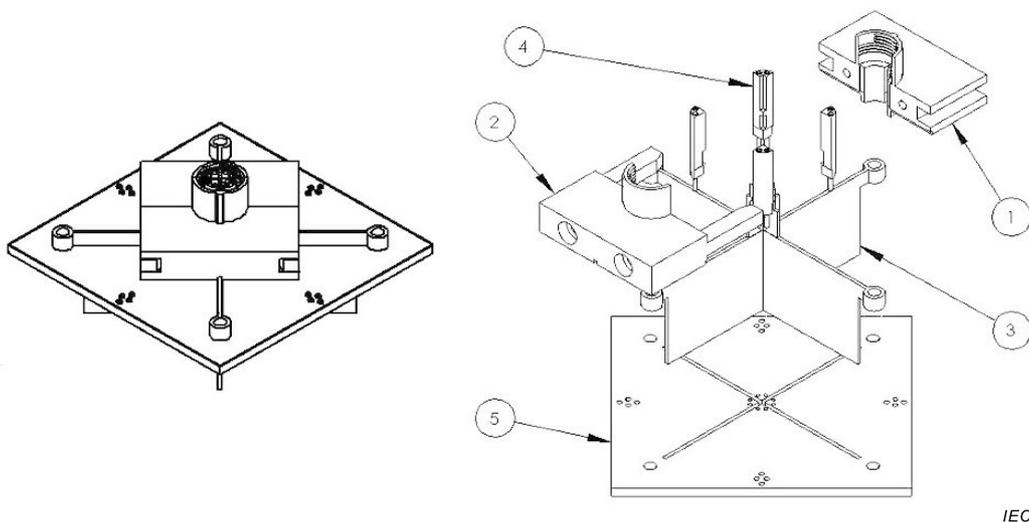
IEC

Figure A.11 – Connecteur M12 à fixation directe, code x, (DFJ) pour dispositif en essai avec contacts mâles



IEC

Figure A.12 – Connecteur M12 à fixation directe, code x, (DFJ) pour dispositif en essai avec contacts mâles – Vue en coupe



Légende

- 1) Demi-enveloppe en métal
- 2) Demi-enveloppe en métal
- 3) Croix de blindage
- 4) Aiguilles de contact
- 5) Fixation directe au circuit imprimé

Figure A.13 – Vue éclatée de la fixation directe (DFJ)

A.5 Configuration de mesure 1 du matériel de connexion

La Figure A.14 montre un exemple de configuration de mesure pour un matériel de connexion.

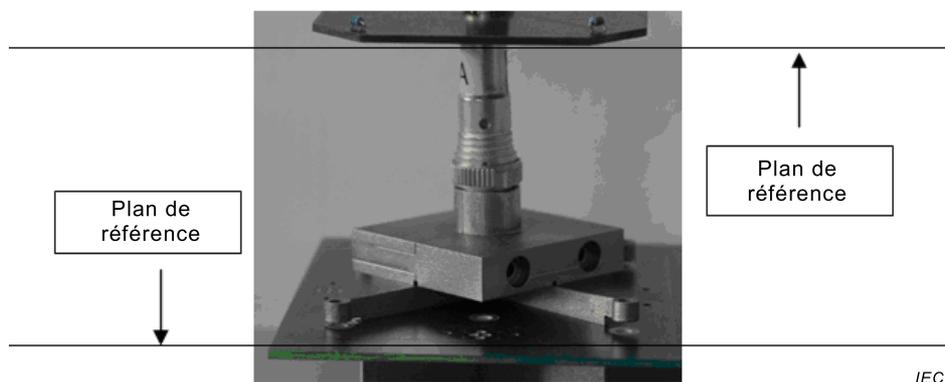


Figure A.14 – Exemple de configuration de mesure pour un matériel de connexion

A.6 Connexions de dispositif en essai utilisant des ensembles de cartes imprimées à embase

Une des méthodes pour minimiser les effets des fils d'interconnexion consiste à utiliser des ensembles de cartes imprimées à embase dédiées pour réaliser la connexion entre le dispositif en essai et l'équipement d'essai. Ces cartes imprimées à embase incluent des connexions permettant de faire l'interface avec le port d'essai et également des connexions réalisant l'interface avec les bornes du dispositif en essai ou les fentes de connexions autodénudantes.

NOTE Les sources de référence sont présentées à l'Annexe B.

Annexe B (informative)

Source de référence

B.1 Composants du dispositif d'essai

Tous les composants du dispositif d'essai référencés dans l'Annexe A, y compris la fixation directe DFJ ou DFP, peuvent être obtenus auprès de: Phoenix Contact GmbH Co.KG, Flachmarktstrasse 8, D-32825 Blomberg, Allemagne, www.phoenixcontact.com. Ces dispositifs d'essai sont fournis sous forme de kit comprenant des plaques d'adaptateur, des plaques de montage de symétriseur, des symétriseurs et des références d'étalonnage.

NOTE Les sources de référence sont données à des fins d'illustration uniquement et ne signifient nullement que l'IEC les approuve ou les recommande.

Annexe C (informative)

Connecteurs apparentés

Les méthodes d'essai décrites dans la présente norme s'appliquent spécialement aux connecteurs conformes au Tableau C.1.

Tableau C.1 – Connecteurs apparentés

Norme sur le connecteur	Pôles	Codage	Fréquence max. MHz
IEC 61076-2-101	4	D	100
IEC 61076-2-109	8	X	500
IEC PAS 61076-2-110	8	H	500

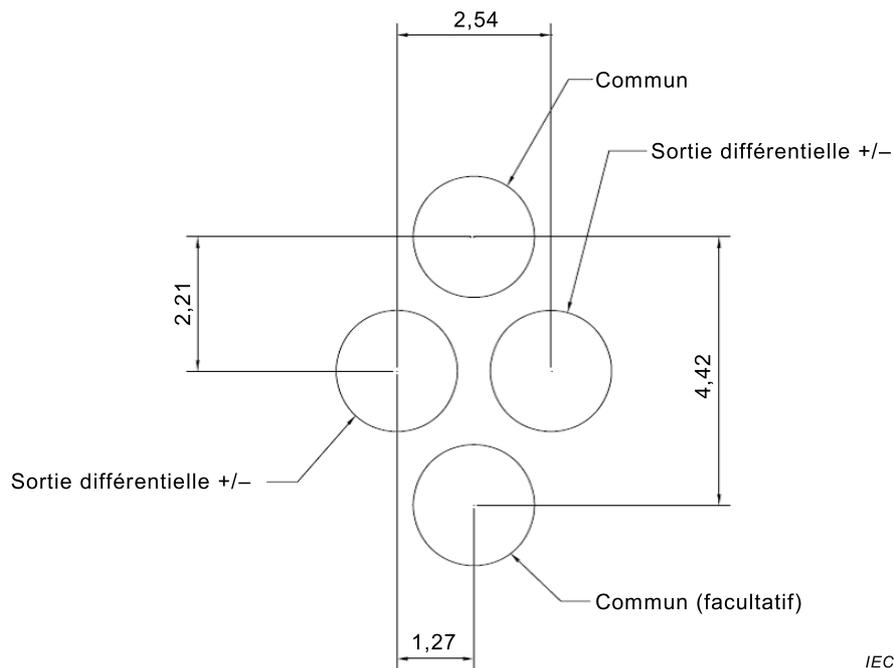
Annexe D (informative)

Interface avec les dispositifs d'essai

Pour faciliter le raccordement des dispositifs d'essai, il est recommandé d'utiliser une interface entre broches et support, dont les dimensions sont données à la Figure D.1 et à la Figure D.2. Il est recommandé d'utiliser des supports plaqués or.

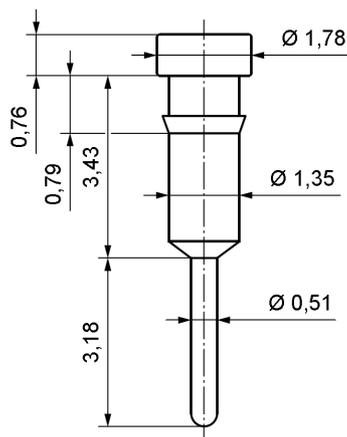
NOTE Référence de pièce Mill-Max 1001-0-15-15-30-27-04-0 comme indiqué à la Figure D.2. Des composants alternatifs équivalents peuvent aussi être utilisés. Ces informations ne signifient nullement que l'IEC approuve ou recommande ces composants.

Dimensions en mm



IEC

Figure D.1 – Configuration d'une interface de symétriseur d'essai

Dimensions en mm

IEC

Figure D.2 – Exemple de dimensions de broche et de support

Exemple de description de support:

Mill-Max 1001-0-15-15-30-27-04-0

Matériau: alliage de laiton

Contact: 30 = contact 4 doigts normalisé

Matériau de contact: cuivre au béryllium

Placage de l'enveloppe: 0,254 μm (10 μm) de nickel recouvert d'or

Placage du contact: 0,762 μm (30 μm) de nickel recouvert d'or

Trou de montage: 1,45 mm (0,057 pouces) inséré à force

Bibliographie

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

IEC PAS 61076-2-110, *Connectors for electronic equipment – Product requirements – Part 2-110: Circular connectors – Detail specification for circular connectors M12 x 1 with screw-locking, for high speed Ethernet and high speed data communication with frequencies up to 500 MHz and 10 gigabits/s* (disponible en anglais uniquement)

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 IEC 60603-7 – Essais 27a à 27g*

IEC 61156 (toutes les parties), *Câbles multiconducteurs à paires symétriques et quartes pour transmissions numériques*

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

3, rue de Varembé
PO Box 131
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel: + 41 22 919 02 11
Fax: + 41 22 919 03 00
info@iec.ch
www.iec.ch