

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

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

**Câbles multiconducteurs à paires symétriques et quartes pour transmissions
numériques –
Partie 1: Spécification générique**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61156-1:2007



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2007 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 la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

Si vous avez des questions sur le copyright de la CEI ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de la CEI de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland
Email: inmail@iec.ch
Web: 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.

- Catalogue of IEC publications: www.iec.ch/searchpub

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 It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

- IEC Just Published: www.iec.ch/online_news/justpub

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

- Electropedia: www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary online.

- Customer Service Centre: www.iec.ch/webstore/custserv

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please visit the Customer Service Centre FAQ or contact us:

Email: csc@iec.ch

Tel.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

A propos de la CEI

La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) 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 CEI

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

- Catalogue des publications de la CEI: www.iec.ch/searchpub/cur_fut-f.htm

Le Catalogue en-ligne de la CEI vous permet d'effectuer des recherches en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Il donne aussi des informations sur les projets et les publications retirées ou remplacées.

- Just Published CEI: www.iec.ch/online_news/justpub

Restez informé sur les nouvelles publications de la CEI. Just Published détaille deux fois par mois les nouvelles publications parues. Disponible en-ligne et aussi par email.

- Electropedia: www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne au monde de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International en ligne.

- Service Clients: www.iec.ch/webstore/custserv/custserv_entry-f.htm

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions, visitez le FAQ du Service clients ou contactez-nous:

Email: csc@iec.ch

Tél.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00



IEC 61156-1

Edition 3.0 2007-06

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

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

**Câbles multiconducteurs à paires symétriques et quartes pour transmissions
numériques –
Partie 1: Spécification générique**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX



ICS 33.120.20

ISBN 2-8318-9638-X

CONTENTS

FOREWORD.....	5
1 Scope.....	7
2 Normative references	7
3 Terms and definitions	9
4 Installation considerations	12
5 Materials and cable construction	12
5.1 General remarks.....	12
5.2 Cable construction	12
5.2.1 Conductor.....	13
5.2.2 Insulation.....	13
5.2.3 Cable element	13
5.2.4 Cable make-up	14
5.2.5 Screening of the cable core	14
5.2.6 Sheath.....	14
5.2.7 Identification.....	15
5.2.8 Finished cable	15
6 Characteristics and requirements	15
6.1 General remarks – Test configurations	15
6.2 Electrical characteristics and tests	16
6.2.1 Conductor resistance.....	16
6.2.2 Resistance unbalance	16
6.2.3 Dielectric strength	16
6.2.4 Insulation resistance.....	16
6.2.5 Mutual capacitance.....	17
6.2.6 Capacitance unbalance to earth	17
6.2.7 Transfer impedance.....	17
6.2.8 Coupling attenuation.....	17
6.2.9 Current-carrying capacity.....	17
6.3 Transmission characteristics	18
6.3.1 Velocity of propagation (phase velocity)	18
6.3.2 Phase delay and differential delay (delay skew)	18
6.3.3 Attenuation	19
6.3.4 Unbalance attenuation.....	21
6.3.5 Near-end crosstalk	26
6.3.6 Far-end crosstalk.....	28
6.3.7 Alien (exogenous) near-end crosstalk.....	31
6.3.8 Alien (exogenous) far-end crosstalk.....	35
6.3.9 Alien (exogenous) crosstalk of bundled cables	35
6.3.10 Mean characteristic impedance and input impedance	36
6.3.11 Return loss.....	37
6.4 Mechanical and dimensional characteristics and requirements	38
6.4.1 Measurement of dimensions	38
6.4.2 Elongation at break of the conductor	38
6.4.3 Tensile strength of the insulation	38
6.4.4 Elongation at break of the insulation.....	38

6.4.5	Adhesion of the insulation to the conductor	38
6.4.6	Elongation at break of the sheath	38
6.4.7	Tensile strength of the sheath	38
6.4.8	Crush test of the cable	38
6.4.9	Impact test of the cable	39
6.4.10	Bending under tension.....	39
6.4.11	Repeated bending of the cable	41
6.4.12	Tensile performance of the cable	43
6.4.13	Shock test of the cable	43
6.4.14	Bump test of the cable.....	43
6.4.15	Vibration test of the cable	43
6.5	Environmental characteristics	43
6.5.1	Shrinkage of the insulation	43
6.5.2	Wrapping test of the insulation after thermal ageing	43
6.5.3	Bending test of the insulation at low temperature.....	43
6.5.4	Elongation at break of the sheath after ageing.....	43
6.5.5	Tensile strength of the sheath after ageing	43
6.5.6	Sheath pressure test at high temperature	44
6.5.7	Cold bend test of the cable	44
6.5.8	Heat shock test.....	44
6.5.9	Damp heat steady state	44
6.5.10	Solar radiation	45
6.5.11	Solvents and contaminating fluids.....	45
6.5.12	Salt mist and sulphur dioxide	45
6.5.13	Water immersion	45
6.5.14	Hygroscopicity	45
6.5.15	Wicking	45
6.5.16	Flame propagation characteristics of a single cable	46
6.5.17	Flame propagation characteristics of bunched cables	46
6.5.18	Halogen gas evolution	46
6.5.19	Smoke generation	46
6.5.20	Toxic gas emission	46
6.5.21	Integrated fire test method for cables in environmental air handling spaces.....	46
	Bibliography.....	47
	Figure 1 – Test set-up for the measurement of attenuation, velocity of propagation and phase delay	19
	Figure 2 – Test set-up for the measurement of the differential-mode loss of the baluns	23
	Figure 3 – Test set-up for the measurement of the common-mode loss of the baluns.....	23
	Figure 4 – Test set-up for unbalance attenuation at near end (<i>TCL</i>).....	25
	Figure 5 – Test set-up for unbalance attenuation at far end (<i>TCTL</i>)	25
	Figure 6 – Test set-up for near-end crosstalk.....	27
	Figure 7 – Test set-up for far-end crosstalk.....	29
	Figure 8 – Test set-up for alien (exogenous) near-end crosstalk	32
	Figure 9 – Test assembly cross-section; six cables around one cable	34
	Figure 10 – Test assembly layout; six cables around one cable	34

Figure 11 – Test assembly cross-section; four parallel cables	35
Figure 12 – Test assembly on drum; four parallel cables.....	35
Figure 13 – Test set-up for mean characteristic impedance, input impedance and return loss	36
Figure 14 – U-bend test configuration	40
Figure 15 – S-bend test configuration	40
Figure 16 – Repeated bending test configuration	42
Figure 17 – Wicking test configuration	46
Table 1 – Test balun performance characteristics	22

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61156-1:2007

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**MULTICORE AND SYMMETRICAL PAIR/QUAD CABLES
FOR DIGITAL COMMUNICATIONS –****Part 1: Generic specification**

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 provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 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 61156-1 has been prepared by subcommittee 46C: Wires and symmetric cables, of IEC technical committee 46: Cables, wires, waveguides, r.f. connectors, r.f. and microwave passive components and accessories.

The cables are classified in the study of generic cabling for information technology being produced by ISO/IEC JTC1/SC 25.

This third edition cancels and replaces the second edition published in 2002 and it includes its Corrigendum 1 (2004). This edition constitutes a technical revision.

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

- a) inclusion of definitions and test methods in support of the MICE table in ISO 24702;
- b) inclusion of definitions and test methods in support of new cable categories 6_A and 7_A;
- c) inclusion of definitions in support of PoEP.

This bilingual version, published in 2008-03, corresponds to the English version.

The text of this standard is based on the second edition, its Amendment 3 and on the following documents:

FDIS	Report on voting
46C/815/FDIS	46C/823/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.

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

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

The list of all the parts of the IEC 61156 series, under the general title *Multicore and symmetrical pair/quad cables for digital communication*, can be found on the IEC website.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the maintenance result 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.

The contents of the corrigendum of August 2015 have been included in this copy.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61156-1:2007

MULTICORE AND SYMMETRICAL PAIR/QUAD CABLES FOR DIGITAL COMMUNICATIONS –

Part 1: Generic specification

1 Scope

This part of IEC 61156 is applicable to communication systems such as ISDN, local area networks and data communication systems and specifies the definitions, requirements and test methods of multicore, symmetrical pair and quad cables.

This standard is also applicable to cables used for customer premises wiring.

2 Normative references

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

IEC 60028, *International standard of resistance for copper*

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

IEC 60068-2-1, *Environmental testing – Part 2: Tests – Tests A: Cold*

IEC 60169-22, *Radio-frequency connectors – Part 22: RF two-pole bayonet coupled connectors for use with shielded balanced cables having twin inner conductors (Type BNO)*

IEC 60189-1:1986, *Low-frequency cables and wires with PVC insulation and PVC sheath – Part 1: General test and measuring methods*¹⁾

IEC 60304, *Standard colours for insulation for low-frequency cables and wires*

IEC 60332-1-1, *Tests on electric and optical fibre cables under fire conditions – Part 1-1: Test for vertical flame propagation for a single insulated wire or cable – Apparatus*

IEC 60332-2-1, *Tests on electric and optical fibre cables under fire conditions – Part 2-1: Test for vertical flame propagation for a single small insulated wire or cable – Apparatus*

IEC 60332-3-10, *Tests on electric cables under fire conditions – Part 3-10: Test for vertical flame spread of vertically-mounted bunched wires or cables – Apparatus*

IEC 60332-3-24, *Tests on electric cables under fire conditions – Part 3-24: Test for vertical flame spread of vertically-mounted bunched wires or cables – Category C*

IEC 60708, *Low-frequency cables with polyolefin insulation and moisture barrier polyolefin sheath*

¹⁾ There exists a 2007 edition of 60189-1.

IEC 60754-2, *Test on gases evolved during combustion of electric cables – Part 2: Determination of the degree of acidity of gases evolved during the combustion of materials taken from electric cables by measuring pH and conductivity*

IEC 60794-1-2:2003, *Optical fibre cables – Part 1-2: Generic specification – Basic optical cable test procedures*

IEC 60811-1-1:1993, *Common test methods for insulating and sheathing materials of electric cables and optical cables – Part 1: Methods for general application – Section 1: Measurement of thickness and overall dimensions – Tests for determining the mechanical properties*

IEC 60811-1-2:1985, *Common test methods for insulating and sheathing materials of electric and optical cables – Part 1: Methods for general application – Section Two: Thermal ageing methods*

IEC 60811-1-3:1993, *Common test methods for insulating and sheathing materials of electric and optical cables – Part 1: Methods for general application – Section Three: Methods for determining the density – Water absorption tests – Shrinkage test*

IEC 60811-1-4:1985, *Common test methods for insulating and sheathing materials of electric and optical cables – Part 1: Methods for general application – Section Four: Test at low temperature*

IEC 60811-3-1:1985, *Common test methods for insulating and sheathing materials of electric and optical cables – Part 3: Methods specific to PVC compounds – Section One: Pressure test at high temperature – Tests for resistance to cracking*

IEC 60811-4-2:2004, *Insulating and sheathing materials of electric cables – Common test methods – Part 4-2: Methods specific to polyethylene and polypropylene compounds – Tensile strength and elongation at break after conditioning at elevated temperature – Wrapping test after conditioning at elevated temperature – Wrapping test after thermal ageing in air – Measurement of mass increase – Long-term stability test – Test method for copper-catalyzed oxidative degradation*

IEC 61034 (all parts), *Measurement of smoke density of cables burning under defined conditions*

IEC 61196-1-105, *Coaxial communication cables – Part 1-105: Electrical test methods – Test for withstand voltage of cable dielectric*

IEC 62012-1:2004, *Multicore and symmetrical pair/quad cables for digital communications to be used in harsh environments – Part 1: Generic specification*

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

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

IEC 62153-4-5, *Metallic communication cables test methods – Part 4-5: Electromagnetic compatibility (EMC) – Coupling or screening attenuation – Absorbing clamp method*

IEC 62255 (all parts), *Multicore and symmetrical pair/quad cables for broadband digital communications (high bit rate digital access telecommunication networks) – Outside plant cables*

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

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

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions, as well as those given in IEC 60050-726, apply.

3.1

resistance unbalance

difference in resistance of the conductors within a pair or one side of a quad or between pairs or quads

NOTE Resistance unbalance is expressed as a percentage (%).

3.2

capacitance unbalance to earth

arithmetic difference of the capacitance to earth of the conductors of a pair or one side of a quad

NOTE Capacitance unbalance is expressed in pF/m.

3.3

mutual capacitance

electrical charge storage parameter of a pair of conductors (or with respect to the side of a quad)

NOTE 1 Mutual capacitance is one of the four primary transmission line parameters: mutual capacitance, mutual inductance, resistance and conductance.

NOTE 2 Mutual capacitance is expressed in pF/m.

3.4

velocity of propagation (phase velocity)

speed at which a sinusoidal signal propagates on a pair in the cable

NOTE Velocity of propagation is expressed in m/s.

3.5

delay (phase delay)

time duration between the instants that the wave front of a sinusoidal travelling wave, defined by a specified phase, passes two given points in a cable

NOTE Phase delay is expressed in s/m.

3.6

differential phase delay (skew)

difference in phase delay between any two pairs in the cable

NOTE Differential phase delay (skew) is expressed in s.

3.7

attenuation

decrease in magnitude of power of a signal that propagates along a pair of a cable

NOTE Attenuation is expressed in dB/m.

3.8

unbalance attenuation

magnitude of power of a signal that propagates between the common-mode circuit and the differential-mode circuit of a cable

NOTE Unbalance attenuation is expressed in dB.

3.9

near-end crosstalk

NEXT

magnitude of the signal power coupling from a disturbing pair at the near end to a disturbed pair measured at the near end

NOTE Near-end crosstalk is expressed in dB.

3.10

far-end crosstalk

FEXT

magnitude of the signal power coupling from a disturbing pair at the near end to a disturbed pair measured at the far end

NOTE Far-end crosstalk is expressed in dB.

3.11

power sum of crosstalk

PS

summation of the crosstalk power from all disturbing pairs into a disturbed pair

NOTE 1 The summation is applicable to near-end and far-end crosstalk.

NOTE 2 The power sum of crosstalk is expressed in dB.

3.12

attenuation to crosstalk ratio, near-end

ACR-N

arithmetic difference between the near-end crosstalk and the attenuation of the disturbed pair

NOTE Attenuation to crosstalk ratio, near-end, is expressed in dB.

3.13

attenuation to crosstalk ratio, far-end

ACR-F

arithmetic difference between the far-end crosstalk and the attenuation of the disturbed pair

NOTE Attenuation to crosstalk ratio, far-end, is expressed in dB.

3.14

alien (exogenous) near-end crosstalk

ANEXT

near-end crosstalk where the disturbing and disturbed pairs are contained in different cables

NOTE Alien (exogenous) near-end crosstalk is expressed in dB.

3.15

alien (exogenous) far-end crosstalk

AFEXT

far-end crosstalk where the disturbing and disturbed pairs are contained in different cables

NOTE Alien (exogenous) far-end crosstalk is expressed in dB.

3.16**power sum of alien (exogenous) crosstalk** **PSA**

summation of the alien (exogenous) crosstalk power from all disturbing pairs into a disturbed pair in different cables

NOTE 1 The summation is applicable to near-end and far-end alien (exogenous) crosstalk.

NOTE 2 The power sum of alien (exogenous) crosstalk is expressed in dB.

3.17**characteristic impedance** **Z_C**

impedance at the input of a homogeneous line of infinite length

NOTE 1 The asymptotic value at high frequencies is denoted as Z_∞ .

NOTE 2 The characteristic impedance of a homogeneous cable pair is given by the quotient of a voltage wave and current wave which are propagating in the same direction, either forwards or backwards.

NOTE 3 Characteristic impedance is expressed in Ω .

3.18**mean characteristic impedance** **Z_{Cm}**

impedance calculated as the geometric mean of the product of the impedances obtained at the input terminals of a cable pair when the far end is terminated by an open- and short-circuit load

NOTE Mean characteristic impedance is expressed in Ω .

3.19**input impedance** **Z_{in}**

impedance at the input terminals of a cable pair

NOTE 1 The pair is terminated with its reference impedance, Z_R (system nominal impedance), at the near and far end. See IEC/TR 62152.

NOTE 2 Input impedance is expressed in Ω .

3.20**fitted input impedance**

impedance calculated from a least squares function fitting algorithm

NOTE Fitted input impedance is expressed in Ω .

3.21**return loss** **RL**

ratio of reflected power to input power at the input terminals of a cable pair

NOTE Return loss is expressed in dB.

3.22**balun**

balanced to unbalanced impedance matching transformer

3.23**bundled cable**

grouping or assembly of several individual cables that are systematically laid up

NOTE Bundled cables are also referred to as speed-wrap, whip, or loomed cables.

3.24

current-carrying capacity

capacity of a conductor that results in a specified increase of the surface temperature of the conductor beyond the ambient temperature

NOTE The conductor may be bare, insulated or enclosed in a cable.

3.25

hygroscopic

characteristic of a material to absorb moisture from the atmosphere

3.26

wicking

longitudinal flow of a liquid in a material due to capillary action

3.27

coupling attenuation

ratio between the transmitted power through the conductors and the maximum radiated peak power, conducted and generated by the exited common-mode currents

4 Installation considerations

The cables shall be designed to meet the installation conditions encountered for each area as follows.

a) Equipment cables

The cables are used between work stations and peripheral equipment (for example, printer).

b) Work area cables

The cables are used between the work station and the communication outlets.

c) Horizontal floor wiring cables

The cables are used between the work area communication outlet and the communication closet.

d) Riser cables and building back-bone cables

The cables are used for horizontal installation or vertically between floors.

e) Campus cables

These cables are used to interconnect buildings and shall be suitable for outdoor installation. The cables should be sheathed and protected in accordance with IEC 62255.

5 Materials and cable construction

5.1 General remarks

The choice of materials and cable construction shall be suitable for the intended application and installation of the cable. Particular care shall be taken to meet any special requirements for EMC (Electromagnetic Compatibility) or fire performance.

5.2 Cable construction

The cable construction shall be in accordance with the details and dimensions given in the relevant detail specification.

5.2.1 Conductor

The conductor shall consist of annealed copper, uniform in quality and free from defects. The properties of the copper shall be in accordance with IEC 60028.

The conductor may be either solid or stranded. The solid conductor shall be circular in section and may be plain or metal-coated. The solid conductor shall be drawn in one piece. Joints in the solid conductor are permitted, provided that the breaking strength of a joint is not less than 85 % of the breaking strength of the unjointed solid conductor.

The stranded conductor shall consist of strands circular in section and assembled without insulation between them by concentric stranding or bunched.

NOTE A bunched strand is not recommended for insulation displacement connection (IDC) application.

The individual strands of the conductor may be plain or metal-coated.

Joints in individual strands are permitted provided that the tensile strength of a joint is not less than 85 % of the breaking strength of the unjointed individual strand. Joints in the complete stranded conductor are not permitted unless allowed and specified in the relevant detail specification.

The conductor of the work area and equipment cables may consist of one or more elements of thin copper or copper alloy tape which shall be applied spirally over a fibrous thread. Joints in the complete element are not permitted.

5.2.2 Insulation

The conductor insulation is composed of one or more suitable dielectric materials. The insulation may be solid, cellular or composite (for example, foam skin).

The insulation shall be continuous, having a uniform thickness.

The insulation shall be applied to fit closely to the conductor.

The insulated conductors may be identified by colours and/or additional ring markings and/or symbols achieved by the use of coloured insulation or by a coloured surface using extrusion, printing or painting. Colours shall be clearly identifiable and shall correspond reasonably with the standard colours shown in IEC 60304.

5.2.2.1 Colour code

The colour code for insulation is given in the relevant detail specification.

5.2.3 Cable element

5.2.3.1 General

The cable element is

- a pair consisting of two insulated conductors twisted together and designated wire "a" and wire "b", or
- a quad consisting of four insulated conductors twisted together and designated wire "a", wire "c", wire "b" and wire "d" in order of rotation.

The choice of the maximum average length of lay in the finished cable shall be made with respect to the specified crosstalk requirements, handling performance and the pair or quad integrity.

NOTE Forming the element with a variable lay can lead to the infrequent but acceptable occurrence of the maximum lay being longer than the specified length of lay.

5.2.3.2 Screening of the cable element

When a screen is required over the pair or quad, it may consist of the following:

- a) an aluminium tape laminated to a plastic tape;
- b) an aluminium tape laminated to a plastic tape and a metal-coated or plain copper drain wire whereby the metal tape is in contact with the drain wire;
- c) metallic braid;
- d) an aluminium tape laminated to a plastic tape and a metallic braid.

Care should be taken when putting dissimilar metals in contact with each other. Coatings or other methods of protection may be necessary to prevent galvanic interaction.

A protective wrapping may be applied under and/or over the screen.

5.2.4 Cable make-up

The cable elements may be laid up in concentric layers or in unit construction. The cable core may be protected by wrappings of a non-hygroscopic, non-wicking tape.

NOTE 1 Fillers may be used to maintain a circular formation.

NOTE 2 Forming the element with a variable lay can lead to the infrequent but acceptable occurrence of the maximum lay being longer than the specified length of lay.

5.2.5 Screening of the cable core

The cable core may be screened by

- a) an aluminium tape laminated to a plastic tape which may be bonded to the sheath;
- b) an aluminium tape laminated to a plastic tape and a metal-coated or plain copper drain wire whereby the metal tape is in contact with the drain wire;
- c) metallic braid;
- d) an aluminium tape laminated to a plastic tape and a metallic braid;
- e) plain copper or aluminium tape.

Care should be taken when putting dissimilar metals in contact with each other. Coatings or other methods of protection may be necessary to prevent galvanic interaction.

A protective wrapping may be applied under and/or over the screen.

5.2.6 Sheath

The sheath shall be a polymeric material.

The sheath shall be continuous, having a uniform thickness.

The sheath shall be applied to fit closely to the core of the cable. In the case of screened cables, the sheath shall not adhere to the screen except when it is intentionally bonded to it.

The colour of the sheath may be specified in the relevant detail specification.

5.2.7 Identification

5.2.7.1 Cable marking

Each length of cable shall bear the name of the supplier and the cable type and, when provided, the year of manufacture, using one of the following methods:

- a) coloured threads or tapes;
- b) printed tape;
- c) printing on the core wrappings;
- d) marking on the sheath.

Additional markings may be provided on the sheath as indicated in the relevant detail specification.

5.2.7.2 Labelling

The following information shall be provided either on a label attached to each length of finished cable or on the outside of the product package:

- a) type of cable;
- b) supplier's name or logo;
- c) year of manufacture;
- d) length of cable in metres.

5.2.8 Finished cable

The finished cable shall have adequate protection for storage and shipment.

6 Characteristics and requirements

6.1 General remarks – Test configurations

Typical test configurations for the test specimen are

- a) laid out on a non-metallic surface at least 25 mm from a conductive surface;
- b) supported in aerial spans in such a way that there is a minimum separation of 25 mm between convolutions;
- c) wound as a single open helix on a drum with at least 25 mm between turns.

The configurations a), b) and c) are not necessary for screened cables.

The parameters of mutual capacitance, crosstalk, characteristic impedance and attenuation sometimes show measured values up to 10 % higher when the cable is measured in its packaging. This difference arises due to the tight packaging density and interwinding effects. Also, box packaging may negatively affect the cable return loss, crosstalk and characteristic impedance with full or partial recovery of cable performance after installation.

In case of doubt, the measurements of mutual capacitance, impedance, attenuation and crosstalk shall be performed on a cable sample removed from its packaging.

Measurement procedures for alien (exogenous) crosstalk specify options for the mounting of the cables into special test configurations.

The common-mode termination resistors shall be

- 0 Ω for individually screened pair cables;
- 25 Ω for overall screened cables;
- 45 Ω to 50 Ω for unscreened cables.

6.2 Electrical characteristics and tests

6.2.1 Conductor resistance

The measurement of the conductor resistance shall be in accordance with 6.1 of IEC 60189-1.

6.2.2 Resistance unbalance

The measurement of the resistance unbalance and the accuracy of the measurement equipment shall be in accordance with IEC 60708.

6.2.2.1 Resistance unbalance within a pair

The resistance unbalance between conductors of a pair or in the same side of a quad is given by

$$\Delta R = \frac{(R_{\max} - R_{\min})}{(R_{\max} + R_{\min})} \times 100 \quad (1)$$

where

ΔR is the conductor resistance unbalance (%);

$R_{\max}$ is the resistance for the conductor with the higher resistance value (Ω);

$R_{\min}$ is the resistance for the conductor with the lower resistance value (Ω).

6.2.2.2 Resistance unbalance between pairs

The resistance unbalance between pairs or sides of quads is given by

$$\Delta RP_{i,k} = 100 \frac{\left| \frac{R_{\max i} \cdot R_{\min i} (R_{\max k} + R_{\min k})}{R_{\max i} \cdot R_{\min i} (R_{\max k} + R_{\min k}) + R_{\max k} \cdot R_{\min k} (R_{\max i} + R_{\min i})} - R_{\max k} \cdot R_{\min k} \frac{(R_{\max i} + R_{\min i})}{R_{\max i} \cdot R_{\min i} (R_{\max k} + R_{\min k}) + R_{\max k} \cdot R_{\min k} (R_{\max i} + R_{\min i})} \right|}{1} \quad (2)$$

where

$\Delta RP_{i,k}$ is the resistance unbalance between pair i and pair k (%);

$R_{\max}$ is the resistance of the wire with the higher resistance of a pair (Ω);

$R_{\min}$ is the resistance of the wire with the lower resistance of a pair (Ω);

i, k $i \neq k$ where $i = 1$ to n and $k = 1$ to n for $n =$ number of pairs.

6.2.3 Dielectric strength

The measurement of dielectric strength shall be in accordance with IEC 61196-1-105 for conductor/conductor, conductor/screen and screen/screen.

6.2.4 Insulation resistance

The measurement of the insulation resistance between conductor/conductor, conductor/screen and screen/screen shall be in accordance with 6.3 of IEC 60189-1. The test voltage shall be between 100 V and 500 V d.c. unless otherwise specified in the detail specification.

6.2.5 Mutual capacitance

The measurement of the mutual capacitance of pairs in a multipair or quad cable shall be in accordance with 6.4 of IEC 60189-1.

6.2.6 Capacitance unbalance to earth

The measurement of the capacitance unbalance in a multipair or quad cable shall be in accordance with 6.5 of IEC 60189-1.

The capacitance unbalance to earth of a pair or one side of a quad is given by

$$\Delta C_e = C_1 - C_2 \quad (3)$$

where

ΔC_e is the pair-to-earth capacitance unbalance (pF/m);

C_1 is the capacitance between conductor "a" and conductor "b" with conductor "b" connected to all other conductors, to the screen (if present) and to earth (pF/m);

C_2 is the capacitance between conductor "b" and conductor "a" with conductor "a" connected to all other conductors, to the screen (if present) and to earth (pF/m).

If the cable under test has a length, L , other than 500 m, the measured value shall be corrected:

– for pair-to-pair and side-to-side by

$$C_{\text{corr}} = \frac{C_{\text{meas}}}{0,5 \times (L/500 + \sqrt{L/500})} \quad (4)$$

– for pair-to-earth and side-to-earth by

$$C_{\text{corr}} = \frac{C_{\text{meas}}}{L/500} \quad (5)$$

where

C_{corr} is the corrected capacitance (pF/m);

C_{meas} is the measured capacitance (pF/m);

L is the length of cable under test (m).

6.2.7 Transfer impedance

The measurement of the transfer impedance shall be in accordance with IEC 62153-4-3. All of the screens shall be connected together at the ends of the test specimen. The transfer impedance shall be measured over the frequency range indicated in the relevant sectional specification.

6.2.8 Coupling attenuation

The measurement of the coupling attenuation shall be in accordance with IEC 62153-4-5. All of the screens shall be connected together at the ends of the test specimen. The coupling attenuation shall be measured over the frequency range indicated in the relevant sectional specification.

6.2.9 Current-carrying capacity

Under consideration.

6.3 Transmission characteristics

Transmission measurements are in the balanced mode with measuring equipment (network analyser or signal generator/receiver) and baluns to connect the cable to the equipment. The baluns shall be selected to match the test equipment to the cable nominal impedance and shall have the relevant performance characteristics given in Table 1. The residual mismatch of the baluns is compensated by calibrating the system with the baluns connected to a short length (≤ 1 m) of the cable to be tested.

6.3.1 Velocity of propagation (phase velocity)

The velocity of propagation shall be determined over the frequency range indicated in the relevant sectional specification.

The test equipment schematic is given in Figure 1. For this measurement, the common-mode balun ports are optional.

The measurement determines the frequency interval, Δf for which the phase of the output signal makes a 2π radians rotation in comparison with the input signal.

The velocity of propagation is determined from

$$v_p = L \cdot \Delta f \quad (6)$$

where

v_p is the phase velocity (m/s);

L is the length of the cable under test (m);

Δf is the frequency interval (Hz).

In order to evaluate Δf with sufficient accuracy, the frequency difference Δf for n rotations of 2π radians may be measured as

$$\Delta f = \Delta f' / n \quad (7)$$

where

$\Delta f'$ is the frequency difference for n rotations;

n is the number of rotations ≤ 10 .

6.3.2 Phase delay and differential delay (delay skew)

The phase delay is determined from the phase velocity:

$$\tau_p = \frac{L}{v_p} \quad (8)$$

where

τ_p is the phase delay (s);

v_p is the phase velocity (m/s);

L is the cable length under test (m).

The differential phase delay (delay skew) is determined from

$$\Delta \tau_p = \left| L \cdot \left(\frac{1}{v_{p,1}} - \frac{1}{v_{p,2}} \right) \right| \quad (9)$$

where

$\Delta\tau_p$ is the differential phase delay (delay skew) (s);

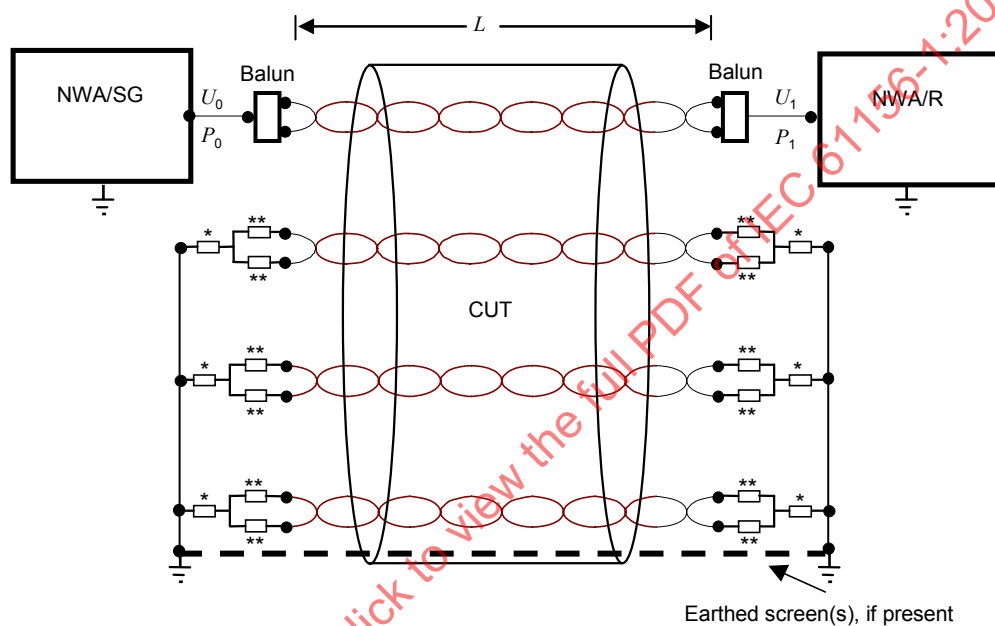
$v_{p,1}$ is the phase velocity of one pair (m/s);

$v_{p,2}$ is the phase velocity of another pair (m/s).

6.3.3 Attenuation

6.3.3.1 Attenuation at ambient temperature

The measurement shall be over the frequency range indicated in the relevant sectional specification. The test schematic is given in Figure 1. For this measurement, the common-mode balun ports are optional.



IEC 653/07

Key

CUT cable under test

NWA/SG network analyser port or signal generator

NWA/R network analyser port or receiver

* common-mode termination resistor (see 6.1)

** differential-mode termination resistor (matched in pairs)

L length of cable under test (m)

U_0 voltage at network analyser port or signal generator (V)

U_1 voltage at network analyser port or receiver (V)

P_0 power at network analyser port or signal generator (W)

P_1 power at network analyser port or receiver (W)

Figure 1 – Test set-up for the measurement of attenuation, velocity of propagation and phase delay

The measurements are made at ambient temperature and attenuation on a 100 m cable length is given by equation (10).

$$\begin{aligned}\alpha &= 10 \times \log_{10} \left(\frac{P_0}{P_1} \right) \\ &= 20 \times \log_{10} \left(\frac{U_0}{U_1} \right)\end{aligned}\quad (10)$$

where

α is the measured attenuation (dB/100 m) and is corrected to 20 °C as follows.

$$\alpha_{20} = \frac{\alpha}{1 + \delta_{\text{cable}} \cdot (T - 20)} \quad (11)$$

where

α_{20} is the attenuation corrected to 20 °C (dB/100 m);

δ_{cable} is the attenuation temperature coefficient (%/°C);

T is the ambient temperature (°C).

Attenuation temperature coefficient values are given in the relevant sectional specification.

6.3.3.2 Attenuation at elevated temperatures

6.3.3.2.1 Test chamber

The test chamber shall be either an air-circulating oven or an environmental chamber. The test chamber shall be capable of maintaining the required test temperature, ± 2 °C, for the duration of the test. The chamber dimensions shall be adequate to contain the sample and fixtures as required to support the sample. The chamber shall be provided with access ports for connecting the sample to test equipment. The maximum length of the cable ends extending out of the test chamber shall be 1 m.

6.3.3.2.2 Sample preparation and test configuration

The sample may be loosely coiled with a minimum diameter of 18 cm and placed in the chamber. In this configuration the wraps of the coil may be in close proximity and inter-winding coupling may appear in the test results for unscreened cable.

Alternately, the sample may be wound on a non-metallic drum with adjacent wraps separated by a minimum of 2,5 cm which will eliminate inter-winding coupling for unscreened cable.

6.3.3.2.3 Test procedure

The attenuation of the sample shall be measured at ambient temperature according to 6.3.3.1 after conditioning in the chamber for at least 4 h.

The temperature in the chamber shall be maintained at the required temperature, and the attenuation of the sample shall be measured again after a time duration between 4 h and 24 h.

A mathematical smoothing algorithm that may be applied to the measured attenuation data to correct for inter-winding coupling is given by the following:

$$\alpha_{sm} = a + b \times \sqrt{f} + c \times f + d / \sqrt{f} \quad (12)$$

where

α_{sm} is the smoothed attenuation data (dB/100 m);
 a, b, c, d are the regression coefficients;
 f is the frequency (Hz).

6.3.3.3 Attenuation temperature coefficient

The attenuation temperature coefficient is given by equation (13).

$$\delta_{cable} = \frac{\alpha_{T2} - \alpha_{T1}}{\alpha_{T1} \cdot (T_2 - T_1)} \times 100 \quad (13)$$

where

δ_{cable} is the attenuation temperature coefficient (%/°C);
 α_{T1} is the attenuation at temperature T_1 (dB/100 m);
 α_{T2} is the attenuation at temperature T_2 (dB/100 m);
 T_1 is the reference or ambient temperature (°C);
 T_2 is the elevated temperature (°C).

NOTE The calculation according to equation (13) is applicable to both the measured and the smoothed attenuation data.

6.3.4 Unbalance attenuation

6.3.4.1 Equipment

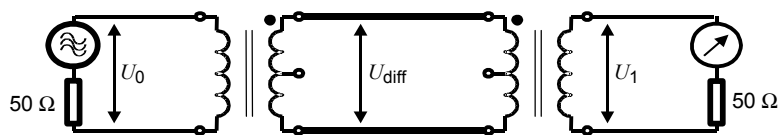
- It is mandatory to create a defined return (common-mode) path. This is normally achieved by earthing all other pairs and screen(s) if present in common to the balun earth. The pairs shall be terminated with differential-mode and common-mode terminations and earthed at near and far ends. However, the cable under test may be wound onto an earthed metal drum. The drum surface may have a suitable groove, wide enough to contain the cable and shall be adequate to hold 100 m of cable in one layer.
- A network analyser or generator/receiver combination suitable for the required frequency and dynamic range.
- The baluns shall have a common-mode port and the characteristics given in Table 1.
- Time domain reflectometer (optional).

Table 1 – Test balun performance characteristics

Parameter	Class A-250 value	Class A-600 value	Class B value
Impedance, primary ^a	50 Ω unbalanced	50 Ω unbalanced	50 Ω unbalanced
Impedance, secondary	Matched balanced	Matched balanced	Matched balanced
Insertion loss	3 dB max.	3 dB max.	10 dB max.
Return loss, secondary	20 dB min.	12 dB min., 5-15 MHz 20 dB min., 15-550 MHz 17,5 dB min., 550-600 MHz	6 dB min.
Return loss, common mode ^b	10 dB min.	15 dB min., 5-15 MHz 20 dB min., 15-400 MHz 15 dB min., 400-600 MHz	10 dB min.
Power rating	0,1 W min.	0,1 W min.	0,1 W min.
Longitudinal balance ^c	60 dB min.	60 dB min., 15-350 MHz 50 dB min., 350-600 MHz	35 dB min.
Output signal balance ^c	50 dB min.	60 dB min., 15-350 MHz 50 dB min., 350-600 MHz	35 dB min.
Common-mode rejection ^c	50 dB min.	60 dB min., 15-350 MHz 50 dB min., 350-600 MHz	35 dB min.
^a Primary impedance may differ, if necessary, to accommodate analyser outputs other than 50 Ω . ^b Measured by connecting the balanced output terminals together and measuring the return loss. The unbalanced balun input terminal shall be terminated by a 50 Ω load. ^c Measured according to ITU-T Recommendation G.117 and ITU-T Recommendation O.9. ^d For 120 Ω cables, 120 Ω baluns will be used only in cases where it is requested by the user. Usually 100 Ω baluns will be used.			
Special guidelines for the use of baluns 1) For best accuracy, the baluns should be supplied with connectors (for example, with IEC 60169-22 connectors). 2) For tests up to 250 MHz, class A-250 baluns should be used. 3) For tests up to 600 MHz, class A-600 baluns should be used. 4) For class B baluns, there is a trade-off between insertion loss and return loss. Return loss can be improved by using an attenuator, which then increases insertion loss. If return loss is less than 10 dB, insertion loss shall be less than 5 dB. If insertion loss is higher than 5 dB, return loss shall be higher than 10 dB.			

6.3.4.2 Balun calibration

- The reference line calibration (0 dB-line) shall be determined by connecting coaxial cables between the analyser input and output. The same coaxial cables shall also be used for the balun loss measurements. The calibration shall be established over the whole frequency range specified in the relevant cable specification. This calibration method is valid for closely matched baluns that satisfy the characteristics of Table 1.
- Figure 2 gives the schematic for the measurement of the differential-mode loss of the baluns. Two baluns are connected back to back on the symmetrical output side and their attenuation measured over the specified frequency range. The connection between the two baluns shall be made with negligible loss.



IEC 654/07

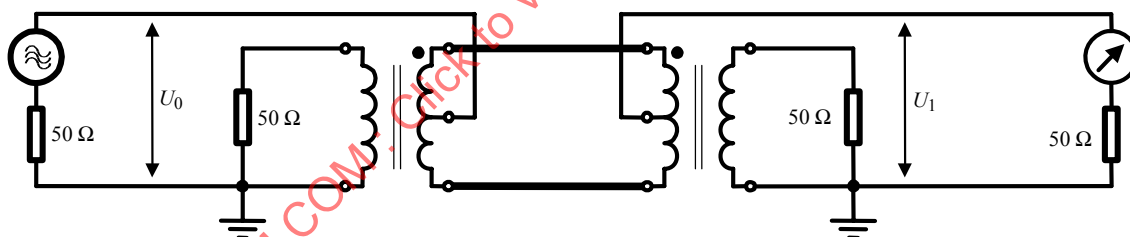
Key U_0 voltage at network analyser port or signal generator U_1 voltage at network analyser port or receiver U_{diff} voltage at symmetrical port of baluns**Figure 2 – Test set-up for the measurement of the differential-mode loss of the baluns**

The differential-mode loss of the baluns is given by

$$\alpha_{\text{diff}} = 0,5 \times \left(20 \times \log_{10} \left| \frac{U_1}{U_0} \right| \right) \quad (14)$$

where α_{diff} is the differential-mode loss of the baluns (dB).

- c) Figure 3 gives the schematic for the measurement of the common-mode loss of the baluns. The baluns used in b) are connected together; the unbalanced balun ports are terminated with the nominal test equipment impedance, the test equipment is connected to the common-mode port (centre tap) of the baluns.



IEC 655/07

Key U_0 voltage at network analyser port or signal generator U_1 voltage at network analyser port or receiver**Figure 3 – Test set-up for the measurement of the common-mode loss of the baluns**

The common-mode loss of the baluns is given by

$$\alpha_{\text{com}} = 0,5 \times \left(20 \times \log_{10} \left| \frac{U_1}{U_0} \right| \right) \quad (15)$$

where α_{com} is the common-mode loss of the balun (dB).

- d) The operational attenuation of the balun α_{balun} takes into account the common-mode and differential-mode losses of the balun:

$$\alpha_{\text{balun}} = \alpha_{\text{diff}} + \alpha_{\text{com}} \quad (16)$$

where α_{balun} is the operational attenuation or intrinsic loss of the balun (dB).

NOTE More precise results can be obtained using either poling of the baluns for α_{diff} and α_{com} and averaging the results or using three baluns. In the latter case, the assumption of identical baluns is not required.

- e) The voltage ratio of the balun can be expressed by the turns ratio of the balun and the operational attenuation of the balun:

$$\begin{aligned} 20 \times \log_{10} \left| \frac{U_{\text{diff}}}{U_0} \right| &= 10 \times \log_{10} \left| \frac{Z_{\text{diff}}}{Z_0} \right| - \alpha_{\text{balun}} \\ 20 \times \log_{10} \left| \frac{U_{\text{diff}}}{U_1} \right| &= 10 \times \log_{10} \left| \frac{Z_{\text{diff}}}{Z_1} \right| - \alpha_{\text{balun}} \end{aligned} \quad (17)$$

where

U_{diff} is the differential-mode voltage at the input of the cable under test (V);

U_0 is the voltage at the network analyser port or signal generator (V);

Z_{diff} is the characteristic impedance of the differential-mode circuit (Ω);

Z_0 is the output impedance of the network analyser or signal generator (Ω);

U_1 is the voltage at the input of the load (V);

Z_1 is the input impedance of the load (Ω).

6.3.4.3 Measurements

All pairs/quads of the cable shall be measured at both ends of the cable under test (CUT). The attenuation unbalance shall be measured over the specified frequency range and at the same frequency points as for the calibration procedure.

For cables having a nominal impedance of 100 Ω , the value of Z_{com} is 75 Ω for up to 25 pair-count unscreened pair cables, 50 Ω for common screened pair cables and more than 25 pair-count unscreened pair cables, and 25 Ω for individually screened pair cables. The impedance of the common-mode circuit Z_{com} can be measured more precisely either with a time domain reflectometer (TDR) or a network analyser. The two conductors of the pair are connected together at both ends and the impedance is measured between these conductors and the return path.

6.3.4.3.1 Cable under test (CUT)

The ends of the CUT shall be prepared so that the twisting of the pairs/quads is maintained up to the terminals of the test equipment. The CUT shall have a length of 100 m $\pm$ 1 m. All pairs not under test shall be connected to earth through appropriate common-mode (see 6.1) and differential-mode terminations at the near and far end. The screens, if any, shall be connected to earth at both ends of the cable.

6.3.4.3.2 Test set-up for unbalance measurements

Figure 4 gives a schematic of the measurement for unbalance attenuation at the near end.

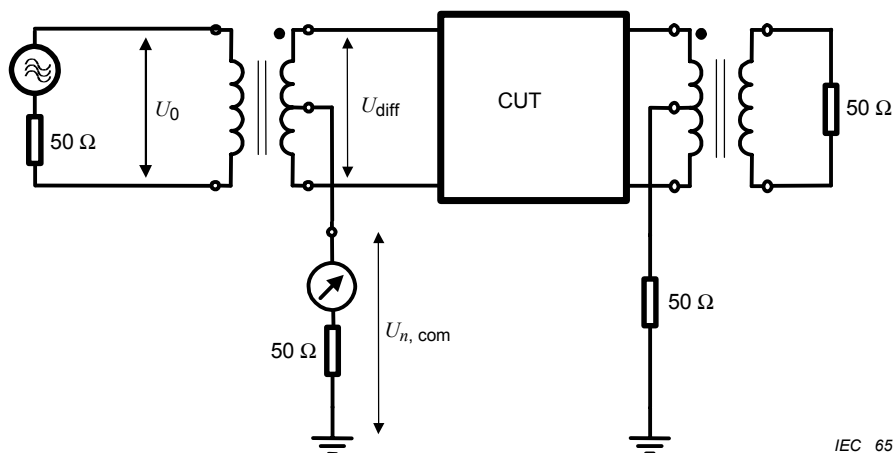


Figure 4 – Test set-up for unbalance attenuation at near end (*TCL*)

$$\alpha_{\text{meas}} = 20 \times \log_{10} \left| \frac{U_{n, \text{com}}}{U_0} \right| \quad (18)$$

where

α_{meas} is the measured attenuation (dB);

$U_{n, \text{com}}$ voltage in the common-mode circuit (V);

n, f are the indices to designate the near end and far end, respectively.

Figure 5 gives a schematic of the measurement for unbalance attenuation at far end.

NOTE In theory, the 50 Ω common mode termination in Figures 4 and 5 should be Z_{com} , but the error in using 50 Ω is small.

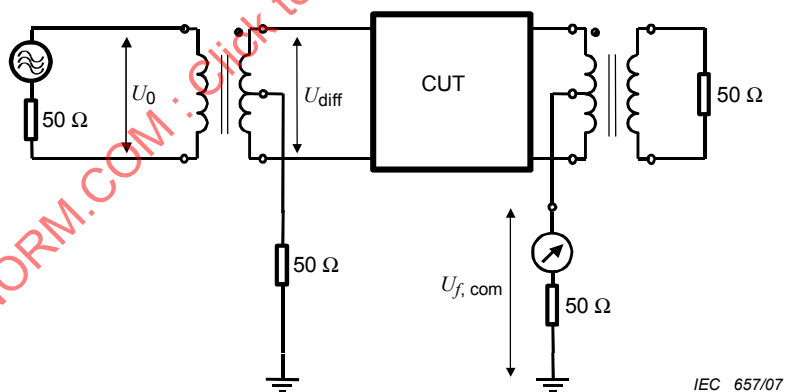


Figure 5 – Test set-up for unbalance attenuation at far end (*TCTL*)

$$\alpha_{\text{meas}} = 20 \times \log_{10} \left| \frac{U_{f, \text{com}}}{U_0} \right| \quad (19)$$

6.3.4.3.3 Expression of test result

The unbalance attenuation is defined as the logarithmic ratio of the common-mode power to the differential-mode power.

$$\alpha_{u,n} = 20 \times \log_{10} \left| \frac{\sqrt{\frac{P_{n,com}}{f,com}}}{\sqrt{P_{diff}}} \right| = 20 \times \log_{10} \left| \frac{U_{n,com}}{U_{diff}} \right| + 10 \times \log_{10} \left| \frac{Z_{diff}}{Z_{com}} \right| \quad (20)$$

where

α_u is the unbalance attenuation (dB);

P_{com} is the matched common-mode power (W);

P_{diff} is the matched differential-mode power (W).

When measuring with S-parameter test-sets, the output voltage of the generator is measured instead of the differential-mode voltage in the cable under test. Taking the operational attenuation of the balun into account, the equation for the unbalance attenuation near or far end is:

$$\begin{aligned} \alpha_{u,n} &= 10 \times \log_{10} \left| \frac{P_{n,com}}{f,com}}{P_{diff}} \right| = 10 \times \log_{10} \left| \frac{P_{n,com}}{f,com}}{P_0} \right| - \alpha_{balun} \\ &= 20 \times \log_{10} \left| \frac{U_{n,com}}{f,com}}{U_0} \right| + 10 \times \log_{10} \left| \frac{Z_0}{Z_{com}} \right| - \alpha_{balun} \end{aligned} \quad (21)$$

$$\alpha_{u,n} = \alpha_{meas} + 10 \times \log_{10} \left| \frac{Z_0}{Z_{com}} \right| - \alpha_{balun} \quad (22)$$

The equal level unbalance attenuation at the far end is then

$$EL \alpha_{u,f} = \alpha_{meas} + 10 \times \log_{10} \left| \frac{Z_0}{Z_{com}} \right| - \alpha_{balun} - \alpha_{cable} \quad (23)$$

where

$EL \alpha_{u,f}$ is the equal level unbalance attenuation at far end ($EL \ TCTL$) (dB);

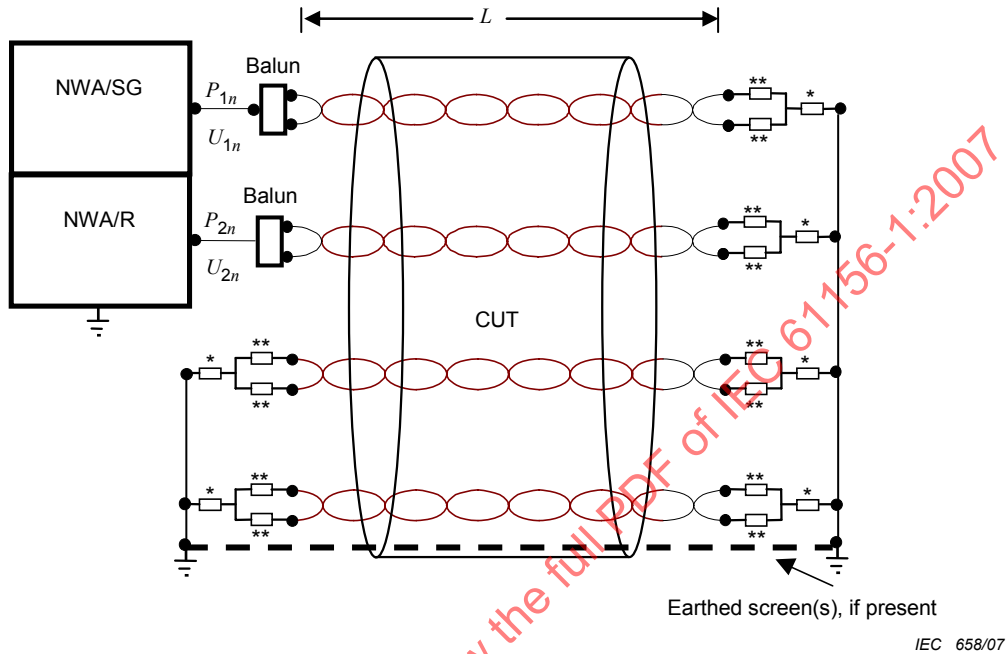
α_{cable} is the attenuation of the cable (dB).

6.3.5 Near-end crosstalk

Figure 6 gives the schematic for the measurement of near-end crosstalk. The near-end crosstalk loss shall be measured using a network analyser or equivalent measuring equipment over the frequency range indicated in the relevant sectional specification.

The test schematic is given in Figure 6. The pairs under test shall be connected to earth at the far end through appropriate common-mode (see 6.1) and differential-mode terminations. The baluns shall comply with the relevant requirements of Table 1 and shall be selected to match the test equipment to the cable nominal impedance.

All pairs not under test shall be connected to earth through appropriate common-mode (see 6.1) and differential-mode terminations at the near and far end. The screens, if any, shall be connected to earth at both ends of the cable. Precautions shall be taken to minimize end effect couplings. When the cable sheath is removed, the pairs shall maintain their twist and shall be well separated.



Key

CUT	cable under test
NWA/SG	network analyser port or signal generator
NWA/R	network analyser port or receiver
*	common-mode termination resistor (see 6.1)
**	differential-mode termination resistor (matched in pairs)
L	length of cable under test (m)

Figure 6 – Test set-up for near-end crosstalk

Near-end crosstalk loss *NEXT* is given by

$$\begin{aligned}
 NEXT &= 10 \times \log_{10} \left| \frac{P_{1n}}{P_{2n}} \right| \\
 &= 20 \times \log_{10} \left| \frac{U_{1n}}{U_{2n}} \right| + 10 \times \log_{10} \left| \frac{Z_1}{Z_2} \right|
 \end{aligned}
 \tag{24}$$

where

<i>NEXT</i>	is the near-end crosstalk (dB);
P_{1n}	is the input power of the disturbing pair at the near end (W);
P_{2n}	is the output power of the disturbed pair at the near end (W);
U_{1n}	is the input voltage of the disturbing pair at the near end (V);
U_{2n}	is the output voltage of the disturbed pair at the near end (V);

Z_1 is the characteristic impedance of the disturbing pair (Ω);
 Z_2 is the characteristic impedance of the disturbed pair (Ω).

Measurements shall be on a length of at least 100 m. For a length greater than 100 m, the measured value may be corrected to 100 m using the following correction formula:

$$NEXT_{100} = NEXT + 10 \times \log_{10} \left[\left(1 - 10^{-\frac{\alpha \cdot L}{5}} \right) / \left(1 - 10^{-\frac{\alpha}{5}} \right) \right] \quad (25)$$

where

$NEXT_{100}$ is the near-end crosstalk corrected to a length of 100 m (dB);
 $NEXT$ is the near-end crosstalk on the measured cable length (dB);
 α is the attenuation of the measured cable length (dB).

The power sum near-end crosstalk $PS\ NEXT$ is calculated from

$$PS\ NEXT_j = -10 \times \log_{10} \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^m \left(10^{\frac{NEXT_{i,j}}{10}} \right) \quad (26)$$

where

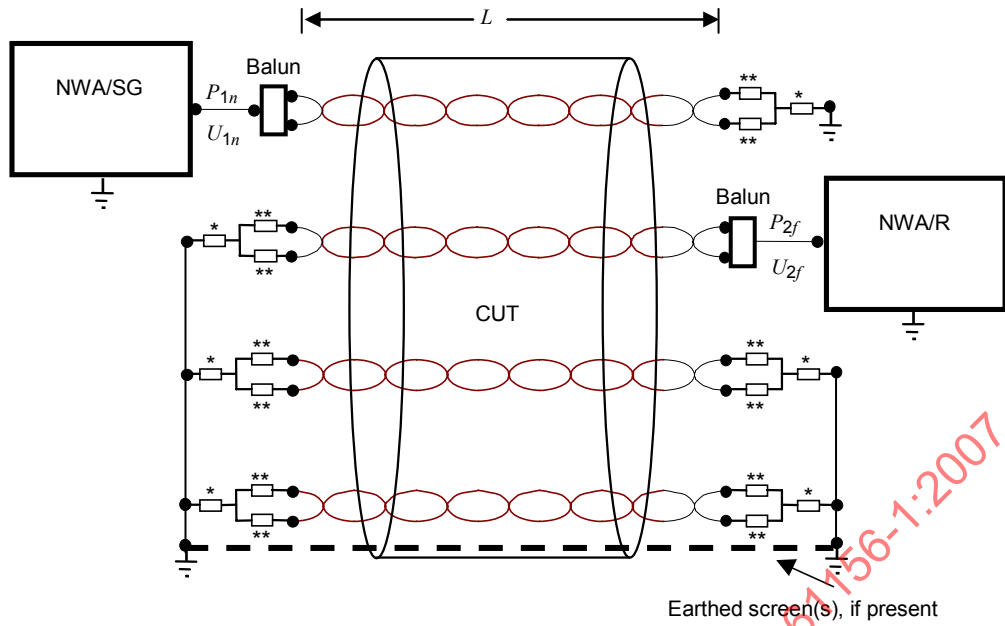
$PS\ NEXT_j$ is the power sum of the pair j (dB);
 $NEXT_{i,j}$ is the crosstalk coupled from the pairs i into the pair j (dB);
 m is the number of pairs contained within the cable.

6.3.6 Far-end crosstalk

Figure 7 gives the schematic for the measurement of far-end crosstalk. The far-end crosstalk loss shall be measured using a network analyser or equivalent measuring equipment over the frequency range indicated in the relevant sectional specification.

The pairs under test shall be connected to baluns which comply with the relevant requirements of Table 1. The baluns shall be selected to match the test equipment to the cable nominal impedance.

All pairs not under test shall be connected to earth through appropriate common-mode (see 6.1) and differential-mode terminations at the near and far end. The screens, if any, shall be connected to earth at both ends of the cable. Precautions shall be taken to minimize end effect couplings. When the cable sheath is removed, the pairs shall maintain their twist and shall be well separated.



IEC 659/07

Key

CUT	cable under test
NWA/SG	network analyser port or signal generator
NWA/R	network analyser port or receiver
*	common-mode termination resistor (see 6.1)
**	differential-mode termination resistor (matched in pairs)
<i>L</i>	length of cable under test (in m)

Figure 7 – Test set-up for far-end crosstalk

The measurement shall be on a length of at least 100 m.

Far-end crosstalk is given by

$$\begin{aligned}
 FEXT &= 10 \times \log_{10} \left| \frac{P_{1n}}{P_{2f}} \right| \\
 &= 20 \times \log_{10} \left| \frac{U_{1n}}{U_{2f}} \right| + 10 \times \log_{10} \left| \frac{Z_1}{Z_2} \right|
 \end{aligned}
 \tag{27}$$

where

$FEXT$	is the far-end crosstalk (dB);
P_{1n}	is the input power of the disturbing pair at the near end (W);
P_{2f}	is the output power of the disturbed pair under test at the far end (W);
U_{1n}	is the input voltage of the disturbing pair at the near end (V);
U_{2f}	is the output voltage of the disturbed pair at the far end (V);
Z_1	is the characteristic impedance of the disturbing pair (Ω);
Z_2	is the characteristic impedance of the disturbed pair (Ω).

Equal level far-end crosstalk loss is given by

$$\begin{aligned}
 EL\ FEXT &= 10 \times \log_{10} \left| \frac{P_{1f}}{P_{2f}} \right| \\
 &= 20 \times \log_{10} \left| \frac{U_{1f}}{U_{2f}} \right| + 10 \times \log_{10} \left| \frac{Z_1}{Z_2} \right|
 \end{aligned} \tag{28}$$

where

$EL\ FEXT$	is the equal level far-end crosstalk (dB);
P_{1f}	is the output power of the disturbing pair at the far end (W);
U_{1f}	is the output voltage of the disturbing pair at the far end (V).

$EL\ FEXT$ is related to $FEXT$ by the attenuation of the disturbing pair in the measured cable length:

$$EL\ FEXT = FEXT - \alpha_1 \tag{29}$$

where

α_1	is the attenuation of the disturbing pair (dB).
------------	---

It is recommended that the maximum cable length to be measured be limited to 300 m in order to minimize errors resulting from the noise floor of the testing equipment. For lengths greater than 100 m, the measured values of $FEXT$ and the calculated values of the $EL\ FEXT$ shall be corrected to a length of 100 m as follows:

$$FEXT_{100} = FEXT + 10 \times \log_{10} (L/100) + \alpha_1 (1 - L/100) \tag{30}$$

$$EL\ FEXT_{100} = EL\ FEXT + 10 \times \log_{10} (L/100) \tag{31}$$

where

$FEXT_{100}$	is the far-end crosstalk corrected to a length of 100 m (dB);
$FEXT$	is the measured far-end crosstalk (dB);
$EL\ FEXT_{100}$	is the equal level far-end crosstalk corrected to a length of 100 m (dB);
$EL\ FEXT$	is the equal level far-end crosstalk (dB);
L	is the measured cable length (m);
α_1	is the disturbing pair attenuation (dB).

The power sum far-end crosstalk $PS\ EL\ FEXT$ is calculated from

$$PS\ EL\ FEXT_j = -10 \times \log_{10} \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^m 10^{\frac{-EL\ FEXT_{i,j}}{10}} \quad (32)$$

where

$PS\ EL\ FEXT_j$ is the power sum of the pair j (dB);

$EL\ FEXT_{i,j}$ is the crosstalk coupled from the pairs i into the pair j (dB);

m is the number of pairs contained within the cable.

The attenuation-to-crosstalk ratio far end is defined as the ratio of the attenuation of the disturbed pair to the far-end crosstalk, both in Nepers or the difference of the far-end crosstalk and the attenuation of the disturbed pair if both are expressed in dB. Hence:

$$ACR - F_j = FEXT_{i,j} - \alpha_j \quad (33)$$

where

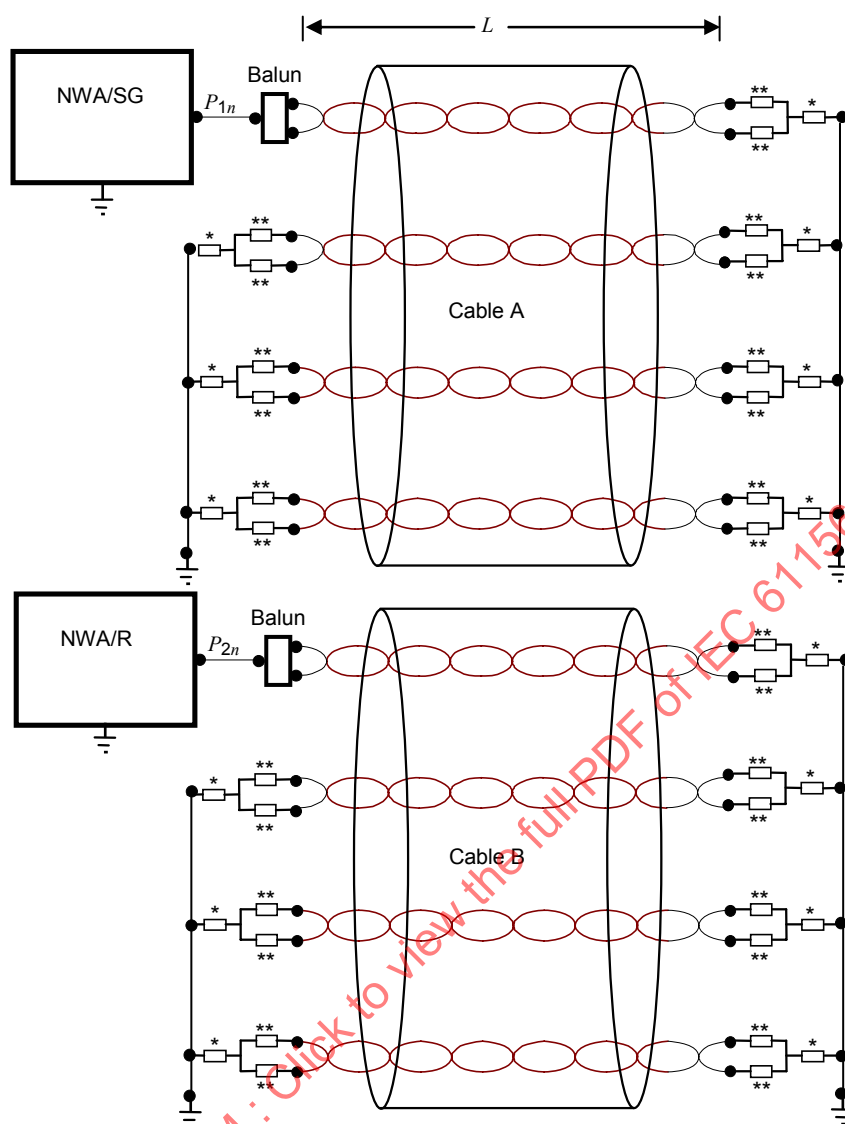
$ACR - F_j$ is the attenuation to crosstalk ratio far-end in (dB);

α_j is the attenuation of the disturbed pair j in (dB);

$FEXT_{i,j}$ is the far-end crosstalk coupled from the pair i into the disturbed pair j .

6.3.7 Alien (exogenous) near-end crosstalk

Figure 8 gives the schematic for the measurement of alien (exogenous) near-end crosstalk, $ANEXT$. The same test equipment and sample-end preparation considerations relevant to the measurement of $NEXT$ are relevant to the measurement of $ANEXT$. The cable fan-out shall not be greater than 1 m. The measurement shall be over the frequency range indicated in the relevant sectional specification.



IEC 660/07

Key

Cable A, B two cables in the test assembly configuration (other cables in the assembly are not shown)

NWA/SG network analyser port or signal generator

NWA/R network analyser port or receiver

* common mode termination resistor (see 6.1)

** differential mode termination resistor (matched in pairs)

L length of test assembly under test (in m)

Figure 8 – Test set-up for alien (exogenous) near-end crosstalk

Alien near-end crosstalk (*ANEXT*) is given by

$$ANEXT = 10 \times \log_{10} |P_{1n}/P_{2n}| \quad (34)$$

where

ANEXT is the alien (exogenous) near-end crosstalk (dB);

P_{1n} is the input power of the disturbing pair at the near end (W);

P_{2n} is the output power of the disturbed pair at the near end (W).

The disturbing and disturbed pairs are contained within different cables.

For near-end and far-end alien (exogenous) crosstalk the power sum is defined as:

$$PS \text{ } AX - \text{talk}_j = -10 \times \log_{10} \left(\sum_{l=1}^N \sum_{i=1}^n 10^{-\frac{AX - \text{talk}_{i,j,l}}{10}} \right) \quad (35)$$

where

$PS \text{ } AX - \text{talk}_j$ is the power sum of pair *j* (dB);

$AX - \text{talk}_{i,j,l}$ is the crosstalk between pair *j* of a given cable and pair *i* of a neighbouring cable (dB);

j is the number of the disturbed pair;

i is the current number of a disturbing pair in a disturbing cable;

l is the number of the disturbing cable;

N is the total number of disturbing cables.

The cables to be tested are mounted into a configuration as specified in the relevant sectional specification.

Two test cable configurations are specified as follows:

- a) an assembly of six cables around one cable;
- b) a helical wrap of four parallel cables onto a drum.

6.3.7.1 Six cables around one cable

The seven cables to be tested are mounted into the test assembly configuration shown in cross-section in Figure 9. The test assembly length shall be specified in the relevant sectional specification. The assembly cross-section shall be maintained, without longitudinal twist, throughout the assembly length by means of suitable non-metallic binder material. The binder material may be applied as discrete straps such as tie wraps and self-clinging or adhesive straps. The binder material may be applied helically about the cables in the form of a continuous thread or tape. The binder material shall not visibly compress or deform the cross-section. The spacing of the discrete binder and the pitch of the continuous binder shall be adequate to maintain the cable components in close proximity, without visible spacing, as depicted in Figure 9. The test assembly shall be laid out as depicted in Figure 10 (with serpentine looping as necessary) in a loop in such a way that a minimum separation of 10 cm is maintained between sections of the loop. A non-metallic floor is suitable for laying out the test assembly.

The crosstalk from each pair of cables 1 through 6 to each of the pairs of cable 7 shall be measured across the frequency range specified in the relevant sectional specification.

The power sum alien (exogenous) near-end crosstalk, PS_{ANEXT} , shall be calculated from the measured values according to equation (35).

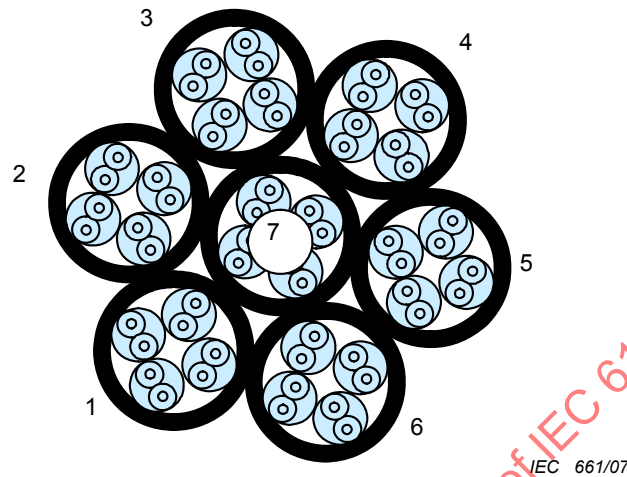


Figure 9 – Test assembly cross-section; six cables around one cable

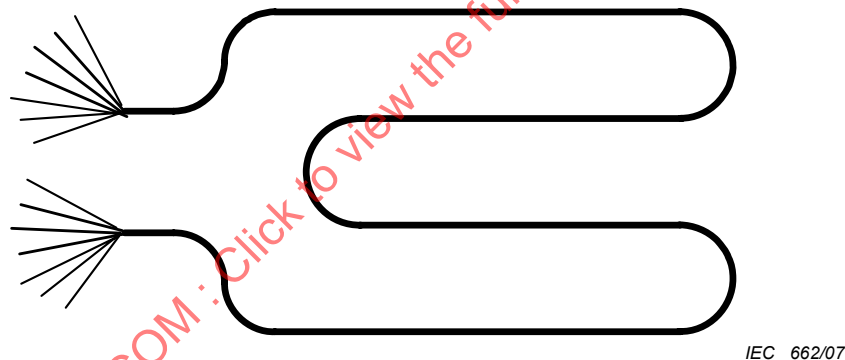


Figure 10 – Test assembly layout; six cables around one cable

6.3.7.2 Four parallel cables

The four cables to be tested are mounted into the test assembly configuration shown in cross-section in Figure 11 and helically wrapped onto a drum as depicted in Figure 12. The drum dimensions should be approximately 1 m in diameter. The drum shall be composed of non-metallic material, of sufficient strength to physically maintain the configuration of cables under test. The test assembly length shall be specified in the relevant sectional specification.

The crosstalk between pairs located in adjacent cable combinations 1 to 2, 2 to 3 and 3 to 4 shall be measured across the frequency range specified in the relevant sectional specification. The power sum alien (exogenous) near-end crosstalk, PS_{ANEXT} , shall be calculated from the measured values according to equation (35).

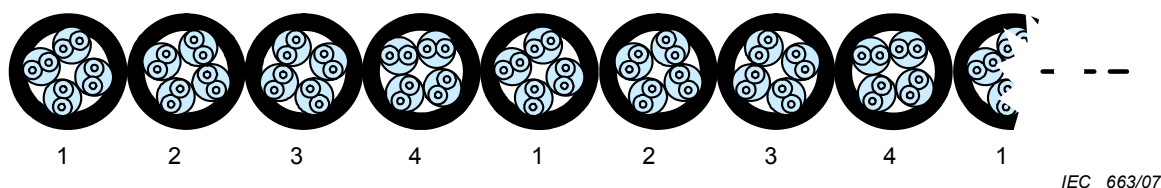


Figure 11 – Test assembly cross-section; four parallel cables

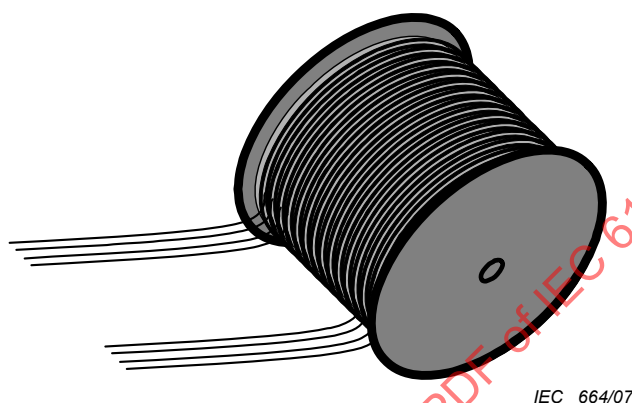


Figure 12 – Test assembly on drum; four parallel cables

6.3.8 Alien (exogenous) far-end crosstalk

Measurement of alien (exogenous) far-end crosstalk, $AFEXT$, involves the same test equipment and sample-end preparation considerations relevant to the measurement of $FEXT$. The cables to be tested are mounted into a configuration, as specified in the relevant sectional specification and as described in 6.3.7.1, for the six-around-one configuration and 6.3.7.2 for the four-parallel-cable configuration. The $PS AFEXT$ shall be calculated from the measured values according to equation (35).

$PS AFEXT$ requirements may be given in terms of $PS AACR-F$ where $AACR-F$ shall be calculated from the measured values according to equation (36).

$$AACR-F = AFEXT - \alpha \quad (36)$$

where

$AACR-F$ is the attenuation alien (exogenous) crosstalk ratio at the far end (dB);

$AFEXT$ is the alien (exogenous) far-end crosstalk (dB);

α is the attenuation of the disturbed pair (dB);

$PS AACRF$ is calculated according to equation (35).

6.3.9 Alien (exogenous) crosstalk of bundled cables

Alien (exogenous) crosstalk, ($ANEXT$ and $AFEXT$), is measured direct on the bundled cable and does not require the preparation of a specific test assembly configuration.

The bundled cable shall be laid out as depicted in Figure 10 (with serpentine looping as necessary) in a loop in such a way that a minimum separation of 10 cm is maintained between sections of the loop. A non-metallic floor is suitable for laying out the test assembly.

The near-end (*NEXT*) and far-end (*IO FEXT*) crosstalk of each pair of one disturbed cable due to all pairs in the surrounding disturbing cables shall be measured across the frequency range specified in the relevant sectional specification.

Each cable of the bundle shall in turn be treated as the disturbed cable and the near-end (*NEXT*) and far-end (*IO FEXT*) crosstalk due to all pairs in the surrounding disturbing cables shall be measured across the frequency range specified in the relevant sectional specification.

The power sum alien (exogenous) crosstalk, *PS ANEXT* and *PS AFEXT*, shall be calculated from the measured values according to equation (35).

6.3.10 Mean characteristic impedance and input impedance

6.3.10.1 Sample preparation

Samples shall be prepared so that end effects are minimized. Unscreened cable shall be suspended or laid on a non-conducting surface so that multiple traversals are separated by a minimum of 25 mm.

6.3.10.1.1 Test equipment

The measurement is in a balanced configuration with a network analyser (together with an S-parameter unit) or an impedance meter. The balun shall have the relevant characteristics given in Table 1 corresponding to the measurement frequency range. The measurement schematic is given in Figure 13.

The measurement shall be at the frequency or in the whole frequency range indicated in the relevant sectional specification.

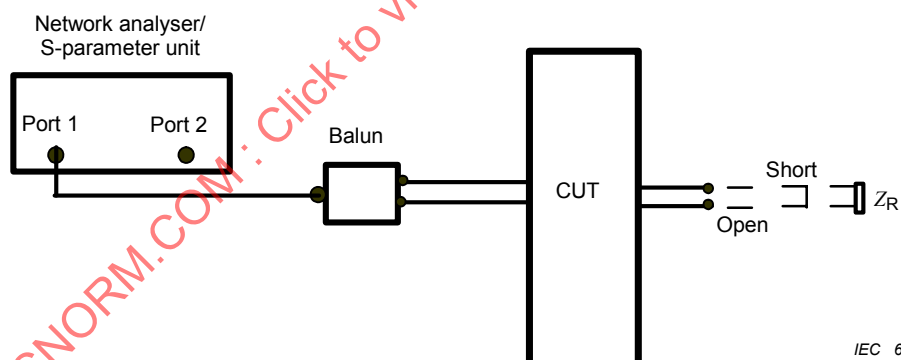


Figure 13 – Test set-up for mean characteristic impedance, input impedance and return loss

6.3.10.1.2 Procedure

A three-step calibration procedure (using open-circuit, short-circuit and reference-load terminations) is performed at the secondary of the balun with the cable pair disconnected.

The S_{11} parameter is measured with the cable pair connected to the balun and terminated with open circuit, short circuit and reference load, Z_R . The impedance is calculated from the measured S_{11} parameters.

$$Z_{\text{meas}} = Z_R \cdot \left| \frac{1 + S_{11}}{1 - S_{11}} \right| \quad (37)$$

where

Z_{meas} is the impedance for open-circuit, short-circuit and reference-load terminations (Ω);

Z_R is the reference load (Ω);

S_{11} is the measured S-parameter for open- and short-circuit terminations.

The mean characteristic impedance is calculated as the geometric mean of the product of the open and short circuit measured values and is given by

$$Z_{Cm} = \sqrt{|Z_{OC} \cdot Z_{SC}|} \quad (38)$$

where

Z_{Cm} is the mean characteristic impedance (Ω);

Z_{OC} is the measured open circuit impedance (Ω);

Z_{SC} is the measured short circuit impedance (Ω).

The input impedance is obtained directly from the measured S_{11} parameter with reference load termination, Z_R .

$$Z_{in} = Z_R \cdot \left| \frac{1 + S_{11}}{1 - S_{11}} \right| \quad (39)$$

where

Z_{in} is the input impedance (Ω);

Z_R is the reference load (Ω);

S_{11} is the measured S-parameter for reference load termination.

6.3.10.2 Function fitting of mean characteristic impedance and input impedance data

Function fitting is used for computing a smoothed mean characteristic impedance or input impedance when the cable exhibits significant structural effects.

The fitting function is given by

$$|Z_x| = k_0 + \frac{k_1}{f^{1/2}} + \frac{k_2}{f} + \frac{k_3}{f^{3/2}} \quad (40)$$

where

$|Z_x|$ is the magnitude of the fitted impedance (Ω);

k_0, k_1, k_2, k_3 are least squares coefficients;

f is the frequency (Hz).

NOTE Function fitting is applicable to mean characteristic impedance data according to equation (38) and input impedance data according to equation (39).

6.3.11 Return loss

6.3.11.1 Sample preparation

Samples shall be prepared so that end effects are minimized. Unscreened cable shall be suspended or laid on a non-conducting surface so that multiple traversals are separated by a minimum of 25 mm.

6.3.11.2 Equipment

The measurement is in a balanced configuration with a network analyser (together with an S-parameter unit) or an impedance meter. The balun shall have the relevant characteristics given in Table 1 corresponding to the measurement frequency range. The measurement schematic is given in Figure 13. The load resistance shall be the nominal cable impedance.

The measurement shall be at the frequency or in the whole frequency range indicated in the relevant sectional specification.

6.3.11.3 Procedure

A three-step calibration procedure (using open, short and reference-load terminations) is performed at the secondary of the balun with the cable pair disconnected.

Return loss is given by the S_{11} parameter direct from the network analyser as follows.

$$RL = -20 \times \log_{10} |S_{11}| \quad (41)$$

where

RL is the return loss (dB);

S_{11} is the relevant parameter of the quadripole definition.

6.4 Mechanical and dimensional characteristics and requirements

6.4.1 Measurement of dimensions

The measurement of thickness and diameter of the insulation and sheath shall be in accordance with Clause 8 of IEC 60811-1-1.

6.4.2 Elongation at break of the conductor

The method of measuring is described in 4.3 of IEC 60189-1.

6.4.3 Tensile strength of the insulation

The method of measuring is described in 9.1.7 of IEC 60811-1-1.

6.4.4 Elongation at break of the insulation

The method of measuring is described in 9.1.7 of IEC 60811-1-1.

6.4.5 Adhesion of the insulation to the conductor

The method of measuring is described in 4.4 of IEC 60189-1.

6.4.6 Elongation at break of the sheath

The method of measuring is described in 9.2.7 of IEC 60811-1-1.

6.4.7 Tensile strength of the sheath

The method of measuring is described in 9.2.7 of IEC 60811-1-1.

6.4.8 Crush test of the cable

The method of measuring is described in 3.3.6 of IEC 62012-1.

6.4.9 Impact test of the cable

The method of measuring is described in 8.5 of IEC 60811-1-4.

6.4.10 Bending under tension

6.4.10.1 Equipment

The apparatus consists of

- a) tensile power device with a maximum error of $\pm 3\%$;
- b) if required for a particular user application, measuring apparatus for the determination of change in transmission performance;
- c) for the U-bend test: one roller with radius, r , as given in the relevant sectional specification and as shown in Figure 14;
- d) for the S-bend test: two rollers each with a radius, R , and separated distance, Y , apart, as given in the relevant sectional specification and as shown in Figure 15;
- e) a reference frame shall be provided for locating the test sample, sheath marks that are applied at points A and B as shown in Figures 14 and 15.

6.4.10.2 Test sample

The test sample shall be taken from one end of a finished cable. Both ends of the specimen shall be terminated in such a way that the specified load can be applied and any specified transmission tests can be carried out.

The sample shall be marked at points A and B as shown in Figures 14 and 15. The total length of the test sample and the length between points A and B shall be as given in the relevant sectional specification, taking into account the length needed to carry out the specified transmission tests.

6.4.10.3 Procedure

The test shall be carried out at ambient temperature. If specified in the relevant sectional specification, the transmission performance shall be recorded before the load is applied, and after the test when the load is zero. One of the two following tests shall be used, as indicated in the relevant sectional specification.

6.4.10.3.1 U-bend test

The cable shall be moved around the roller through a minimum 180° (U-bend) as shown in Figure 14.

The tension shall be continuously increased to the value given in the relevant sectional specification.

Moving the sample from point A to point B (see Figure 14) and then returning to point A is considered to be one cycle. The sample shall be subjected to bending under tension with the speed of movement and number of cycles given in the relevant sectional specification.

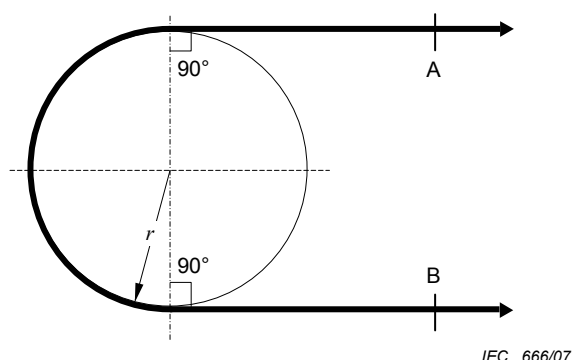


Figure 14 – U-bend test configuration

6.4.10.3.2 S-bend test

The cable shall be moved around two rollers in an S form manner (S-bend), as shown in Figure 15.

The tension shall be continuously increased to the value given in the relevant sectional specification.

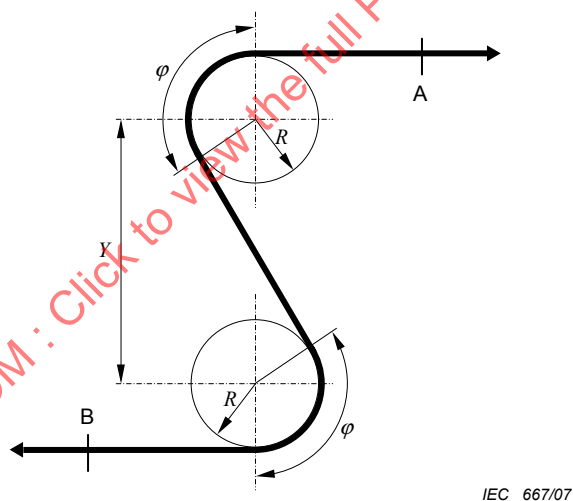


Figure 15 – S-bend test configuration

Moving the sample from point A to point B (see Figure 15) and then returning to point A is considered to be one cycle. The sample shall be subjected to bending under tension with the speed of movement and number of cycles given in the relevant sectional specification.

6.4.10.3.3 Dielectric strength

After completing the bending test, the sample shall be tested for conductor/conductor and conductor/screen dielectric strength. The magnitude of the voltage and the test duration shall be as given in the relevant sectional specification.

6.4.10.4 Test report

The test report shall give the following test conditions:

- bending test used (U-bend or S-bend);
- length of the test sample and the length between the sheath marks at points A and B;
- end preparation;
- tension device;
- radius, r , of rollers in the U-bend test;
- radius, R , of rollers in the S-bend test;
- roller separation, Y , in the S-bend test;
- bending angle, φ , in the S-bend test;
- speed of movement;
- number of moving cycles;
- applied voltage and duration in the dielectric strength test;
- maximum tension applied during test;
- test temperature,

and record the pass/fail conditions as required by the relevant sectional specification.

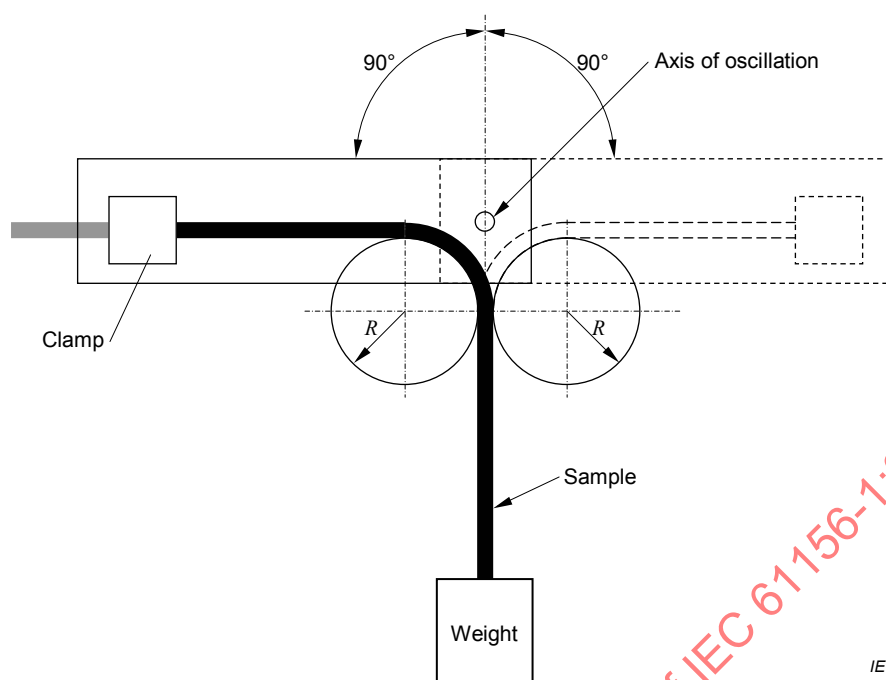
6.4.11 Repeated bending of the cable

6.4.11.1 Equipment

The apparatus shall permit a sample to be bent backwards and forwards through angles up to 180° , the two extreme positions making an angle of 90° on both sides of the vertical, whilst being subjected to a tensile load. A suitable apparatus is shown in Figure 16. Other equivalent apparatus may be used.

The bending arm shall have an adjustable clamp or fixture to hold the test sample securely during the entire test.

The apparatus shall be capable of cycling. Displacing the sample from the vertical position to the extreme right position then oscillating to the extreme left position and returning to the original vertical position is considered to be one cycle. Unless otherwise specified in the relevant sectional specification, the bending rate shall be approximately one cycle in 2 s.



IEC 668/07

Figure 16 – Repeated bending test configuration

The apparatus shall include any test equipment needed to measure the changes in transmission performance requested in the relevant sectional specification.

6.4.11.2 Test sample length

The sample length shall be sufficient to carry out the testing specified. When only physical damage is to be evaluated, the length may range from 1 m (for example, for small diameter patch cords) to 5 m (for larger diameter cables). Longer lengths may be necessary to permit transmission measurements.

The length of the test sample shall be indicated in the relevant sectional specification.

6.4.11.3 Procedure

The following procedure shall be followed.

- Precondition sample at ambient temperature for 24 h.
- Fix the sample to the apparatus as shown in Figure 16.
- Apply the weight of mass as shown in the relevant sectional specification.
- Measure acceptance criteria parameters to establish baseline values.
- Carry out repeated bending for the number of cycles specified in the relevant sectional specification.
- Carry out acceptance criteria parameter measurements. If necessary, the sample may be removed from the apparatus for visual examination.

6.4.11.4 Requirements

The acceptance criteria for the test shall be stated in the relevant sectional specification. Typical failure modes include loss of transmission performance, loss of continuity or physical damage to the cable.

6.4.11.5 Test report

The test report shall give the following test conditions:

- the angle of displacement;
- number of cycles;
- mass of the weight;
- bending radius, R ;
- test temperature.

The pass/fail conditions shall be recorded as required in the relevant sectional specification.

6.4.12 Tensile performance of the cable

The method of measuring the tensile performance of the cable is described in Clause 5 of IEC 60794-1-2.

6.4.13 Shock test of the cable

The method of measuring the shock performance of the cable is described in 3.4.4 of IEC 62012-1.

6.4.14 Bump test of the cable

The method of measuring the bump performance of the cable is described in 3.4.3 of IEC 62012-1.

6.4.15 Vibration test of the cable

The method of measuring the vibration performance of the cable is described in 3.4.2 of IEC 62012-1.

6.5 Environmental characteristics

6.5.1 Shrinkage of the insulation

The method of measuring the shrinkage of the insulation is described in Clause 10 of IEC 60811-1-3.

6.5.2 Wrapping test of the insulation after thermal ageing

The method of measuring the ageing performance of the insulation is described in Clause 10 of IEC 60811-4-2.

6.5.3 Bending test of the insulation at low temperature

The method of measuring the cold bend test performance is described in 8.1 of IEC 60811-1-4.

6.5.4 Elongation at break of the sheath after ageing

Samples of sheath are prepared and tested in accordance with 9.2 of IEC 60811-1-1 after ageing, in accordance with 8.1 of IEC 60811-1-2, for a time and temperature described in the relevant sectional specification.

6.5.5 Tensile strength of the sheath after ageing

Samples of sheath are prepared and tested in accordance with 9.2 of IEC 60811-1-1 after ageing, in accordance with 8.1 of IEC 60811-1-2, for a time and temperature described in the relevant sectional specification.

6.5.6 Sheath pressure test at high temperature

The method of measuring the sheath pressure test is described in 8.2 of IEC 60811-3-1.

6.5.7 Cold bend test of the cable

6.5.7.1 Equipment

The cold bend test apparatus shall be in accordance with IEC 60811-1-4 with a mandrel diameter as specified in the relevant sectional specification.

6.5.7.2 Test sample

The sample shall be taken from one end of the finished cable. The length shall be approximately $120 \times$ cable diameter and it shall be coiled to a diameter not less than $30 \times$ cable diameter.

6.5.7.3 Procedure

The sample and test apparatus shall be cooled in a cold chamber in accordance with test Aa of IEC 60068-2-1 for a period of not less than 4 h at the temperature specified in the relevant sectional specification.

If the mandrel is metal, it shall be conditioned at the same time as the sample.

After the cooling period and while still in the cold chamber, the sample shall be wrapped three times around the mandrel at a wrapping velocity of approximately 1 turn per 4 s. Alternatively, the sample may be removed from the chamber after conditioning and wound around the mandrel provided the test is completed within 30 s after removal from the chamber.

After completing the cold bend test, the sample shall be tested for conductor/conductor and conductor/screen dielectric strength. The magnitude of the voltage and the test duration shall be as given in the relevant sectional specification.

After the dielectric strength test, the sample shall be stripped into its component elements.

6.5.7.4 Test report

The test report shall give the following test conditions:

- cable diameter;
- coiling diameter;
- mandrel diameter;
- applied voltage and duration in the dielectric strength test;
- test temperature;

and record the pass/fail conditions as required in the relevant sectional specification.

6.5.8 Heat shock test

The method of measuring the heat shock is described in 9.2 of IEC 60811-3-1.

6.5.9 Damp heat steady state

The method of measuring the damp-heat steady-state performance of the cable is described in 3.5.2 of IEC 62012-1.

6.5.10 Solar radiation

Samples of the cable sheath shall be conditioned in a carbon-arc or xenon-arc weatherometer for a specified period of time. At the end of the conditioning period, the elongation and tensile strength of the specimens shall be measured, respectively, in accordance with 6.4.6 and 6.4.7. The results shall be compared to those obtained on unconditioned specimens.

6.5.11 Solvents and contaminating fluids

The method of measuring the solvents and contaminating fluids performance of the cable is described in 3.6.1 of IEC 62012-1.

6.5.12 Salt mist and sulphur dioxide

The method of measuring the salt mist and sulphur dioxide performance of the cable is described in 3.6.2 of IEC 62012-1.

6.5.13 Water immersion

A 100 m sample of the completed cable shall be immersed in water for a specified period of time at a temperature of $20\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$. At the end of the immersion period and while still immersed in the water, the insulation resistance of the conductors shall be measured in accordance with 6.2.4.

6.5.14 Hygroscopicity

The material is considered to be non-hygroscopic when a dry sample of the material is placed in an environment of $65\% \pm 5\%$ relative humidity and $20\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ for 3 h and the amount of moisture gained does not exceed 1 % by weight.

6.5.15 Wicking

6.5.15.1 Equipment

The following equipment shall be used in 6.5.15.2.

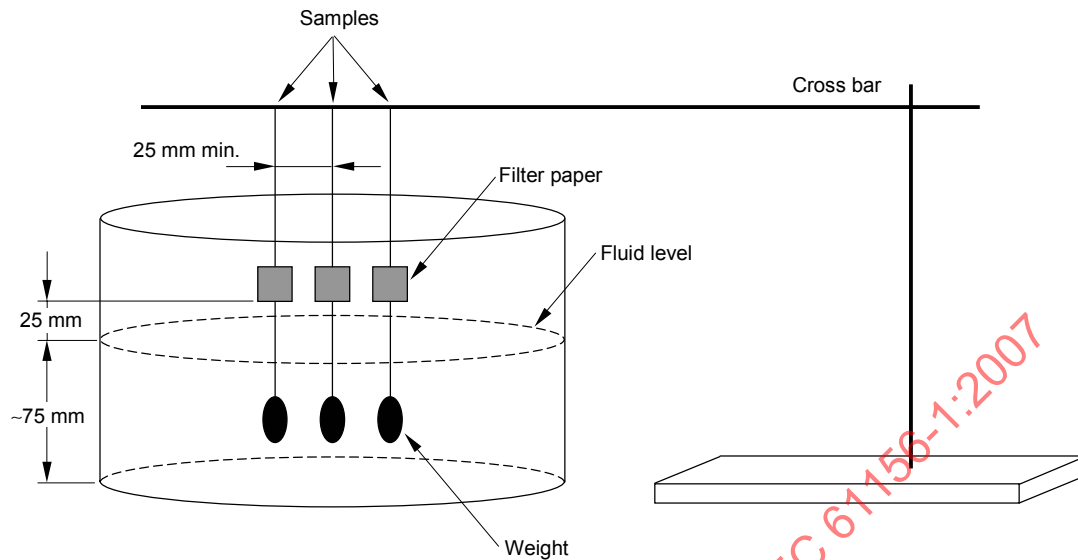
- a) Beaker: 500 ml to 1 000 ml.
- b) Laboratory stand: with movable crossbar.
- c) Weight: 25 g, lead sinker type (3).
- d) Fluorescein dye solution: 0,1 g/l of water.
- e) Filter paper 25 mm × 25 mm (3 pieces).

6.5.15.2 Procedure

The following procedure shall be used.

- a) Cut three (3) lengths of material, approximately 450 mm long, to be tested and attach lead sinker type weights to one end of each sample.
- b) Attach the opposite end of each sample length to the crossbar with a minimum space of 25 mm between samples. See Figure 17.
- c) Attach one section of filter paper to each sample with a paper clip, approximately 75 mm above the weight.
- d) Fill the beaker with the fluorescein solution to a depth of about 75 mm.
- e) Position the crossbar with attached, hanging samples in place directly over the filled beaker. Lower crossbar so that the weighted sample end enters the solution positioning the bottom of the filter paper 25 mm above the surface. Record time of entry.

- f) The sample shall be considered "non-wicking" if the solution does not wick and wet the lower edge of the filter paper within 6 h.



IEC 669/07

Figure 17 – Wicking test configuration

6.5.16 Flame propagation characteristics of a single cable

The method of measuring the burning performance of a single cable is specified in IEC 60332-1-1. When this method is not suitable because a small conductor may melt under the application of the flame, the cable shall be tested in accordance with IEC 60332-2-1.

6.5.17 Flame propagation characteristics of bunched cables

The method of measuring the burning performance of bunched cables is specified in IEC 60332-3-10 and in IEC 60332-3-24.

6.5.18 Halogen gas evolution

The method of measuring the evolution of halogen gas is specified in IEC 60754-2.

6.5.19 Smoke generation

The method of measuring the amount of smoke generated is specified in IEC 61034.

6.5.20 Toxic gas emission

Under consideration.

6.5.21 Integrated fire test method for cables in environmental air handling spaces

The method of testing the combined flame and smoke for cables in environmental air handling spaces is described in Annex A of IEC 62012-1.

Bibliography

IEC/TR 62152, *Background of terms and definitions of cascaded two-ports*

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61156-1:2007

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	51
1 Domaine d'application	53
2 Références normatives	53
3 Termes et définitions	55
4 Considérations d'installation	58
5 Matériaux et construction du câble	59
5.1 Remarques générales	59
5.2 Construction du câble	59
5.2.1 Conducteur	59
5.2.2 Enveloppe isolante	60
5.2.3 Elément de câblage	60
5.2.4 Constitution du câble	61
5.2.5 Ecran de l'âme du câble	61
5.2.6 Gaine	61
5.2.7 Identification	61
5.2.8 Câble terminé	62
6 Caractéristiques et exigences	62
6.1 Remarques générales – Configurations d'essai	62
6.2 Caractéristiques électriques et essais	62
6.2.1 Résistance du conducteur	62
6.2.2 Déséquilibre de résistance	63
6.2.3 Rigidité diélectrique	63
6.2.4 Résistance d'isolement	63
6.2.5 Capacité mutuelle	63
6.2.6 Déséquilibre de capacité à la terre	63
6.2.7 Impédance de transfert	64
6.2.8 Affaiblissement de couplage	64
6.2.9 Courant permanent admissible	64
6.3 Caractéristiques de transmission	64
6.3.1 Vitesse de propagation (vitesse de phase)	65
6.3.2 Temps de propagation de phase et temps de propagation différentiel (distorsion)	65
6.3.3 Affaiblissement	66
6.3.4 Affaiblissement de symétrie	68
6.3.5 Paradiaphonie	74
6.3.6 Télédiaphonie	76
6.3.7 Paradiaphonie exogène (due aux câbles voisins)	79
6.3.8 Télédiaphonie exogène (due aux câbles voisins)	83
6.3.9 Diaphonie exogène (due aux câbles voisins) des câbles en faisceaux	84
6.3.10 Impédance caractéristique moyenne et impédance d'entrée	84
6.3.11 Affaiblissement de réflexion	86
6.4 Caractéristiques et exigences mécaniques et dimensionnelles	86
6.4.1 Mesures dimensionnelles	86
6.4.2 Allongement à la rupture du conducteur	86
6.4.3 Résistance à la traction de l'enveloppe isolante	87

6.4.4	Allongement à la rupture de l'enveloppe isolante	87
6.4.5	Adhérence de l'enveloppe isolante au conducteur	87
6.4.6	Allongement à la rupture de la gaine	87
6.4.7	Résistance à la traction de la gaine	87
6.4.8	Essai d'écrasement du câble	87
6.4.9	Essai d'impact du câble	87
6.4.10	Courbure sous tension.....	87
6.4.11	Courbures répétées du câble.....	90
6.4.12	Tenue à la traction du câble	91
6.4.13	Essai de chocs du câble	91
6.4.14	Essai de secousses du câble.....	91
6.4.15	Essai de vibration du câble.....	92
6.5	Caractéristiques d'environnement.....	92
6.5.1	Retrait de l'enveloppe isolante.....	92
6.5.2	Essai d'enroulement de l'enveloppe isolante après vieillissement thermique	92
6.5.3	Essai de courbure de l'enveloppe isolante à basse température	92
6.5.4	Allongement à la rupture de la gaine après vieillissement.....	92
6.5.5	Résistance à la traction de la gaine après vieillissement	92
6.5.6	Essai de pression de la gaine à température élevée	92
6.5.7	Essai d'enroulement à froid du câble	92
6.5.8	Essai de choc thermique	93
6.5.9	Etat continu de chaleur humide	93
6.5.10	Rayonnement solaire.....	93
6.5.11	Fluides contaminants et solvants	93
6.5.12	Brouillard salin et anhydride sulfureux	93
6.5.13	Immersion dans l'eau	94
6.5.14	Caractère hygroscopique.....	94
6.5.15	Effet de mèche	94
6.5.16	Caractéristiques de propagation de la flamme sur un câble isolé	95
6.5.17	Caractéristiques de propagation de la flamme sur câbles en nappes	95
6.5.18	Emission de gaz halogénés	95
6.5.19	Emission de fumées	95
6.5.20	Emission de gaz toxiques	95
6.5.21	Méthode intégrée d'essai au feu pour les câbles dans les espaces de distribution d'air.....	95
	Bibliographie.....	96
	Figure 1 – Montage d'essai pour la mesure de l'affaiblissement, de la vitesse de propagation et du temps de propagation de phase.....	66
	Figure 2 – Montage d'essai pour la mesure des pertes en mode différentiel des symétriseurs	70
	Figure 3 – Montage d'essai pour la mesure des pertes en mode commun des symétriseurs	70
	Figure 4 – Montage d'essai pour les mesures d'affaiblissement de symétrie à l'extrémité proche (<i>ACT</i>).....	72
	Figure 5 – Montage d'essai pour les mesures d'affaiblissement de symétrie à l'extrémité distante (<i>ATCT</i>)	73

Figure 6 – Equipement d'essai pour paradiaphonie.....	75
Figure 7 – Equipement d'essai pour télédiaphonie	77
Figure 8 – Equipement d'essai pour paradiaphonie exogène (due aux câbles voisins)	80
Figure 9 – Assemblage d'essai en section droite; six câbles autour d'un câble	82
Figure 10 – Agencement de l'assemblage d'essai; six câbles autour d'un câble.....	82
Figure 11 – Assemblage d'essai en section droite; quatre câbles parallèles.....	83
Figure 12 – Assemblage d'essai sur touret; quatre câbles parallèles.....	83
Figure 13 – Equipement d'essai pour l'impédance caractéristique moyenne, l'impédance d'entrée et l'affaiblissement de réflexion.....	84
Figure 14 – Configuration de l'essai de courbure en U	88
Figure 15 – Configuration de l'essai de courbure en S	89
Figure 16 – Configuration de l'essai de courbures répétées	90
Figure 17 – Configuration de l'essai de l'effet de mèche	95
 Tableau 1 – Caractéristiques de fonctionnement du symétriseur d'essai	 69

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61156-1:2007

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**CÂBLES MULTICONDUCTEURS À PAIRES SYMÉTRIQUES
ET QUARTES POUR TRANSMISSIONS NUMÉRIQUES –****Partie 1: Spécification générique****AVANT-PROPOS**

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI 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, la CEI – 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 la CEI"). 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 la CEI, participent également aux travaux. La CEI 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 la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI 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 la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
- 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 la CEI, 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 la CEI, 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 la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, 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 la CEI peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 61156-1 a été établie par le sous-comité 46C: Câbles symétriques et fils, du comité d'études 46 de la CEI: Câbles, fils, guides d'ondes, connecteurs, composants passifs pour micro-onde et accessoires.

Les câbles sont classés dans l'étude du câblage générique pour la technologie de l'information pilotée par ISO/CEI JTC1/SC 25.

Cette troisième édition annule et remplace la deuxième édition parue en 2002 et inclut son Corrigendum 1 (2004). Cette édition constitue une révision technique.

Cette édition inclut les changements techniques significatifs suivants par rapport à la précédente édition:

- a) inclusion de définitions et de méthodes d'essai à l'appui de la table MICE dans ISO 24702;
- b) inclusion de définitions et de méthodes d'essai à l'appui des nouvelles catégories de câble 6_A et 7_A;
- c) inclusion de définitions à l'appui de PoEP.

Cette version bilingue, publiée en 2008-03, correspond à la version anglaise.

Le texte anglais de cette norme est basé sur la deuxième édition, son Amendement 3 et sur les documents 46C/815/FDIS et 46C/823/RVD. Le rapport de vote 46C/823/RVD donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

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

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

La liste de toutes les parties de la série CEI 61156, sous le titre général *Câbles multiconducteurs à paires symétriques et quartes pour transmissions numériques*, peut être trouvée sur le site web de la CEI.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de maintenance indiquée sur le site web de la CEI 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.

Le contenu du corrigendum d'août 2015 a été pris en considération dans cet exemplaire.

CÂBLES MULTICONDUCTEURS À PAIRES SYMÉTRIQUES ET QUARTES POUR TRANSMISSIONS NUMÉRIQUES –

Partie 1: Spécification générique

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 61156 est applicable aux systèmes de transmission tels que le RNIS (ISDN), les réseaux locaux et les systèmes de transmissions de données, et spécifie les définitions, les exigences et les méthodes d'essai des câbles multiconducteurs, à paires symétriques et à quartes.

Cette norme est aussi applicable aux câbles utilisés pour le câblage des locaux des clients.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 60028, *Spécification internationale d'un cuivre-type recuit*

CEI 60050-726, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Partie 726: Lignes de transmission et guides d'ondes*

CEI 60068-2-1, *Essais d'environnement – Partie 2-1: Essais – Essai A: Froid*

CEI 60169-22, *Connecteurs pour fréquences radioélectriques – Vingt-deuxième partie: Connecteurs à deux pôles pour fréquences radioélectriques à verrouillage à baïonnette, applicables à des câbles symétriques blindés à deux conducteurs intérieurs (type BNO)*

CEI 60189-1:1986, *Low-frequency cables and wires with PVC insulation and PVC sheath – Part 1: General test and measuring methods*¹⁾

CEI 60304, *Couleurs de référence de l'enveloppe isolante pour câbles et fils pour basses fréquences*

CEI 60332-1-1, *Essais des câbles électriques et à fibres optiques soumis au feu – Partie 1-1: Essai de propagation verticale de la flamme sur conducteur ou câble isolé – Appareillage d'essai*

CEI 60332-2-1, *Essais des câbles électriques et à fibres optiques soumis au feu – Partie 2-1: Essai de propagation verticale de la flamme sur conducteur ou câble isolé de petite section – Appareillage d'essai*

CEI 60332-3-10, *Essais des câbles électriques soumis au feu – Partie 3-10: Essai de propagation verticale de la flamme des fils ou câbles en nappes en position verticale – Appareillage*

¹⁾ Il existe une édition 2007 de la CEI 60189-1.

CEI 600332-3-24, *Essais des câbles électriques soumis au feu – Partie 3-24: Essai de propagation verticale de la flamme des fils ou câbles en nappes en position verticale – Catégorie C*

CEI 60708, *Low-frequency cables with polyolefin insulation and moisture barrier polyolefin sheath – Part 1: General design details and requirements* (disponible en anglais seulement)

CEI 60754-2, *Essai sur les gaz émis lors de la combustion des câbles électriques – Partie 2: Détermination de l'acidité des gaz émis lors de la combustion d'un matériau prélevé sur un câble par mesurage du pH et de la conductivité*

CEI 60794-1-2:2003, *Câbles à fibres optiques – Partie 1-2: Spécification générique – Procédures de base applicables aux essais des câbles optiques*

CEI 60811-1-1:1993, *Méthodes d'essais communes pour les matériaux d'isolation et de gainage des câbles électriques et des câbles optiques – Partie 1-1: Méthodes d'application générale – Mesure des épaisseurs et des dimensions extérieures – Détermination des propriétés mécaniques*

CEI 60811-1-2:1985, *Méthodes d'essais communes pour les matériaux d'isolation et de gainage des câbles électriques – Première partie: Méthodes d'application générale – Section deux: Méthodes de vieillissement thermique*

CEI 60811-1-3:1993, *Méthodes d'essais communes pour matériaux d'isolation et de gainage des câbles électriques et optiques – Partie 1-3: Application générale – Méthodes de détermination de la masse volumique – Essais d'absorption d'eau – Essai de rétraction*

CEI 60811-1-4:1985, *Méthodes d'essais communes pour les matériaux d'isolation et de gainage des câbles électriques – Première partie: Méthodes d'application générale – Section quatre: Essais à basse température*

CEI 60811-3-1:1985, *Méthodes d'essais communes pour les matériaux d'isolation et de gainage des câbles électriques – Troisième partie: Méthodes spécifiques pour les mélanges PVC – Section une: Essai de pression à température élevée – Essais de résistance à la fissuration*

CEI 60811-4-2:2004, *Matériaux d'isolation et de gainage des câbles électriques et optiques – Méthodes d'essais communes – Partie 4-2: Méthodes spécifiques pour les mélanges polyéthylène et polypropylène – Résistance à la traction et allongement à la rupture après conditionnement à température élevée – Essai d'enroulement après conditionnement à température élevée – Essai d'enroulement après vieillissement thermique dans l'air – Mesure de l'augmentation de masse – Essai de stabilité à long terme – Méthode d'essai pour l'oxydation catalytique par le cuivre*

CEI 61034 (toutes les parties), *Mesure de la densité de fumées dégagées par des câbles brûlant dans des conditions définies*

CEI 61196-1-105, *Câbles coaxiaux de communication – Partie 1-105: Méthodes d'essai électrique – Essai pour la tension de tenue du diélectrique du câble*

CEI 62012-1:2004, *Câbles multiconducteurs à paires symétriques et quarts pour transmissions numériques utilisés en environnements sévères – Partie 1: Spécification générique*

CEI 62153-4-3, *Méthodes d'essais des câbles métalliques de communication – Partie 4-3: Compatibilité électromagnétique (CEM) – Impédance surfacique de transfert – Méthode triaxiale*

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

CEI 62153-4-5, *Méthodes d'essai des câbles de métalliques de communication – Partie 4-5: Compatibilité électromagnétique (CEM) – Affaiblissement d'écran ou de couplage – Méthode de la pince absorbante*

CEI 62255 (toutes les parties), *Câbles multiconducteurs à paires symétriques et quarte pour transmissions numériques large bande (réseau d'accès télécommunications numériques à haut débit) – Câbles pour installations extérieures*

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

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

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants, ainsi que ceux donnés dans CEI 60050-726 sont applicables.

3.1

déséquilibre de résistance

différence de résistance entre conducteurs dans une paire ou un circuit d'une quarte, ou entre paires ou quarte

NOTE Le déséquilibre de résistance s'exprime en pourcentage (%).

3.2

déséquilibre de capacité par rapport à la terre

différence arithmétique de capacité par rapport à la terre des conducteurs d'une paire ou d'un même circuit d'une quarte

NOTE Le déséquilibre de capacité s'exprime en pF/m.

3.3

capacité mutuelle

paramètre de stockage de charge électrique d'une paire de conducteurs (ou d'un même circuit d'une quarte)

NOTE 1 La capacité mutuelle est l'un des quatre paramètres primaires d'une ligne de transmission: capacité mutuelle, inductance mutuelle, résistance et conductance.

NOTE 2 La capacité mutuelle s'exprime en pF/m.

3.4

vitesse de propagation (vitesse de phase)

vitesse à laquelle un signal sinusoïdal se propage sur une paire dans le câble

NOTE La vitesse de propagation s'exprime en m/s.

3.5

temps de propagation (temps de propagation de phase)

durée entre les instants où le front d'onde d'une onde progressive sinusoïdale, définie par une phase spécifiée, passe en deux points spécifiés dans un câble

NOTE Le temps de propagation de phase s'exprime en s/m.

3.6

temps de propagation différentiel (distorsion)

différence en temps de propagation de phase entre deux paires quelconques dans le câble

NOTE Le temps de propagation différentiel (distorsion) s'exprime en s.

3.7

affaiblissement

diminution en grandeur de la puissance d'un signal qui se propage le long d'une paire d'un câble.

NOTE L'affaiblissement s'exprime en dB/m.

3.8

affaiblissement de symétrie

grandeur de la puissance d'un signal qui se propage entre le circuit en mode commun et entre le circuit en mode différentiel d'un câble

NOTE L'affaiblissement de symétrie s'exprime en dB.

3.9

paradiaphonie

NEXT

grandeur de la puissance d'un signal d'une paire perturbatrice à l'extrémité proche induite dans une paire perturbée mesurée à l'extrémité proche

NOTE La paradiaphonie s'exprime en dB.

3.10

télédiaphonie

FEXT

grandeur de la puissance d'un signal d'une paire perturbatrice à l'extrémité proche induite dans une paire perturbée mesurée éloignée

NOTE La télédiaphonie s'exprime en dB.

3.11

sommation en puissance de la diaphonie

PS

sommation de la puissance de diaphonie de toutes les paires perturbatrices vers une paire perturbée

NOTE 1 La sommation est applicable à la paradiaphonie et à la télédiaphonie.

NOTE 2 La sommation en puissance de la diaphonie s'exprime en dB.

3.12

rapport affaiblissement à diaphonie, en extrémité proche

ACR-N

différence arithmétique entre la paradiaphonie et l'affaiblissement d'une paire perturbée

NOTE Le rapport affaiblissement à diaphonie, en extrémité proche, s'exprime en dB.

3.13

rapport affaiblissement à diaphonie, en extrémité éloignée

ACR-F

différence arithmétique entre la télédiaphonie et l'affaiblissement d'une paire perturbée

NOTE Le rapport affaiblissement à diaphonie, en extrémité éloignée, s'exprime en dB.

3.14**paradiaphonie exogène (due aux câbles voisins)***ANEXT*

paradiaphonie où les paires perturbatrice et perturbée sont contenues dans des câbles différents

NOTE La paradiaphonie exogène (due aux câbles voisins) s'exprime en dB.

3.15**télédiaphonie exogène (due aux câbles voisins)***AFEXT*

télédiaphonie où les paires perturbatrice et perturbée sont contenues dans des câbles différents

NOTE La paradiaphonie exogène (due aux câbles voisins) s'exprime en dB.

3.16**sommation en puissance de la diaphonie exogène (due aux câbles voisins)***PSA*

sommation de la puissance de diaphonie exogène (due aux câbles voisins) de toutes les paires perturbatrices induite vers une paire perturbée dans câbles différents

NOTE 1 La sommation est applicable à la paradiaphonie et à la télédiaphonie exogènes (due aux câbles voisins).

NOTE 2 La sommation en puissance de la diaphonie exogène (due aux câbles voisins) s'exprime en dB.

3.17**impédance caractéristique***Z_c*

impédance à l'entrée d'une ligne homogène de longueur infinie

NOTE 1 La valeur asymptotique en haute fréquence est désignée par Z_{∞} .

NOTE 2 L'impédance caractéristique d'une paire homogène dans un câble est donnée par le quotient d'une onde de tension et d'une onde de courant se propageant dans la même direction, soit en avant soit en arrière.

NOTE 3 L'impédance caractéristique s'exprime en Ω .

3.18**impédance caractéristique moyenne***Z_{Cm}*

impédance calculée comme la moyenne géométrique du produit des impédances obtenues aux bornes d'entrée d'une paire du câble lorsque l'extrémité éloignée est terminée par une charge en circuit ouvert et en court circuit

NOTE L'impédance caractéristique moyenne s'exprime en Ω .

3.19**impédance d'entrée***Z_{in}*

impédance aux bornes d'entrée d'une paire du câble

NOTE 1 La paire est terminée sur l'impédance de référence, Z_R (impédance nominale du système), à l'extrémité proche et à l'extrémité éloignée. Voir la CEI/TR 62152.

NOTE 2 L'impédance d'entrée s'exprime en Ω .

3.20

impédance d'entrée ajustée

impédance calculée à partir d'un algorithme d'ajustement utilisant la fonction des moindres carrés

NOTE L'impédance d'entrée ajustée s'exprime en Ω .

3.21

affaiblissement de réflexion

RL

rapport de la puissance réfléchie à la puissance d'entrée aux bornes d'entrée d'une paire d'un câble

NOTE L'affaiblissement de réflexion s'exprime en dB.

3.22

symétriseur

transformateur adaptant l'impédance symétrique / non symétrique

3.23

câble en faisceau

groupage ou réunion de plusieurs câbles élémentaires qui sont systématiquement rassemblés

NOTE Les assemblages de câbles se réfèrent aussi aux faisceaux avec attaches rapides, et divers câbles sanglés entre eux.

3.24

courant permanent admissible

courant permanent admissible d'un conducteur qui entraîne une augmentation spécifiée de la température de surface du conducteur au-delà de la température ambiante

NOTE Le conducteur peut être nu, isolé ou contenu dans un câble.

3.25

caractère hygroscopique

caractéristique d'un matériau à absorber l'humidité de l'atmosphère

3.26

effet de mèche

écoulement longitudinal d'un liquide dans un matériau dû à l'action de capillarité

3.27

affaiblissement de couplage

rapport entre la puissance transmise à travers les conducteurs et la puissance de crête maximale rayonnée, conduite et générée par les courants en mode commun excités

4 Considérations d'installation

Les câbles doivent être conçus pour satisfaire aux conditions d'installation rencontrées dans chaque zone, comme suit.

a) Câbles d'équipement

Câbles utilisés entre les postes de travail et les équipements périphériques (par exemple imprimante)

b) Câbles de zone de travail

Câbles utilisés entre le poste de travail et les prises de télécommunications

c) Câbles capillaires

Câbles utilisés entre la prise de télécommunications de la zone de travail et le coffret de télécommunications

d) Câbles de colonne et câbles de dorsale d'immeuble

Câbles utilisés pour installation horizontale ou verticalement entre étages

e) Câbles de campus

Câbles utilisés pour interconnecter des bâtiments et qui doivent être appropriés pour installation extérieure. Il convient que les câbles soient gainés et protégés conformément à CEI 62255.

5 Matériaux et construction du câble

5.1 Remarques générales

Le choix des matériaux et de la construction du câble doit convenir à l'application et l'installation envisagées pour le câble. Une attention particulière doit être portée pour satisfaire à toute exigence spéciale pour l'EMC (compatibilité électromagnétique) ou la tenue au feu.

5.2 Construction du câble

La construction des câbles doit être conforme aux détails et aux dimensions donnés dans la spécification particulière applicable.

5.2.1 Conducteur

Le conducteur doit être en cuivre recuit, de qualité uniforme et exempt de défauts. Les propriétés du cuivre doivent être en conformité avec la CEI 60028.

Le conducteur peut être massif ou câblé. Le conducteur massif doit être de section circulaire et peut être nu ou avec revêtement métallique. Le conducteur massif doit être tréfilé d'un seul tenant. Des soudures sur le conducteur massif sont permises pourvu que la résistance à la traction d'une soudure ne soit pas inférieure à 85 % de la résistance à la traction d'un conducteur sans soudure.

Le conducteur câblé doit être constitué de brins de section circulaire et sans isolation entre eux, assemblés en concentrique ou en tordon.

NOTE L'utilisation de tordon n'est pas recommandée pour l'application connexion par déplacement d'isolant (IDC).

Les brins élémentaires du conducteur peuvent être nus ou avec revêtement métallique.

Des soudures sur les brins élémentaires sont permises pourvu que la résistance à la traction d'une soudure ne soit pas inférieure à 85 % de la résistance à la traction d'un brin élémentaire sans soudure. Des soudures sur le conducteur câblé complet ne sont pas permises sauf dérogation dans la spécification particulière applicable.

Le conducteur des câbles de zone de travail et des câbles d'équipement peut être constitué d'un ou plusieurs éléments de rubans minces en cuivre ou alliage de cuivre qui doivent être appliqués en hélice sur une mèche fibreuse. Des soudures sur l'élément complet ne sont pas permises.

5.2.2 Enveloppe isolante

L'enveloppe isolante du conducteur est composée d'un ou plusieurs matériaux diélectriques appropriés. L'isolation peut être massive, cellulaire ou composite (par exemple polyéthylène cellulaire).

L'enveloppe isolante doit être continue et d'épaisseur uniforme.

L'enveloppe isolante doit être appliquée de façon à adhérer étroitement au conducteur.

Les conducteurs isolés peuvent être identifiés par couleurs, et/ou marquage additionnel par anneaux, et/ou symboles obtenus en utilisant une enveloppe isolante colorée ou par coloration en surface à partir d'extrusion, d'impression ou de peinture. Les couleurs doivent être facilement identifiables et doivent correspondre raisonnablement aux couleurs standard de la CEI 60304.

5.2.2.1 Code de couleurs

Le code de couleurs de l'enveloppe isolante est donné dans la spécification particulière applicable.

5.2.3 Élément de câblage

5.2.3.1 Généralités

L'élément de câblage est:

- une paire constituée de deux conducteurs isolés torsadés ensemble et désignés respectivement comme conducteur "a" et conducteur "b", ou
- une quarte constituée de quatre conducteurs isolés torsadés ensemble et désignés respectivement comme conducteur "a", conducteur "c", conducteur "b" et conducteur "d", dans l'ordre de rotation.

Le choix de la longueur moyenne maximale du pas dans le câble terminé doit être effectué eu égard aux exigences spécifiées pour la diaphonie, au comportement en manipulation et à l'intégrité de la paire ou de la quarte.

NOTE La formation de l'élément avec un pas variable peut conduire à la rencontre peu fréquente mais acceptable d'un pas maximal dépassant la valeur spécifiée.

5.2.3.2 Ecran de l'élément de câblage

Lorsqu'un écran est prescrit sur la paire ou la quarte, il peut comporter ce qui suit:

- a) un ruban d'aluminium contrecollé à un ruban plastique;
- b) un ruban d'aluminium contrecollé à un ruban plastique et un fil de continuité en cuivre nu ou avec revêtement métallique par lequel le ruban métallique est en contact avec le fil de continuité;
- c) une tresse métallique;
- d) un ruban d'aluminium contrecollé à un ruban plastique et une tresse métallique.

Il convient de faire attention lorsque des matériaux dissemblables sont mis en contact les uns avec les autres. Des revêtements ou autres méthodes de protection peuvent être nécessaires pour empêcher toute interaction galvanique.

Un rubanage de protection peut être appliqué sous et/ou sur l'écran.

5.2.4 Constitution du câble

Les éléments de câblage peuvent être assemblés en couches concentriques ou en faisceaux. L'âme du câble peut être protégée par un enroulement de ruban non hygroscopique, exempt d'effet de mèche.

NOTE 1 Des bourrages peuvent être utilisés pour maintenir une formation circulaire.

NOTE 2 La formation de l'élément avec un pas variable peut conduire à la rencontre peu fréquente mais acceptable d'un pas maximal dépassant la valeur spécifiée.

5.2.5 Ecran de l'âme du câble

L'âme du câble peut comporter un écran constitué par

- a) un ruban d'aluminium contrecollé à un ruban plastique qui peut être collé à la gaine;
- b) un ruban d'aluminium contrecollé à un ruban plastique et un fil de continuité en cuivre nu ou avec revêtement métallique par lequel le ruban métallique est en contact avec le fil de continuité;
- c) une tresse métallique;
- d) un ruban d'aluminium contrecollé à un ruban plastique et une tresse métallique;
- e) un ruban en cuivre nu ou en aluminium.

Il convient de faire attention lorsque des matériaux dissemblables sont mis en contact les uns avec les autres. Des revêtements ou autres méthodes de protection peuvent être nécessaires pour empêcher toute interaction galvanique.

Un rubanage de protection peut être appliqué sous et/ou sur l'écran.

5.2.6 Gaine

La gaine doit être constituée d'un matériau polymère.

La gaine doit être continue et d'épaisseur uniforme.

La gaine doit être appliquée de façon à adhérer étroitement à l'âme du câble. Dans le cas des câbles avec écran, la gaine ne doit pas adhérer à l'écran sauf lorsqu'elle est intentionnellement collée à lui.

La couleur de la gaine peut être spécifiée dans la spécification particulière applicable.

5.2.7 Identification

5.2.7.1 Marquage du câble

Chaque longueur de câble doit porter le nom du fournisseur et le type de câble et, lorsque elle est fournie, l'année de fabrication en utilisant l'une des méthodes suivantes:

- a) filins colorés ou rubans;
- b) ruban imprimé;
- c) impression sur la ceinture de l'âme du câble;
- d) marquage sur la gaine.

Des marquages supplémentaires peuvent être stipulés sur la gaine comme indiqué dans la spécification particulière applicable.

5.2.7.2 Etiquetage

Les informations suivantes doivent être fournies, soit sur une étiquette attachée à chaque longueur de câble terminé, soit à l'extérieur de l'emballage du produit:

- a) type de câble;
- b) nom du fournisseur ou logo;
- c) année de fabrication;
- d) longueur du câble en mètres.

5.2.8 Câble terminé

Le câble terminé doit avoir une protection adéquate pour le stockage et l'expédition.

6 Caractéristiques et exigences

6.1 Remarques générales – Configurations d'essai

Les configurations d'essai typiques pour l'éprouvette sont

- a) disposée sur une surface non métallique à 25 mm au moins d'une surface conductrice;
- b) maintenue en portées aériennes de sorte qu'il y ait une séparation minimale de 25 mm entre enroulements;
- c) enroulée en une seule hélice à spires non serrées sur un touret avec 25 mm au moins entre tours.

Les configurations a), b) et c) ne sont pas nécessaires pour les câbles avec écran.

Les paramètres de capacité mutuelle, diaphonie, impédance caractéristique et affaiblissement présentent quelquefois des valeurs mesurées jusqu'à 10 % plus élevées lorsque le câble est mesuré dans son emballage. Cette différence se produit du fait d'un conditionnement dense et serré, et d'un effet entre spires. L'emballage en caisse peut également affecter négativement les caractéristiques du câble affaiblissement de réflexion, diaphonie et impédance caractéristique, avec rétablissement total ou partiel des performances du câble après installation.

En cas de doute, les mesures de capacité mutuelle, impédance, affaiblissement et diaphonie doivent être effectuées sur un échantillon de câble retiré de son emballage.

Les procédures de mesure pour la diaphonie exogène (due aux câbles voisins) spécifient des options pour le montage des câbles suivant des configurations d'essai spéciales.

Les résistances d'extrémité en mode commun doivent être de

- 0 Ω pour les câbles à paires sous écran individuel;
- 25 Ω pour les câbles sous écran collectif;
- 45 Ω à 50 Ω pour les câbles sans écran.

6.2 Caractéristiques électriques et essais

6.2.1 Résistance du conducteur

La mesure de la résistance du conducteur doit être en conformité avec 6.1 de la CEI 60189-1.

6.2.2 Déséquilibre de résistance

La mesure du déséquilibre de résistance et la précision de l'équipement de mesure doivent être en conformité avec la CEI 60708.

6.2.2.1 Déséquilibre de résistance dans une paire

Le déséquilibre de résistance entre conducteurs d'une paire ou d'un même circuit d'une quarte est donné par

$$\Delta R = \frac{(R_{\max} - R_{\min})}{(R_{\max} + R_{\min})} \times 100 \quad (1)$$

où

ΔR est le déséquilibre de résistance entre conducteurs (%);

$R_{\max}$ est la résistance pour le conducteur ayant la valeur de résistance la plus élevée (Ω);

$R_{\min}$ est la résistance pour le conducteur ayant la valeur de résistance la plus faible (Ω).

6.2.2.2 Déséquilibre de résistance entre paires

Le déséquilibre de résistance entre paires ou entre circuits de quartes est donné par

$$\Delta RP_{i,k} = 100 \frac{\left| R_{\max i} \cdot R_{\min i} (R_{\max k} + R_{\min k}) - R_{\max k} \cdot R_{\min k} (R_{\max i} + R_{\min i}) \right|}{R_{\max i} \cdot R_{\min i} (R_{\max k} + R_{\min k}) + R_{\max k} \cdot R_{\min k} (R_{\max i} + R_{\min i})} \quad (2)$$

où

$\Delta RP_{i,k}$ est le déséquilibre de résistance entre la paire i et la paire k (%);

$R_{\max}$ est la résistance du conducteur ayant la valeur de résistance la plus élevée d'une paire (Ω);

$R_{\min}$ est la résistance du conducteur ayant la valeur de résistance la plus faible d'une paire (Ω);

i, k $i \neq k$ où $i = 1$ à n et $k = 1$ à n pour $n =$ nombre de paires.

6.2.3 Rigidité diélectrique

La mesure de la rigidité diélectrique doit être en conformité avec la CEI 61196-1-105 pour conducteur/conducteur, conducteur/écran et écran/écran.

6.2.4 Résistance d'isolement

La mesure de la résistance d'isolement entre conducteur/conducteur, conducteur/écran et écran/écran doit être en conformité avec 6.3 de la CEI 60189-1. La tension d'essai doit être entre 100 V et 500 V c.c. sauf spécification contraire dans la spécification particulière.

6.2.5 Capacité mutuelle

La mesure de la capacité mutuelle des paires dans un câble multipaires ou à quartes doit être en conformité avec 6.4 de la CEI 60189-1.

6.2.6 Déséquilibre de capacité à la terre

La mesure du déséquilibre de capacité dans un câble multipaires ou à quartes doit être en conformité avec 6.5 de la CEI 60189-1.

Le déséquilibre de capacité par rapport à la terre d'une paire ou d'un circuit d'une quarte est donné par:

$$\Delta C_e = C_1 - C_2 \quad (3)$$

où

ΔC_e est le déséquilibre de capacité de la paire par rapport à la terre (pF/m);

C_1 est la capacité entre le conducteur "a" et le conducteur "b" avec le conducteur "b" connecté à tous les autres conducteurs, à l'écran (s'il existe) et à la terre (pF/m);

C_2 est la capacité entre le conducteur "b" et le conducteur "a" avec le conducteur "a" connecté à tous les autres conducteurs, à l'écran (s'il existe) et à la terre (pF/m).

Si le câble en essai a une longueur, L , autre que 500 m, la valeur mesurée doit être corrigée:

– pour le déséquilibre entre paires et réel-réel par:

$$C_{\text{corr}} = \frac{C_{\text{meas}}}{0,5 \times (L/500 + \sqrt{L/500})} \quad (4)$$

– pour le déséquilibre paire-terre et réel-terre par:

$$C_{\text{corr}} = \frac{C_{\text{meas}}}{L/500} \quad (5)$$

où

C_{corr} est la capacité corrigée (pF/m);

C_{meas} est la capacité mesurée (pF/m);

L est la longueur du câble en essai (m).

6.2.7 Impédance de transfert

La mesure de l'impédance de transfert doit se faire conformément à CEI 62153-4-3. Tous les écrans doivent être connectés ensemble aux extrémités de l'éprouvette. L'impédance de transfert doit être mesurée sur toute la plage de fréquences indiquée dans la spécification intermédiaire applicable.

6.2.8 Affaiblissement de couplage

La mesure de l'affaiblissement de couplage doit se faire conformément à CEI 62153-4-5. Tous les écrans doivent être connectés ensemble aux extrémités de l'éprouvette. L'affaiblissement de couplage doit être mesuré sur toute la plage de fréquences indiquée dans la spécification intermédiaire applicable.

6.2.9 Courant permanent admissible

A l'étude.

6.3 Caractéristiques de transmission

Les mesures de transmission sont effectuées en condition équilibrée, avec équipement de mesure (analyseur de réseau ou générateur de signal/récepteur) et transformateurs symétriseurs pour connecter le câble à l'équipement. Les symétriseurs doivent être sélectionnés pour adapter l'équipement d'essai à l'impédance nominale du câble et doivent avoir les caractéristiques de fonctionnement appropriées données au Tableau 1. La désadaptation résiduelle des symétriseurs est compensée en calibrant le système avec les symétriseurs connectés à une courte longueur (≤ 1 m) du câble à essayer.

6.3.1 Vitesse de propagation (vitesse de phase)

La vitesse de propagation doit être déterminée sur la plage de fréquences indiquée dans la spécification intermédiaire applicable.

Le schéma de l'équipement d'essai est donné à la Figure 1. Pour cette mesure, les accès du symétriseur en mode commun sont optionnels.

La mesure détermine l'intervalle de fréquence, Δ_f , pour lequel la phase du signal de sortie présente une rotation de 2π radians par rapport au signal d'entrée.

La vitesse de propagation est déterminée à partir de:

$$v_p = L \cdot \Delta_f \quad (6)$$

où

v_p est la vitesse de phase (m/s);

L est la longueur du câble en essai (m);

Δ_f est l'intervalle de fréquence (Hz).

Afin d'évaluer Δ_f avec suffisamment de précision, la différence de fréquence Δ_f pour n rotations de 2π radians peut être mesurée comme:

$$\Delta_f = \Delta_{f'} / n \quad (7)$$

où

$\Delta_{f'}$ est la différence de fréquence pour n rotations;

n est le nombre de rotations ≤ 10 .

6.3.2 Temps de propagation de phase et temps de propagation différentiel (distorsion)

Le temps de propagation de phase est déterminé à partir de la vitesse de phase:

$$\tau_p = \frac{L}{v_p} \quad (8)$$

où

τ_p est le temps de propagation de phase (s);

v_p est la vitesse de phase (m/s);

L est la longueur du câble en essai (m).

Le temps de propagation différentiel (distorsion) est déterminé à partir de:

$$\Delta\tau_p = \left| L \cdot \left(\frac{1}{v_{p,1}} - \frac{1}{v_{p,2}} \right) \right| \quad (9)$$

où

$\Delta\tau_p$ est le temps de propagation différentiel (distorsion) (s);

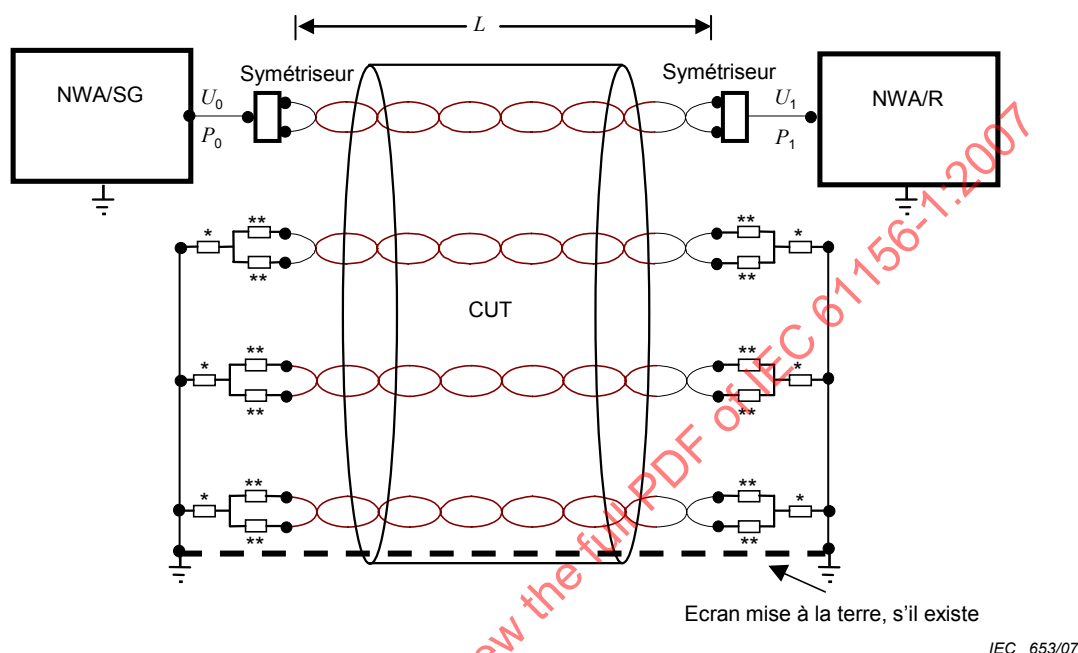
$v_{p,1}$ est la vitesse de phase d'une paire (m/s);

$v_{p,2}$ est la vitesse de phase d'une autre paire (m/s).

6.3.3 Affaiblissement

6.3.3.1 Affaiblissement à température ambiante

La mesure doit s'effectuer sur la plage de fréquences indiquée dans la spécification intermédiaire applicable. Le schéma d'essai est donné sur la Figure 1. Pour cette mesure, les accès en mode commun du symétriseur sont optionnels.



Légende

CUT	câble en essai
NWA/SG	accès à l'analyseur de réseau ou au générateur de signal
NWA/R	accès à l'analyseur de réseau ou au récepteur
•	résistance d'extrémité en mode commun (voir 6.1)
**	résistance d'extrémité en mode différentiel (adapté en paires)
L	longueur du câble en essai (m)
U_0	tension à l'accès analyseur de réseau ou au générateur de signal (V)
U_1	tension à l'accès analyseur de réseau ou au récepteur (V)
P_0	puissance à l'accès analyseur de réseau ou au générateur de signal (W)
P_1	puissance à l'accès analyseur de réseau ou au récepteur (W)

Figure 1 – Montage d'essai pour la mesure de l'affaiblissement, de la vitesse de propagation et du temps de propagation de phase

Les mesures sont effectuées à température ambiante et l'affaiblissement sur une longueur de câble de 100 m est donné par l'équation (10).

$$\begin{aligned}\alpha &= 10 \times \log_{10} \left(\frac{P_0}{P_1} \right) \\ &= 20 \times \log_{10} \left(\frac{U_0}{U_1} \right)\end{aligned}\quad (10)$$

où

α est l'affaiblissement mesuré (dB/100 m) et est corrigé à 20 °C comme suit.

$$\alpha_{20} = \frac{\alpha}{1 + \delta_{\text{cable}} \cdot (T - 20)} \quad (11)$$

où

α_{20} est l'affaiblissement corrigé à 20 °C (dB/100 m);

δ_{cable} est le coefficient de température de l'affaiblissement (%/°C);

T est la température ambiante (°C).

Les valeurs du coefficient de température de l'affaiblissement sont données dans la spécification intermédiaire applicable.

6.3.3.2 Affaiblissement à températures élevées

6.3.3.2.1 Chambre d'essai

La chambre d'essai doit être soit une étuve à circulation d'air soit une chambre climatique. La chambre d'essai doit être en mesure de maintenir la température d'essai prescrite à ± 2 °C, pour la durée de l'essai. Les dimensions de la chambre doivent être appropriées pour contenir l'échantillon et les aménagements tels que prescrit pour maintenir l'échantillon. La chambre d'essai doit être pourvue d'accès pour la connexion de l'échantillon à l'équipement d'essai. La longueur maximale des extrémités de câble hors de la chambre d'essai doit être de 1 m.

6.3.3.2.2 Préparation de l'échantillon et configuration de l'essai

L'échantillon peut être enroulé non serré avec un diamètre minimal de 18 cm et placé dans la chambre. Dans cette configuration, les spires de l'enroulement peuvent être en étroite proximité et des couplages entre spires peuvent apparaître dans les résultats d'essai pour les câbles sans écran.

L'échantillon peut, comme alternative, être enroulé sur un touret non métallique avec les spires adjacentes séparées au minimum de 2,5 cm, ce qui éliminera les couplages entre spires pour les câbles sans écran.

6.3.3.2.3 Procédure d'essai

L'affaiblissement de l'échantillon doit être mesuré à la température ambiante suivant 6.3.3.1 après conditionnement dans la chambre pendant au moins 4 h.

La température dans la chambre doit être maintenue à la température prescrite et l'affaiblissement de l'échantillon doit être mesuré de nouveau après une durée comprise entre 4 h et 24 h.

Un algorithme mathématique de lissage qui peut être appliqué aux données de mesure de l'affaiblissement pour corriger les couplages entre spires est donné par la formule suivante:

$$\alpha_{sm} = a + b \times \sqrt{f} + c \times f + d / \sqrt{f} \quad (12)$$

où

α_{sm} est l'affaiblissement lissé (dB/100 m);

a, b, c, d sont les coefficients de régression;

f est la fréquence (Hz).

6.3.3.3 Coefficient de température de l'affaiblissement

Le coefficient de température de l'affaiblissement est donné par l'équation (13).

$$\delta_{cable} = \frac{\alpha_{T2} - \alpha_{T1}}{\alpha_{T1} \cdot (T_2 - T_1)} \times 100 \quad (13)$$

où

δ_{cable} est le coefficient de température de l'affaiblissement (%/°C);

α_{T1} est l'affaiblissement à la température T_1 (dB/100 m);

α_{T2} est l'affaiblissement à la température T_2 (dB/100 m);

T_1 est la température de référence ou température ambiante (°C);

T_2 est la température élevée (°C).

NOTE Le calcul suivant l'équation (13) est applicable à la fois aux données mesurées et aux données lissées de l'affaiblissement.

6.3.4 Affaiblissement de symétrie

6.3.4.1 Equipement

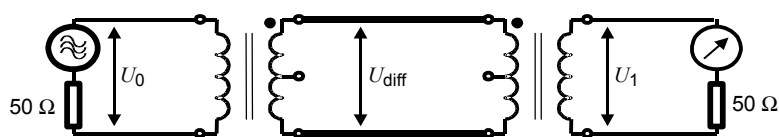
- Il est obligatoire de créer un trajet de retour (en mode commun) bien défini. Cela est normalement obtenu en mettant à la terre toutes les autres paires et écran(s), s'ils existent, en commun à la terre du symétriseur. Toutefois, le câble en essai peut être enroulé sur un touret métallique mis à la terre. La surface du touret peut avoir une rainure appropriée, suffisamment large pour contenir le câble et doit permettre de mettre 100 m de câble en une seule couche. Les paires doivent être terminées sur des extrémités en mode différentiel et en mode commun, et mises à la terre aux extrémités proche et distante.
- Un analyseur de réseau ou une combinaison générateur/récepteur convenant pour la fréquence prescrite et la dynamique.
- Les symétriseurs doivent avoir un accès en mode commun, et doivent avoir les caractéristiques données au Tableau 1.
- Réflexomètre fonctionnant dans le domaine temporel (optionnel).

Tableau 1 – Caractéristiques de fonctionnement du symétriseur d'essai

Paramètre	Valeur Classe A-250	Valeur Classe A-600	Valeur Classe B
Impédance, primaire ^a	50 Ω non symétrique	50 Ω non symétrique	50 Ω non symétrique
Impédance, secondaire	Symétrique, adapté	Symétrique, adapté	Symétrique, adapté
Pertes d'insertion	3 dB max.	3 dB max.	10 dB max.
Affaiblissement de réflexion, secondaire	20 dB min.	12 dB min., 5 - 15 MHz 20 dB min., 15 - 550 MHz 17,5 dB min., 550 - 600 MHz	6 dB min.
Affaiblissement de réflexion, mode commun ^b	10 dB min.	15 dB min., 5 - 15 MHz 20 dB min., 15 - 400 MHz 15 dB min., 400 - 600 MHz	10 dB min.
Puissance assignée	0,1 W min.	0,1 W min.	0,1 W min.
Equilibre longitudinal ^c	60 dB min.	60 dB min., 15 - 350 MHz 50 dB min., 350 - 600 MHz	35 dB min.
Equilibre signal de sortie ^c	50 dB min.	60 dB min., 15 - 350 MHz 50 dB min., 350 - 600 MHz	35 dB min.
Réjection en mode commun ^c	50 dB min.	60 dB min., 15 - 350 MHz 50 dB min., 350 - 600 MHz	35 dB min.
^a L'impédance primaire peut être différente, si nécessaire pour s'ajuster à des sorties de l'analyseur autres que 50 Ω . ^b Mesuré en connectant ensemble les bornes de sortie symétriques et en mesurant l'affaiblissement de réflexion. La borne d'entrée non symétrique du symétriseur doit être terminée par une charge de 50 Ω . ^c Mesuré suivant la Recommandation UIT-T G.117 et la Recommandation UIT-T O.9. ^d Pour les câbles de 120 Ω , des symétriseurs de 120 Ω seront utilisés seulement au cas où l'utilisateur le demande. Généralement, des symétriseurs de 100 Ω seront utilisés.			
Lignes directrices spéciales pour l'utilisation des symétriseurs 1) Pour une plus grande précision, il convient que les symétriseurs soient munis de connecteurs (par exemple de connecteurs de la CEI 60169-22). 2) Pour essais jusqu'à 250 MHz, il convient d'utiliser des symétriseurs de classe A-250. 3) Pour essais jusqu'à 600 MHz, il convient d'utiliser des symétriseurs de classe A-600. 4) Pour les symétriseurs de classe B, il y a un compromis entre pertes d'insertion et affaiblissement de réflexion. L'affaiblissement de réflexion peut être amélioré en utilisant un atténuateur, ce qui augmente alors les pertes d'insertion. Si l'affaiblissement de réflexion est inférieur à 10 dB, les pertes d'insertion doivent être inférieures à 5 dB. Si les pertes d'insertion sont supérieures à 5 dB, l'affaiblissement de réflexion doit être supérieur à 10 dB.			

6.3.4.2 Étalonnage du symétriseur

- L'étalonnage de la ligne de référence (ligne 0 dB) doit être déterminé en connectant des câbles coaxiaux entre l'entrée et la sortie de l'analyseur. Les mêmes câbles coaxiaux doivent être utilisés pour les mesures de pertes du symétriseur. L'étalonnage doit être confirmé sur la totalité de la plage de fréquences spécifiée dans la spécification de câble applicable. Cette méthode d'étalonnage est valide pour des symétriseurs étroitement adaptés qui satisfont les caractéristiques du Tableau 1.
- La Figure 2 donne le schéma pour la mesure des pertes en mode différentiel des symétriseurs. Deux symétriseurs sont connectés dos à dos sur le côté sortie symétrique et leur affaiblissement est mesuré sur la plage spécifiée de fréquences. La connexion entre les deux symétriseurs doit se faire avec des pertes négligeables.



IEC 654/07

Légende

U_0 tension à l'accès de l'analyseur de réseau ou au générateur de signal

U_1 tension à l'accès de l'analyseur de réseau ou au récepteur

U_{diff} tension à l'accès symétrique des symétriseurs

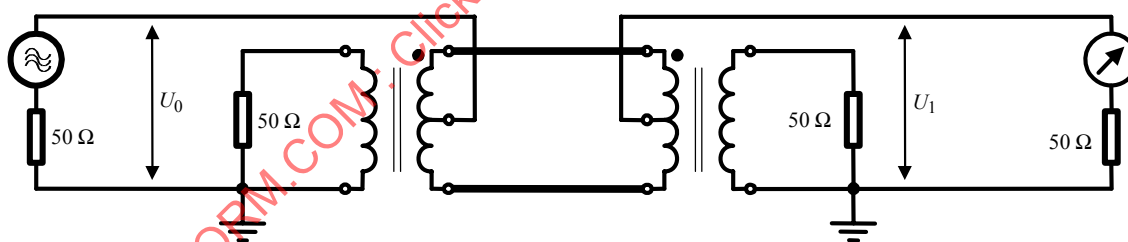
Figure 2 – Montage d'essai pour la mesure des pertes en mode différentiel des symétriseurs

Les pertes en mode différentiel des symétriseurs sont données par:

$$\alpha_{diff} = 0,5 \times \left(20 \times \log_{10} \left| \frac{U_1}{U_0} \right| \right) \quad (14)$$

où α_{diff} est la perte en mode différentiel des symétriseurs (dB).

- c) La Figure 3 donne le schéma pour la mesure des pertes en mode commun des symétriseurs. Les symétriseurs utilisés en b) sont connectés ensemble; les accès non équilibrés des symétriseurs sont terminés avec l'impédance nominale de l'équipement d'essai, l'équipement d'essai est connecté à l'accès en mode commun (point central) des symétriseurs.



IEC 655/07

Légende

U_0 tension à l'accès de l'analyseur de réseau ou au générateur de signal

U_1 tension à l'accès de l'analyseur de réseau ou au récepteur

Figure 3 – Montage d'essai pour la mesure des pertes en mode commun des symétriseurs

Les pertes en mode commun des symétriseurs sont données par:

$$\alpha_{\text{com}} = 0,5 \times \left(20 \times \log_{10} \left| \frac{U_1}{U_0} \right| \right) \quad (15)$$

où α_{com} est la perte en mode commun du symétriseur (dB).

- d) L'affaiblissement opérationnel du symétriseur α_{balun} prend en compte les pertes du symétriseur en mode commun et en mode différentiel:

$$\alpha_{\text{balun}} = \alpha_{\text{diff}} + \alpha_{\text{com}} \quad (16)$$

où α_{balun} est l'affaiblissement opérationnel du symétriseur ou perte intrinsèque du symétriseur (dB).

NOTE Des résultats plus précis peuvent être obtenus, soit en inversant les bornes des symétriseurs pour α_{diff} et α_{com} , et en moyennant les résultats, soit en utilisant trois symétriseurs. Dans le dernier cas, l'hypothèse de symétriseurs identiques n'est pas exigée.

- e) Le rapport des tensions du symétriseur peut s'exprimer par le rapport du nombre de spires du symétriseur et à partir de l'affaiblissement en fonctionnement du symétriseur:

$$\begin{aligned} 20 \times \log_{10} \left| \frac{U_{\text{diff}}}{U_0} \right| &= 10 \times \log_{10} \left| \frac{Z_{\text{diff}}}{Z_0} \right| - \alpha_{\text{balun}} \\ 20 \times \log_{10} \left| \frac{U_{\text{diff}}}{U_1} \right| &= 10 \times \log_{10} \left| \frac{Z_{\text{diff}}}{Z_1} \right| - \alpha_{\text{balun}} \end{aligned} \quad (17)$$

où

U_{diff} est la tension en mode différentiel à l'entrée du câble en essai (V);

U_0 est la tension à l'accès de l'analyseur de réseau ou au générateur de signal (V);

Z_{diff} est l'impédance caractéristique du circuit en mode différentiel (Ω);

Z_0 est l'impédance de sortie de l'analyseur de réseau ou du générateur de signal (Ω);

U_1 est la tension à l'entrée de la charge (V);

Z_1 est l'impédance d'entrée de la charge (Ω).

6.3.4.3 Mesures

Toutes les paires/quartes du câble doivent être mesurées aux deux extrémités du câble en essai (CUT). L'affaiblissement de symétrie doit être mesuré sur la plage de fréquences spécifiée et aux mêmes points de fréquence que pour la procédure d'étalonnage.

Pour les câbles ayant une impédance nominale de 100 Ω , la valeur de Z_{com} est 75 Ω pour des câbles à paires sans écran jusqu'à une contenance de 25 paires, 50 Ω pour les câbles à paires avec écran collectif et pour les câbles à paires sans écran pour des contenances de plus de 25 paires, et 25 Ω pour des câbles à paires sous écran individuel. L'impédance du circuit en mode commun Z_{com} peut être mesurée avec plus de précision, soit avec un réflectomètre en domaine temporel (TDR), soit avec un analyseur de réseau. Les deux conducteurs de la paire sont connectés ensemble aux deux extrémités et l'impédance est mesurée entre ces conducteurs et le trajet de retour.

6.3.4.3.1 Câble en essai (CUT)

Les extrémités du CUT doivent être préparées de sorte que le torsadage des paires/quartés soit maintenu jusqu'aux terminaux de l'équipement d'essai. Le CUT doit avoir une longueur de $100 \text{ m} \pm 1 \text{ m}$. Toutes les paires qui ne sont pas en essai doivent être connectées à la terre par des terminaisons appropriées en mode commun (voir 6.1) et en mode différentiel, à l'extrémité proche et à l'extrémité distante. Les écrans, lorsqu'ils existent, doivent être connectés à la terre aux deux extrémités du câble.

6.3.4.3.2 Montage d'essai pour les mesures d'affaiblissement de symétrie

La Figure 4 donne un schéma de la mesure de l'affaiblissement de symétrie à l'extrémité proche:

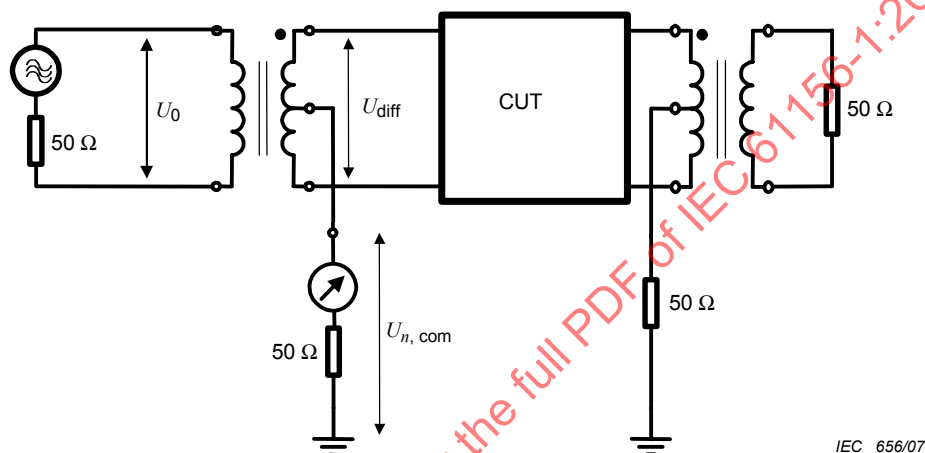


Figure 4 – Montage d'essai pour les mesures d'affaiblissement de symétrie à l'extrémité proche (ACT)

$$\alpha_{\text{meas}} = 20 \times \log_{10} \left| \frac{U_{n, \text{com}}}{U_0} \right| \quad (18)$$

où

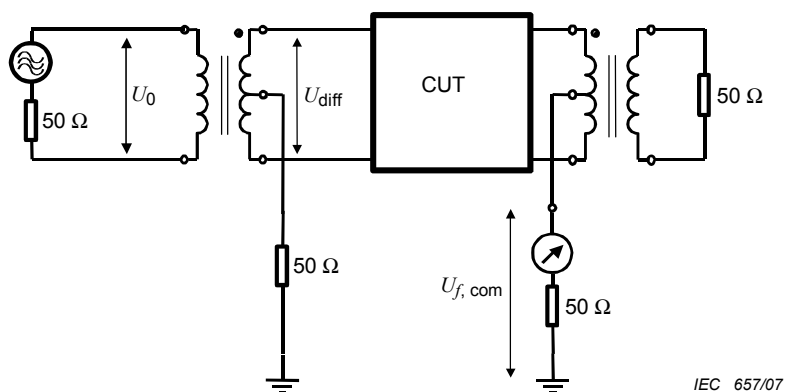
α_{meas} est l'affaiblissement mesuré (dB);

$U_{n, \text{com}}$ est la tension dans le circuit en mode commun (V);

n, f sont les indices pour désigner respectivement l'extrémité proche et l'extrémité distante.

La Figure 5 donne un schéma de la mesure de l'affaiblissement de symétrie à l'extrémité distante.

NOTE En théorie, il convient que l'extrémité en mode commun 50Ω sur les Figures 4 et 5 soit Z_{com} , mais l'erreur en utilisant 50Ω reste faible.



IEC 657/07

Figure 5 – Montage d'essai pour les mesures d'affaiblissement de symétrie à l'extrémité distante (ATCT)

$$\alpha_{\text{meas}} = 20 \times \log_{10} \left| \frac{U_{f,\text{com}}}{U_0} \right| \quad (19)$$

6.3.4.3.3 Expression du résultat d'essai

L'affaiblissement de symétrie est défini comme le rapport logarithmique de la puissance en mode commun à la puissance en mode différentiel:

$$\alpha_{u,n} = 20 \times \log_{10} \left| \frac{\sqrt{P_{n,\text{com}}}}{\sqrt{P_{\text{diff}}}} \right| = 20 \times \log_{10} \left| \frac{U_{n,\text{com}}}{U_{\text{diff}}} \right| + 10 \times \log_{10} \left| \frac{Z_{\text{diff}}}{Z_{\text{com}}} \right| \quad (20)$$

où

- α_u est l'affaiblissement de symétrie (dB);
- P_{com} est la puissance en mode commun adapté (W);
- P_{diff} est la puissance en mode différentiel adapté (W).

Lors de mesures avec des dispositifs d'essai de paramètres S, la tension de sortie du générateur est mesurée au lieu de la tension en mode différentiel dans le câble en essai. En tenant compte de l'affaiblissement opérationnel du symétriseur, l'équation pour l'affaiblissement de symétrie en extrémité proche ou distante est:

$$\begin{aligned}\alpha_{u, n} &= 10 \times \log_{10} \left| \frac{P_{n, \text{com}}}{P_{\text{diff}}} \right| = 10 \times \log_{10} \left| \frac{P_{n, \text{com}}}{P_0} \right| - \alpha_{\text{balun}} \\ &= 20 \times \log_{10} \left| \frac{U_{n, \text{com}}}{U_0} \right| + 10 \times \log_{10} \left| \frac{Z_0}{Z_{\text{com}}} \right| - \alpha_{\text{balun}}\end{aligned}\quad (21)$$

$$\alpha_{u, n} = \alpha_{\text{meas}} + 10 \times \log_{10} \left| \frac{Z_0}{Z_{\text{com}}} \right| - \alpha_{\text{balun}} \quad (22)$$

L'affaiblissement de symétrie normé à l'extrémité distante est alors:

$$EL \alpha_{u, f} = \alpha_{\text{meas}} + 10 \times \log_{10} \left| \frac{Z_0}{Z_{\text{com}}} \right| - \alpha_{\text{balun}} - \alpha_{\text{cable}} \quad (23)$$

où

$EL \alpha_{u, f}$ est l'affaiblissement de symétrie normé à l'extrémité distante ($EL ATCT$) (dB);

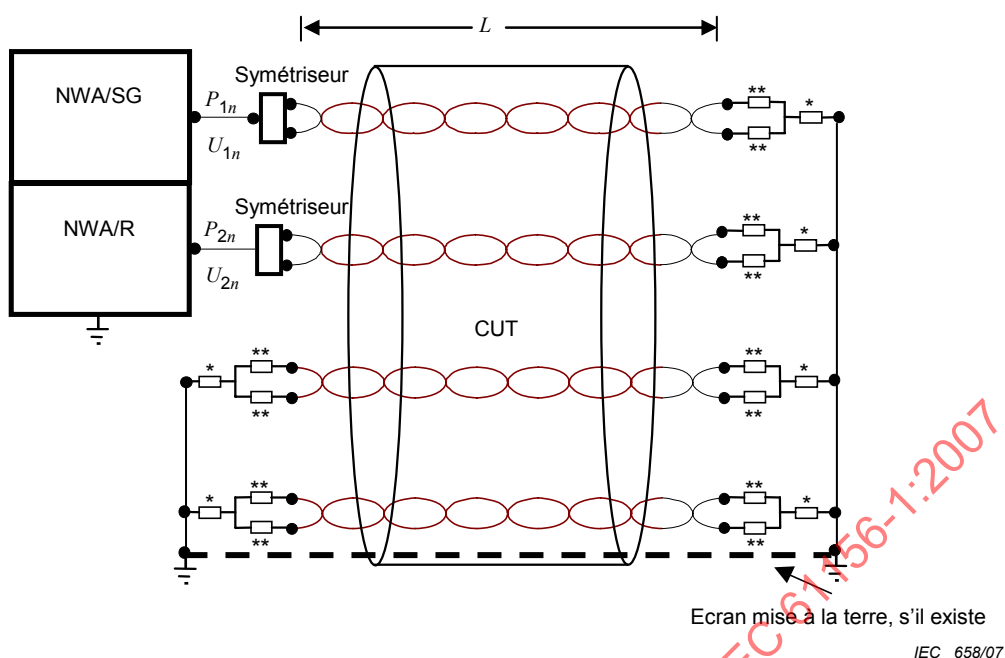
α_{cable} est l'affaiblissement du câble (dB).

6.3.5 Paradiaphonie

La Figure 6 donne le schéma pour la mesure de paradiaphonie. L'affaiblissement de paradiaphonie doit être mesuré en utilisant un analyseur de réseau ou un équipement de mesure équivalent sur la plage de fréquences indiquée dans la spécification intermédiaire applicable.

Le schéma d'essai est donné à la Figure 6. Les paires en essai doivent être connectées à la terre à l'extrémité distante à travers des terminaisons appropriées en mode commun (voir 6.1) et en mode différentiel. Les symétriseurs doivent satisfaire aux exigences appropriées du Tableau 1 et doivent être choisis pour adapter l'équipement d'essai à l'impédance nominale du câble.

Toutes les paires qui ne sont pas en essai doivent être connectées à la terre par des terminaisons appropriées en mode commun (voir 6.1) et en mode différentiel à l'extrémité proche et à l'extrémité distante. Les écrans, lorsqu'ils existent, doivent être connectés à la terre aux deux extrémités du câble. Des précautions doivent être prises pour minimiser les couplages d'effet d'extrémité. Lorsque la gaine du câble est enlevée, les paires doivent maintenir leur torsadage et doivent être bien séparées.



Légende

CUT	câble en essai
NWA/SG	accès à l'analyseur de réseau ou au générateur de signal
NWA/R	accès à l'analyseur de réseau ou au récepteur
*	résistance d'extrémité en mode commun (voir 6.1)
**	résistance d'extrémité en mode différentiel (adapté en paires)
L	longueur du câble en essai (m)

Figure 6 – Equipement d'essai pour paradiaphonie

L'affaiblissement de paradiaphonie, *NEXT*, est donné par:

$$\begin{aligned}
 NEXT &= 10 \times \log_{10} \left| \frac{P_{1n}}{P_{2n}} \right| \\
 &= 20 \times \log_{10} \left| \frac{U_{1n}}{U_{2n}} \right| + 10 \times \log_{10} \left| \frac{Z_1}{Z_2} \right|
 \end{aligned}
 \tag{24}$$

où

<i>NEXT</i>	est la paradiaphonie (dB);
P_{1n}	est la puissance d'entrée de la paire perturbatrice à l'extrémité proche (W);
P_{2n}	est la puissance de sortie de la paire perturbée à l'extrémité proche (W);
U_{1n}	est la tension d'entrée de la paire perturbatrice à l'extrémité proche (V);
U_{2n}	est la tension de sortie de la paire perturbée à l'extrémité proche (V);
Z_1	est l'impédance caractéristique de la paire perturbatrice (Ω);
Z_2	est l'impédance caractéristique de la paire perturbée (Ω).

Les mesures doivent être effectuées sur une longueur d'au moins 100 m. Pour une longueur de plus de 100 m, les valeurs mesurées peuvent être rapportées à 100 m en utilisant la formule de correction suivante:

$$NEXT_{100} = NEXT + 10 \times \log_{10} \left[\left(1 - 10^{-\frac{\alpha L}{5}} \right) / \left(1 - 10^{-\frac{\alpha}{5}} \right) \right] \quad (25)$$

où

$NEXT_{100}$ est la paradiaphonie rapportée à une longueur de 100 m (dB);

$NEXT$ est la paradiaphonie sur la longueur de câble mesurée (dB);

α est l'affaiblissement sur la longueur de câble mesurée (dB);

La paradiaphonie en somme cumulée $PS\ NEXT$ est calculée à partir de:

$$PS\ NEXT_j = -10 \times \log_{10} \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^m \left(10^{\frac{NEXT_{i,j}}{10}} \right) \quad (26)$$

où

$PS\ NEXT_j$ est la somme cumulée de la paire j (dB);

$NEXT_{ij}$ est la diaphonie induite par la paire i dans la paire j (dB);

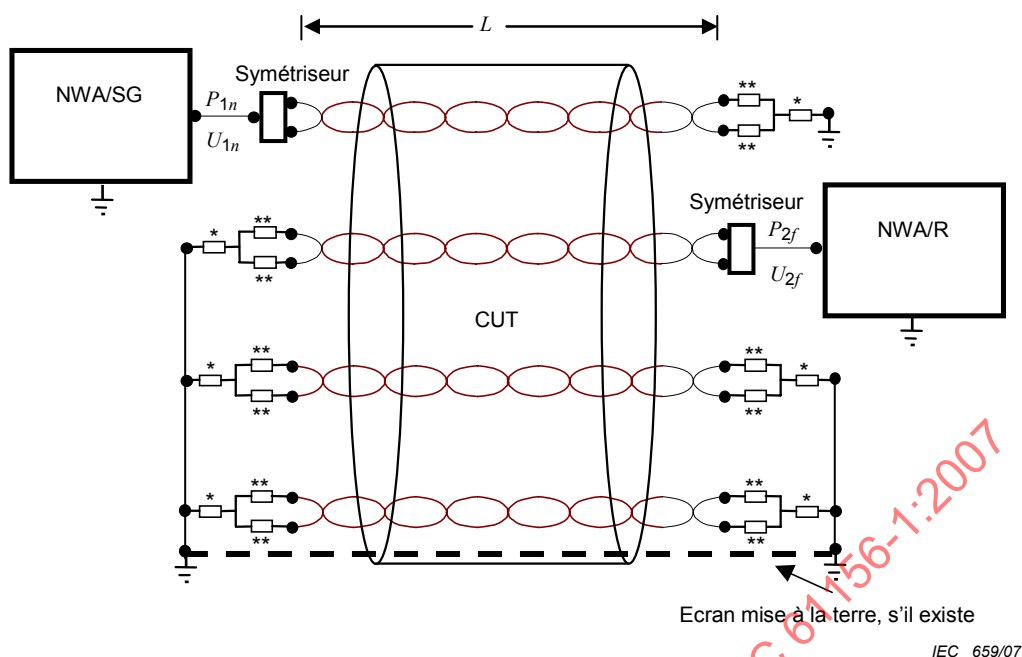
m est le nombre de paires contenues dans le câble.

6.3.6 Télédiaphonie

La Figure 7 donne le schéma pour la mesure de télédiaphonie. L'affaiblissement de télédiaphonie doit être mesuré en utilisant un analyseur de réseau ou un équipement de mesure équivalent sur la plage de fréquences indiquée dans la spécification intermédiaire applicable.

Les paires en essai doivent être connectées aux symétriseurs qui doivent satisfaire aux exigences appropriées du Tableau 1. Les symétriseurs doivent être choisis pour adapter l'équipement d'essai à l'impédance nominale du câble.

Toutes les paires qui ne sont pas en essai doivent être connectées à la terre par des terminaisons appropriées en mode commun (voir 6.1) et en mode différentiel à l'extrémité proche et à l'extrémité distante. Les écrans, lorsqu'ils existent, doivent être connectés à la terre aux deux extrémités du câble. Des précautions doivent être prises pour minimiser les couplages d'effet d'extrémité. Lorsque la gaine du câble est enlevée, les paires doivent maintenir leur torsadage et doivent être bien séparées.



IEC 659/07

Légende

CUT	câble en essai
NWA/SG	accès à l'analyseur de réseau ou au générateur de signal
NWA/R	accès à l'analyseur de réseau ou au récepteur
*	résistance d'extrémité en mode commun (voir 6.1)
**	résistance d'extrémité en mode différentiel (adapté en paires)
L	longueur du câble en essai (m)

Figure 7 – Equipement d'essai pour télédiaphonie

La mesure doit se faire sur une longueur d'au moins 100 m.

La télédiaphonie est donnée par:

$$\begin{aligned}
 FEXT &= 10 \times \log_{10} \left| \frac{P_{1n}}{P_{2f}} \right| \\
 &= 20 \times \log_{10} \left| \frac{U_{1n}}{U_{2f}} \right| + 10 \times \log_{10} \left| \frac{Z_1}{Z_2} \right|
 \end{aligned}
 \tag{27}$$

où

$FEXT$	est la télédiaphonie (dB);
P_{1n}	est la puissance d'entrée de la paire perturbatrice à l'extrémité proche (W);
P_{2f}	est la puissance de sortie de la paire perturbée à l'extrémité distante (W);
U_{1n}	est la tension d'entrée de la paire perturbatrice à l'extrémité proche (V);
U_{2f}	est la tension de sortie de la paire perturbée à l'extrémité distante (V);
Z_1	est l'impédance caractéristique de la paire perturbatrice (Ω);
Z_2	est l'impédance caractéristique de la paire perturbée (Ω).

L'écart télédiaphonique est donné par:

$$\begin{aligned} EL\ FEXT &= 10 \times \log_{10} \left| \frac{P_{1f}}{P_{2f}} \right| \\ &= 20 \times \log_{10} \left| \frac{U_{1f}}{U_{2f}} \right| + 10 \times \log_{10} \left| \frac{Z_1}{Z_2} \right| \end{aligned} \quad (28)$$

où

$EL\ FEXT$ est l'écart télédiaphonique (dB);

P_{1f} est la puissance de sortie de la paire perturbatrice à l'extrémité distante (W);

U_{1f} est la tension de sortie de la paire perturbatrice à l'extrémité distante (V).

$EL\ FEXT$ est lié à $FEXT$ par l'affaiblissement de la paire perturbatrice sur la longueur de câble mesurée:

$$EL\ FEXT = FEXT - \alpha_1 \quad (29)$$

où

α_1 est l'affaiblissement de la paire perturbatrice (dB).

Il est recommandé que la longueur de câble maximale soumise à l'essai soit limitée à 300 m de manière à limiter les erreurs résultant du bruit plancher de l'équipement de mesure. Pour les longueurs dépassant 100 m, les valeurs mesurées de $FEXT$ et les valeurs calculées de $EL\ FEXT$ doivent être corrigées à une longueur de 100 m comme suit:

$$FEXT_{100} = FEXT + 10 \times \log_{10} (L/100) + \alpha_1 (1 - L/100) \quad (30)$$

$$EL\ FEXT_{100} = EL\ FEXT + 10 \times \log_{10} (L/100) \quad (31)$$

où

$FEXT_{100}$ est la télédiaphonie rapportée à une longueur de 100 m (dB);

$FEXT$ est la télédiaphonie mesurée (dB);

$EL\ FEXT_{100}$ est l'écart télédiaphonique rapporté à une longueur de 100 m (dB).

$EL\ FEXT$ est l'écart télédiaphonique mesuré (dB);

L est la longueur du câble en essai (m);

α_1 est l'affaiblissement de la paire perturbatrice (dB).

La télédiaphonie en somme cumulée $PS\ EL\ FEXT$ est calculée à partir de:

$$PS\ EL\ FEXT_j = -10 \times \log_{10} \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^m 10^{\frac{-EL\ FEXT_{i,j}}{10}} \quad (32)$$

où

$PS\ EL\ FEXT_j$ est la puissance cumulée de la paire j (dB);

$EL\ FEXT_{ij}$ est la diaphonie induite par la paire i dans la paire j (dB);

m est le nombre de paires contenues dans le câble.