IEC 60502-1

Edition 2.1 2009-11

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 1 kV (U_m = 1,2 kV) up to 30 kV (U_m = 36 kV) –
Part 1: Cables for rated voltages of 1 kV (U_m = 1,2 kV) and 3 kV (U_m = 3,6 kV)

Câbles d'énergie à isolant extrudé et leurs accessoires pour des tensions assignées de 1 kV (U_m = 1,2 kV) à 30 kV (U_m = 36 kV) –
Partie 1: Câbles de tensions assignées de 1 kV (U_m = 1,2 kV) et 3 kV (U_m = 3,6 kV)

IEC 60502-1:2004+A1:2009

THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2009 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 Varembé
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 It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.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 60502-1

Edition 2.1 2009-11

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 1 kV (U_m = 1,2 kV) up to 30 kV (U_m = 36 kV) –
Part 1: Cables for rated voltages of 1 kV (U_m = 1,2 kV) and 3 kV (U_m = 3,6 kV)

Câbles d'énergie à isolant extrudé et leurs accessoires pour des tensions assignées de 1 kV (U_m = 1,2 kV) à 30 kV (U_m = 36 kV) –
Partie 1: Câbles de tensions assignées de 1 kV (U_m = 1,2 kV) et 3 kV (U_m = 3,6 kV)

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX CP

ICS 29.060.20

ISBN 978-2-88910-200-6

® Registered trademark of the International Electrotechnical Commission
Marque déposée de la Commission Electrotechnique Internationale

CONTENTS

FOREWORD 6

1 Scope 8
2 Normative references 8
3 Terms and definitions 9
3.1 Definitions of dimensional values (thicknesses, cross-sections, etc.) 9
3.2 Definitions concerning the tests 10
4 Voltage designations and materials 10
4.1 Rated voltages 10
4.2 Insulating compounds 11
4.3 Sheathing compounds 12
5 Conductors 13
6 Insulation 13
6.1 Material 13
6.2 Insulation thickness 13
7 Assembly of multicore cables, inner coverings and fillers 15
7.1 Inner coverings and fillers 15
7.2 Cables with rated voltage 0,6/1 (1,2) kV 15
7.3 Cables with rated voltage 1,8/3 (3,6) kV 16
8 Metallic layers for single-core and multicore cables 16
9 Metallic screen 17
9.1 Construction 17
9.2 Requirements 17
10 Concentric conductor 17
10.1 Construction 17
10.2 Requirements 17
10.3 Application 17
11 Metallic sheath 17
11.1 Lead sheath 17
11.2 Other metallic sheaths 18
12 Metallic armour 18
12.1 Types of metallic armour 18
12.2 Materials 18
12.3 Application of armour 19
12.4 Dimensions of the armour wires and armour tapes 20
12.5 Correlation between cable diameters and armour dimensions 20
12.6 Round or flat wire armour 21
12.7 Double tape armour 21
13 Oversheath 21
13.1 General 21
13.2 Material 21
13.3 Thickness 22

14 Test conditions 22
14.1 Ambient temperature 22
14.2 Frequency and waveform of power frequency test voltages 22
14.3 Waveform of impulse test voltages 22
15 Routine tests 22
15.1 General 22
15.2 Electrical resistance of conductors 23
15.3 Voltage test 23
16 Sample tests 24
16.1 General 24
16.2 Frequency of sample tests 24
16.3 Repetition of tests 25
16.4 Conductor examination 25
16.5 Measurement of thickness of insulation and of non-metallic sheaths (including extruded separation sheaths, but excluding inner extruded coverings) 25
16.6 Measurement of thickness of lead sheath 26
16.7 Measurement of armour wires and tapes 26
16.8 Measurement of external diameter 27
16.9 Hot set test for EPR, HEPR and XLPE insulations and elastomeric sheaths 27
17 Type tests, electrical 27
17.1 Insulation resistance measurement at ambient temperature 27
17.2 Insulation resistance measurement at maximum conductor temperature 28
17.3 Voltage test for 4 h 29
17.4 Impulse test for cables of rated voltage 1,8/3 (3,6) kV 29
18 Type tests, non-electrical 29
18.1 Measurement of thickness of insulation 29
18.2 Measurement of thickness of non-metallic sheaths (including extruded separation sheaths, but excluding inner coverings) 30
18.3 Tests for determining the mechanical properties of insulation before and after ageing 30
18.4 Tests for determining the mechanical properties of non-metallic sheaths before and after ageing 30
18.5 Additional ageing test on pieces of completed cables 31
18.6 Loss of mass test on PVC sheaths of type ST_2 31
18.7 Pressure test at high temperature on insulations and non-metallic sheaths 32
18.8 Test on PVC insulation and sheaths and halogen free sheaths at low temperatures 32
18.9 Test for resistance of PVC insulation and sheaths to cracking (heat shock test) 32
18.10 Ozone resistance test for EPR and HEPR insulations 32
18.11 Hot set test for EPR, HEPR and XLPE insulations and elastomeric sheaths 32
18.12 Oil immersion test for elastomeric sheaths 32
18.13 Water absorption test on insulation 33
18.14 Fire tests 33
18.15 Measurement of carbon black content of black PE oversheaths 34
18.16 Shrinkage test for XLPE insulation 34
18.17 Special bending test 34
18.18 Determination of hardness of HEPR insulation 35
18.19 Determination of the elastic modulus of HEPR insulation 35

18.20 Shrinkage test for PE oversheaths 35
18.21 Additional mechanical tests on halogen free oversheaths 35
18.22 Water absorption test for halogen free oversheaths 35
19 Electrical tests after installation 36

Annex A (normative) Fictitious calculation method for determination of dimensions of protective coverings 45
A.1 General 45
A.2 Method 45

Annex B (normative) Rounding of numbers 51
B.1 Rounding of numbers for the purpose of the fictitious calculation method 51
B.2 Rounding of numbers for other purposes 51

Annex C (normative) Determination of hardness of HEPR insulations 53
C.1 Test piece 53
C.2 Test procedure 53

Figure C.1 – Test on surfaces of large radius of curvature 54
Figure C.2 – Test on surfaces of small radius of curvature 55

Table 1 – Recommended rated voltages U_0 11
Table 2 – Insulating compounds 11
Table 3 – Maximum conductor temperatures for different types of insulating compound 12
Table 4 – Maximum conductor temperatures for different types of sheathing compound 12
Table 5 – Nominal thickness of PVC/A insulation 13
Table 6 – Nominal thickness of cross-linked polyethylene (XLPE) insulation 14
Table 7 – Nominal thickness of ethylene propylene rubber (EPR) and hard ethylene propylene rubber (HEPR) insulation 14
Table 8 – Thickness of extruded inner covering 15
Table 9 – Nominal diameter of round armour wires 20
Table 10 – Nominal thickness of armour tapes 20
Table 11 – Routine test voltages 24
Table 12 – Number of samples for sample tests 25
Table 13 – Electrical type test requirements for insulating compounds 36
Table 14 – Non-electrical type tests (see Tables 15 to 23) 37
Table 15 – Test requirements for mechanical characteristics of insulating compounds (before and after ageing) 38
Table 16 – Test requirements for particular characteristics for PVC insulating compound 39
Table 17 – Test requirements for particular characteristics of various cross-linked insulating compounds 40
Table 18 – Test requirements for mechanical characteristics of sheathing compounds (before and after ageing) 41
Table 19 – Test requirements for particular characteristics for PVC sheathing compounds 42
Table 20 – Test requirements for particular characteristics of thermoplastic PE sheathing compounds 43

Table 21 – Test requirements for particular characteristics of halogen free sheathing compound 43
Table 22 – Test requirements for particular characteristics of elastomeric sheathing compound 44
Table 23 – Test methods and requirements for halogen free compounds 44
Table A.1 – Fictitious diameter of conductor 48
Table A.2 – Assembly coefficient *k* for laid-up cores 47
Table A.3 – Increase of diameter for concentric conductors and metallic screens 48
Table A.4 – Increase of diameter for additional bedding 50

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

_____

POWER CABLES WITH EXTRUDED INSULATION AND THEIR ACCESSORIES FOR RATED VOLTAGES FROM 1 kV (U_m = 1,2 kV) UP TO 30 kV (U_m = 36 kV) –

Part 1: Cables for rated voltages of 1 kV (U_m = 1,2 kV) and 3 kV (U_m = 3,6 kV)

FOREWORD

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

International Standard IEC 60502-1 has been prepared by IEC technical committee 20: Electric cables.

This consolidated version of IEC 60502-1 consists of the second edition (2004) [documents 20/683/FDIS and 20/691/RVD] and its amendment 1 (2009) [documents 20/1063/FDIS and 20/1069/RVD].

The technical content is therefore identical to the base edition and its amendment and has been prepared for user convenience.

It bears the edition number 2.1.

A vertical line in the margin shows where the base publication has been modified by amendment 1.

The main changes with respect to the first edition relate to insulation and oversheath thickness requirements, and inclusion of constructions and requirements for halogen free cables with reduced flame propagation and low levels of smoke emission.

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

IEC 60502 consists of the following parts, under the general title *Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 1 kV (U_m = 1,2 kV) up to 30 kV (U_m = 36 kV):*

Part 1: Cables for rated voltages of 1 kV (U_m = 1,2 kV) and 3 kV (U_m = 3,6 kV);

Part 2: Cables for rated voltages from 6 kV (U_m = 7,2 kV) up to 30 kV (U_m = 36 kV);

Part 3: Reserved;

Part 4: Test requirements on accessories for cables with rated voltages from 6 kV (U_m = 7,2 kV) up to 30 kV (U_m = 36 kV).

The committee has decided that the contents of the base publication and its amendments 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.

POWER CABLES WITH EXTRUDED INSULATION AND THEIR ACCESSORIES FOR RATED VOLTAGES FROM 1 kV (U_m = 1,2 kV) UP TO 30 kV (U_m = 36 kV) –

Part 1: Cables for rated voltages of 1 kV (U_m = 1,2 kV) and 3 kV (U_m = 3,6 kV)

1 Scope

This part of IEC 60502 specifies the construction, dimensions and test requirements of power cables with extruded solid insulation for rated voltages of 1 kV (U_m = 1,2 kV) and 3 kV (U_m = 3,6 kV) for fixed installations such as distribution networks or industrial installations.

This standard includes cables which exhibit properties of reduced flame spread, low levels of smoke emission and halogen-free gas emission when exposed to fire.

Cables for special installation and service conditions are not included, for example cables for overhead networks, the mining industry, nuclear power plants (in and around the containment area), submarine use or shipboard application.

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 60038:1983, *IEC standard voltages*

IEC 60060-1:1989, *High-voltage test techniques – Part 1: General definitions and test requirements*

IEC 60183:1984, *Guide to the selection of high-voltage cables*

IEC 60228:1978, *Conductors of insulated cables*

IEC 60230:1966, *Impulse tests on cables and their accessories*

IEC 60332-1:1993, *Tests on electric cables under fire conditions – Part 1: Test on a single vertical insulated wire or cable*

IEC 60332-3-24:2000, *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 60502-2:1997, *Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 1 kV (U_m = 1,2 kV) up to 30 kV (U_m = 36 kV) – Part 2: Cables for rated voltages from 6 kV (U_m = 7,2 kV) up to 30 kV (U_m = 36 kV)*

IEC 60684-2:1987, *Flexible insulating sleeving – Part 2: Methods of test*

IEC 60724:2000, *Short-circuit temperature limits of electric cables with rated voltages of 1 kV (U_m = 1,2 kV) and 3 kV (U_m = 3,6 kV)*

IEC 60754-1:1994, *Test on gases evolved during combustion of materials from cables – Part 1: Determination of the amount of halogen gas*

IEC 60754-2:1991, *Test on gases evolved during combustion of electric cables – Part 2: Determination of degree of acidity of gases evolved during the combustion of materials taken from electric cables by measuring pH and conductivity*

IEC 60811-1-1:1993, *Common test methods for insulating and sheathing materials of electric 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 cables – Part 1: Methods for general application – Section 2: Thermal ageing methods*

IEC 60811-1-3:1993, *Common test methods for insulating and sheathing materials of electric cables – Part 1: Methods for general application – Section 3: 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 cables – Part 1: Methods for general application – Section 4: Tests at low temperature*

IEC 60811-2-1:1998, *Insulating and sheathing materials of electric and optical cables – Common test methods – Part 2-1: Methods specific to elastomeric compounds – Ozone resistance, hot set and mineral oil immersion tests*

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

IEC 60811-3-2:1985, *Common test methods for insulating and sheathing materials of electric cables – Part 3: Methods specific to PVC compounds – Section 2: Loss of mass test – Thermal stability test*

IEC 60811-4-1:1985, *Common test methods for insulating and sheathing materials of electric cables – Part 4: Methods specific to polyethylene and polypropylene compounds – Section 1: Resistance to environmental stress cracking – Wrapping test after thermal ageing in air – Measurement of the melt flow index – Carbon black and/or mineral content measurement in PE*

IEC 61034-2: 1997, *Measurement of smoke density of cables burning under defined conditions – Part 2: Test procedure and requirements*

ISO 48:1994, *Rubber, vulcanized or thermoplastic – Determination of hardness (hardness between 10 IRHD and 100 IRHD)*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following definitions apply.

3.1 Definitions of dimensional values (thicknesses, cross-sections, etc.)

3.1.1
nominal value
value by which a quantity is designated and which is often used in tables

NOTE Usually, in this standard, nominal values give rise to values to be checked by measurements taking into account specified tolerances.

3.1.2
approximate value
value which is neither guaranteed nor checked; it is used, for example, for the calculation of other dimensional values

3.1.3
median value
when several test results have been obtained and ordered in an increasing (or decreasing) succession, the median value is the middle value if the number of available values is odd, and the mean of the two middle values if the number is even

3.1.4
fictitious value
value calculated according to the "fictitious method'' described in Annex A

3.2 Definitions concerning the tests

3.2.1
routine tests
tests made by the manufacturer on each manufactured length of cable to check that each length meets the specified requirements

3.2.2
sample tests
tests made by the manufacturer on samples of completed cable or components taken from a completed cable, at a specified frequency, so as to verify that the finished product meets the specified requirements

3.2.3
type tests
tests made before supplying, on a general commercial basis, a type of cable covered by this standard, in order to demonstrate satisfactory performance characteristics to meet the intended application

NOTE These tests are of such a nature that, after they have been made, they need not be repeated, unless changes are made in the cable materials or design or manufacturing process which might change the performance characteristics.

3.2.4
electrical tests after installation
tests made to demonstrate the integrity of the cable and its accessories as installed

4 Voltage designations and materials

4.1 Rated voltages

The rated voltages U_0/U (U_m) of the cables considered in this standard are 0,6/1 (1,2) kV and 1,8/3 (3,6) kV.

NOTE 1 The voltages given above are the correct designations although in some countries other designations are used, e.g. 1,7/3 kV or 1,9/3,3 kV instead of 1,8/3 kV.

In the voltage designation of cables U_0/U (U_m):

U_0 is the rated power frequency voltage between conductor and earth or metallic screen for which the cable is designed;

U is the rated power frequency voltage between conductors for which the cable is designed;

U_m is the maximum value of the "highest system voltage'' for which the equipment may be used (see IEC 60038).

The rated voltage of the cable for a given application shall be suitable for the operating conditions in the system in which the cable is used. To facilitate the selection of the cable, systems are divided into three categories:

– Category A: this category comprises those systems in which any phase conductor that comes in contact with earth or an earth conductor is disconnected from the system within 1 min;

– Category B: this category comprises those systems which, under fault conditions, are operated for a short time with one phase earthed. This period, according to IEC 60183, should not exceed 1 h. For cables covered by this standard, a longer period, not exceeding 8 h on any occasion, can be tolerated. The total duration of earth faults in any year should not exceed 125 h;

– Category C: this category comprises all systems which do not fall into category A or B.

NOTE 2 It should be realized that in a system where an earth fault is not automatically and promptly isolated, the extra stresses on the insulation of cables during the earth fault reduce the life of the cables to a certain degree. If the system is expected to be operated fairly often with a permanent earth fault, it may be advisable to classify the system in Category C.

The values of U_0 recommended for cables to be used in three-phase systems are listed in Table 1.

Table 1 – Recommended rated voltages U_0

Highest system voltage (U_m) kV	**Rated voltage (U_0)** kV	
	Categories A and B	**Category C**
1,2	0,6	0,6
3,6	1,8	3,6*
* This category is covered by 3,6/6 (7,2) kV cables according to IEC 60502-2.		

4.2 Insulating compounds

The types of insulating compound covered by this standard are listed in Table 2, together with their abbreviated designations.

Table 2 – Insulating compounds

Insulating compound	**Abbreviated designation**
a) *Thermoplastic*	
Polyvinyl chloride intended for cables with rated voltages $U_0/U \leq 1,8/3$ kV	PVC/A*
b) *Cross-linked:*	
Ethylene propylene rubber or similar (EPM or EPDM)	EPR
High modulus or hard grade ethylene propylene rubber	HEPR
Cross-linked polyethylene	XLPE
* Insulating compound based on polyvinyl chloride intended for cables with rated voltages U_0/U = 3,6/6 kV is designated PVC/B in IEC 60502-2.	

The maximum conductor temperatures for different types of insulating compound covered by this standard are given in Table 3.

Table 3 – Maximum conductor temperatures for different types of insulating compound

Insulating compound		Maximum conductor temperature °C	
		Normal operation	Short-circuit (5 s maximum duration)
Polyvinyl chloride	(PVC/A)		
	Conductor cross-section ≤300 mm²	70	160
	Conductor cross-section >300 mm²	70	140
Cross-linked polyethylene	(XLPE)	90	250
Ethylene propylene rubber	(EPR and HEPR)	90	250

The temperatures in Table 3 are based on the intrinsic properties of the insulating materials. It is important to take into account other factors when using these values for the calculation of current ratings.

For example, in normal operation, if a cable directly buried in the ground is operated under continuous load (100 % load factor) at the maximum conductor temperature shown in the table, the thermal resistivity of the soil surrounding the cable may, in the course of time, increase from its original value as a result of drying-out processes. As a consequence, the conductor temperature may greatly exceed the maximum value. If such operating conditions are foreseen, adequate provisions shall be made.

For guidance on the short-circuit temperatures, reference should be made to IEC 60724.

4.3 Sheathing compounds

The maximum conductor temperatures for the different types of sheathing compound covered by this standard are given in Table 4.

Table 4 – Maximum conductor temperatures for different types of sheathing compound

Sheathing compound	Abbreviated designation	Maximum conductor temperature in normal operation °C
a) *Thermoplastic:*		
Polyvinyl chloride (PVC)	ST_1	80
	ST_2	90
Polyethylene	ST_3	80
	ST_7	90
Halogen free	ST_8	90
b) *Elastomeric:*		
Polychloroprene, chlorosulfonated polyethylene or similar polymers	SE_1	85

5 Conductors

The conductors shall be either of Class 1 or Class 2 of plain or metal-coated annealed copper or of plain aluminium or aluminium alloy, or of Class 5 of plain or metal-coated copper in accordance with IEC 60228.

6 Insulation

6.1 Material

The insulation shall be extruded dielectric of one of the types listed in Table 2.

For halogen free cables, the insulation shall meet the requirements given in Table 23.

6.2 Insulation thickness

The nominal insulation thicknesses are specified in Tables 5 to 7.

The thickness of any separator shall not be included in the thickness of the insulation.

Table 5 – Nominal thickness of PVC/A insulation

Nominal cross-sectional area of conductor mm²	**Nominal thickness of insulation at rated voltage U_0/U (U_m)**	
	0,6/1 (1,2) kV mm	**1,8/3 (3,6) kV** mm
1,5 and 2,5	0,8	–
4 and 6	1,0	–
10 and 16	1,0	2,2
25 and 35	1,2	2,2
50 and 70	1,4	2,2
95 and 120	1,6	2,2
150	1,8	2,2
185	2,0	2,2
240	2,2	2,2
300	2,4	2,4
400	2,6	2,6
500 to 800	2,8	2,8
1 000	3,0	3,0
NOTE Any conductor cross-section smaller than those given in this table is not recommended.		

Table 6 – Nominal thickness of cross-linked polyethylene (XLPE) insulation

Nominal cross-sectional area of conductor	Nominal thickness of insulation at rated voltage U_0/U (U_m)	
mm²	0,6/1 (1,2) kV mm	1,8/3 (3,6) kV mm
1,5 and 2,5	0,7	–
4 and 6	0,7	–
10 and 16	0,7	2,0
25 and 35	0,9	2,0
50	1,0	2,0
70 and 95	1,1	2,0
120	1,2	2,0
150	1,4	2,0
185	1,6	2,0
240	1,7	2,0
300	1,8	2,0
400	2,0	2,0
500	2,2	2,2
630	2,4	2,4
800	2,6	2,6
1 000	2,8	2,8

NOTE Any conductor cross-section smaller than those given in this table is not recommended.

Table 7 – Nominal thickness of ethylene propylene rubber (EPR) and hard ethylene propylene rubber (HEPR) insulation

Nominal cross-sectional area of conductor	Nominal thickness of insulation at rated voltage U_0/U (U_m)			
	0,6/1 (1,2) kV		1,8/3 (3,6) kV	
mm²	EPR mm	HEPR mm	EPR mm	HEPR mm
1,5 and 2,5	1,0	0,7	–	–
4 and 6	1,0	0,7	–	–
10 and 16	1,0	0,7	2,2	2,0
25 and 35	1,2	0,9	2,2	2,0
50	1,4	1,0	2,2	2,0
70	1,4	1,1	2,2	2,0
95	1,6	1,1	2,4	2,0
120	1,6	1,2	2,4	2,0
150	1,8	1,4	2,4	2,0
185	2,0	1,6	2,4	2,0
240	2,2	1,7	2,4	2,0
300	2,4	1,8	2,4	2,0
400	2,6	2,0	2,6	2,0
500	2,8	2,2	2,8	2,2
630	2,8	2,4	2,8	2,4
800	2,8	2,6	2,8	2,6
1 000	3,0	2,8	3,0	2,8

NOTE Any conductor cross-section smaller than those given in this table is not recommended.

7 Assembly of multicore cables, inner coverings and fillers

The assembly of multicore cables depends on the rated voltage and whether a metallic layer is applied to each core.

The following subclauses 7.1 to 7.3 do not apply to assemblies of sheathed single-core cables.

7.1 Inner coverings and fillers

7.1.1 Construction

The inner coverings may be extruded or lapped.

For cables with circular cores, except cables with more than five cores, a lapped inner covering shall be permitted only if the interstices between the cores are substantially filled.

A suitable binder is permitted before application of an extruded inner covering.

7.1.2 Material

The materials used for inner coverings and fillers shall be suitable for the operating temperature of the cable and compatible with the insulating material.

For halogen free cables, the inner covering and fillers shall meet the requirements given in Table 23.

7.1.3 Thickness of extruded inner covering

The approximate thickness of extruded inner coverings shall be derived from Table 8.

Table 8 – Thickness of extruded inner covering

Fictitious diameter over laid-up cores		Thickness of extruded inner covering (approximate values) mm
Above mm	Up to and including mm	
–	25	1,0
25	35	1,2
35	45	1,4
45	60	1,6
60	80	1,8
80	–	2,0

7.1.4 Thickness of lapped inner coverings

The approximate thickness of lapped inner coverings shall be 0,4 mm for fictitious diameters over laid-up cores up to and including 40 mm and 0,6 mm for larger diameters.

7.2 Cables with rated voltage 0,6/1 (1,2) kV

Cables with rated voltage 0,6/1(1,2) kV may have a metallic layer collectively surrounding the cores.

NOTE The choice between cables having and cables not having a metallic layer depends upon national regulations and installation requirements for the prevention of possible dangers from mechanical damage or direct electrical contact.

7.2.1 Cables having a collective metallic layer (see Clause 8)

Cables shall have an inner covering over the laid-up cores. The inner covering and fillers shall comply with 7.1.

Metallic tapes may, however, be applied directly over the assembled cores, omitting the inner covering, provided that the nominal thickness of each tape does not exceed 0,3 mm and that the completed cable complies with the special bending test specified in 18.17.

7.2.2 Cables having no collective metallic layer (see Clause 8)

The inner covering may be omitted, provided the outer shape of the cable remains practically circular and no adhesion occurs between cores and sheath.

The oversheath may penetrate into the interstices of the cores, except in the case of thermoplastic oversheaths over circular cores exceeding 10 mm^2.

If, however, an inner covering is applied, its thickness need not comply with 7.1.3 or 7.1.4.

7.3 Cables with rated voltage 1,8/3 (3,6) kV

Cables with rated voltage 1,8/3 (3,6) kV shall have a metallic layer surrounding the cores either individually or collectively.

7.3.1 Cables having only a collective metallic layer (see Clause 8)

Cables shall have an inner covering over the laid-up cores. The inner covering and fillers shall comply with 7.1 and shall be non-hygroscopic.

7.3.2 Cables having a metallic layer over each individual core (see Clause 9)

The metallic layers of the individual cores shall be in contact with each other.

Cables with an additional collective metallic layer (see Clause 8) of the same material as the underlying individual metallic layers shall have an inner covering over the laid-up cores. The inner covering and fillers shall comply with 7.1 and shall be non-hygroscopic.

When the underlying individual metallic layers and the collective metallic layer are of different materials, they shall be separated by an extruded sheath of one of the materials specified in 13.2. For lead-sheathed cables, the separation from the underlying individual metallic layers may be obtained by an inner covering according to 7.1.

For cables having neither armour, nor concentric conductor, nor other collective metallic layer (see Clause 8), the inner covering may be omitted, provided the outer shape of the cable remains practically circular. The oversheath may penetrate into the interstices of the cores, except in the case of thermoplastic oversheaths over circular cores exceeding 10 mm^2. If, however, an inner covering is applied, its thickness need not comply with 7.1.3 or 7.1.4.

8 Metallic layers for single-core and multicore cables

The following types of metallic layers are included in this standard:

a) metallic screen (see Clause 9);

b) concentric conductor (see Clause 10);

c) lead sheath (see Clause 11);

d) metallic armour (see Clause 12).

The metallic layer(s) shall comprise one or more of the types listed above and shall be non-magnetic when applied to either single-core cables or individual cores of multicore cables.

9 Metallic screen

9.1 Construction

The metallic screen shall consist of one or more tapes, or a braid, or a concentric layer of wires or a combination of wires and tape(s).

It may also be a sheath or, in the case of a collective screen, an armour which complies with 9.2.

When choosing the material of the screen, special consideration shall be given to the possibility of corrosion, not only for mechanical safety but also for electrical safety.

Gaps in the screen shall comply with the national regulations and/or standards.

9.2 Requirements

The dimensional, physical and electrical requirements of the metallic screen shall be determined by national regulations and/or standards.

10 Concentric conductor

10.1 Construction

Gaps in the concentric conductor shall comply with national regulations and/or standards.

When choosing the material of the concentric conductor, special consideration shall be given to the possibility of corrosion, not only for mechanical safety but also for electrical safety.

10.2 Requirements

The dimensional and physical requirements of the concentric conductor and its electrical resistance shall be determined by national regulations and/or standards.

10.3 Application

When a concentric conductor is required, it shall be applied over the inner covering in the case of multicore cables. In the case of single-core cables, it shall be applied either directly over the insulation or over a suitable inner covering.

11 Metallic sheath

11.1 Lead sheath

The sheath shall consist of lead or lead alloy and shall be applied as a reasonably tight-fitting seamless tube.

The nominal thickness shall be calculated using the following formula:

$$t_{pb} = 0{,}03\ D_g + 0{,}7$$

where

t_{pb} is the nominal thickness of lead sheath, in millimetres;

D_g is the fictitious diameter under the lead sheath, in millimetres (rounded to the first decimal place in accordance with Annex B).

In all cases, the smallest nominal thickness shall be 1,2 mm. Calculated values shall be rounded to the first decimal place (see Annex B).

11.2 Other metallic sheaths

Under consideration.

12 Metallic armour

12.1 Types of metallic armour

The armour types covered by this standard are as follows:

a) flat wire armour;

b) round wire armour;

c) double tape armour.

NOTE For cables with rated voltage 0,6/1 (1,2) kV with conductor cross-sectional areas not exceeding 6 mm^2, galvanized steelwire braid armour may be provided by agreement between the manufacturer and the purchaser.

12.2 Materials

Round or flat wires shall be of galvanized steel, copper or tinned copper, aluminium or aluminium alloy.

Tapes shall be of steel, galvanized steel, aluminium or aluminium alloy. Steel tapes shall be hot- or cold-rolled of commercial quality.

In those cases where the steel armour wire layer is required to comply with a minimum conductance, it is permissible to include sufficient copper or tinned copper wires in the armour layer to ensure compliance.

When choosing the material of the armour, special consideration shall be given to the possibility of corrosion, not only for mechanical safety, but also for electrical safety, especially when the armour is used as a screen.

The armour of single-core cables for use on a.c. systems shall consist of non-magnetic material, unless a special construction is chosen.

12.3 Application of armour

12.3.1 Single-core cables

In the case of single-core cables, an inner covering, extruded or lapped, of the thickness specified in 7.1.3 or 7.1.4, shall be applied under the armour.

12.3.2 Multicore cables

In the case of multicore cables, the armour shall be applied on an inner covering complying with 7.1 except for special applications using metallic tapes, see 7.2.1.

12.3.3 Separation sheath

When the underlying metallic layer and the armour are of different materials, they shall be separated by an extruded sheath of one of the materials specified in 13.2.

For halogen free cables, the separation sheath (ST_8) shall meet the requirements given in Table 23.

When an armour is required for a lead-sheathed cable, it may be applied over a lapped bedding according to 12.3.4.

If a separation sheath is used, it shall be applied under the armour instead of, or in addition to, the inner covering.

The nominal thickness of the separation sheath T_S expressed in millimetres shall be calculated by the following formula:

$$T_S = 0{,}02\ D_u + 0{,}6$$

where D_u is the fictitious diameter under this sheath, in millimetres, calculated as described in Annex A.

The value resulting from the formula shall be rounded off to the nearest 0,1 mm (see Annex B).

For cables without a lead sheath, the nominal thickness shall be not less than 1,2 mm. For cables where the separation sheath is applied directly over the lead sheath, the nominal thickness shall be not less than 1,0 mm.

12.3.4 Lapped bedding under armour for lead-sheathed cables

The lapped bedding applied to the compound coated lead sheath shall consist of either impregnated and compounded paper tapes or a combination of two layers of impregnated and compounded paper tapes followed by one or more layers of compounded fibrous material.

The impregnation of bedding materials may be made with bituminous or other preservative compounds. In case of wire armour, these compounds shall not be applied directly under the wires.

Synthetic tapes may be used instead of impregnated paper tapes.

The total thickness of the lapped bedding between the lead sheath and the armour after application of the armour shall have an approximate value of 1,5 mm.

12.4 Dimensions of the armour wires and armour tapes

The nominal dimensions of the armour wires and armour tapes shall preferably consist of one of the following values:

Round wires:

0,8 – 1,25 – 1,6 – 2,0 – 2,5 – 3,15 mm diameter;

Flat wires:

0,8 mm thickness;

Tapes of steel:

0,2 – 0,5 – 0,8 mm thickness;

Tapes of aluminium or aluminium alloy:

0,5 – 0,8 mm thickness.

12.5 Correlation between cable diameters and armour dimensions

The nominal diameters of round armour wires and the nominal thicknesses of the armour tapes shall be not less than the values given in Tables 9 and 10, respectively.

Table 9 – Nominal diameter of round armour wires

Fictitious diameter under the armour		Nominal diameter of armour wire
Above mm	Up to and including mm	mm
–	10	0,8
10	15	1,25
15	25	1,6
25	35	2,0
35	60	2,5
60	–	3,15

Table 10 – Nominal thickness of armour tapes

Fictitious diameter under the armour		Nominal thickness of tape	
Above mm	Up to and including mm	Steel or galvanized steel mm	Aluminium or aluminium alloy mm
–	30	0,2	0,5
30	70	0,5	0,5
70	–	0,8	0,8
NOTE This table does not apply to cables having metallic tapes applied directly over the assembled cores (see 7.2.1).			

For flat armour wires and fictitious diameters under the armour greater than 15 mm, the nominal thickness of the flat steel wire shall be 0,8 mm. Cables with fictitious diameters under the armour up to and including 15 mm shall not be armoured with flat wires.

12.6 Round or flat wire armour

The wire armour shall be closed, i.e. with a minimum gap between adjacent wires. An open helix consisting of galvanized steel tape with a nominal thickness of at least 0,3 mm may be provided over flat steel wire armour and over round steel wire armour, if necessary. Tolerances on this steel tape shall comply with 16.7.3.

12.7 Double tape armour

When a tape armour and an inner covering as specified in 7.1 are used, the inner covering shall be reinforced by a taped bedding. The total thickness of the inner covering and the additional taped bedding shall be as given in 7.1 plus 0,5 mm if the armour tape thickness is 0,2 mm, and plus 0,8 mm if the armour tape thickness is more than 0,2 mm.

The total thickness of the inner covering and the additional taped bedding shall be not less than these values by more than 0,2 mm with a tolerance of + 20 %.

If a separation sheath is required or if the inner covering is extruded and satisfies the requirements of 12.3.3, the additional taped bedding is not required.

The tape armour shall be applied helically in two layers so that the outer tape is approximately central over the gap of the inner tape. The gap between adjacent turns of each tape shall not exceed 50 % of the width of the tape.

13 Oversheath

13.1 General

All cables shall have an oversheath.

The oversheath is normally black but a colour other than black may be provided by agreement between the manufacturer and the purchaser, subject to its suitability for the particular conditions under which the cable is to be used.

NOTE A UV stability test is under consideration.

13.2 Material

The oversheath shall consist of a thermoplastic compound (PVC or polyethylene or halogen free) or an elastomeric compound (polychloroprene, chlorosulfonated polyethylene or similar polymers).

Halogen free sheathing material shall be used on cables which exhibit properties of reduced flame spread, low levels of smoke emission and halogen free gas emission when exposed to fire. The oversheath (ST_8) of halogen free cables shall meet the requirements given in Table 23.

The sheathing material shall be suitable for the operating temperature in accordance with Table 4.

Chemical additives may be requested for use in the oversheath for special purposes, for example termite protection, but they should not include materials harmful to mankind and/or the environment.

NOTE Examples of [1] considered to be undesirable include:

Aldrin 1,2,3,4,10,10-hexachloro-1,4,4a,5,8,8a-hexahydro-1,4,5,8-dimethanonaphthalene

Dieldrin 1,2,3,4,10,10-hexachloro-6,7-epoxy-1,4,4a,5,6,7,8,8a-octahydro-1,4,5,8-dimethanonaphthalene

Lindane Gamma Isomer of 1,2,3,4,5,6-hexachloro-cyclohexane.

13.3 Thickness

Unless otherwise specified, the nominal thickness t_S expressed in millimetres shall be calculated using the following formula:

$$t_S = 0{,}035\ D + 1{,}0$$

where D is the fictitious diameter immediately under the oversheath, in millimetres (see Annex A).

The value resulting from the formula shall be rounded off to the nearest 0,1 mm (see Annex B).

The nominal thickness shall be not less than 1,4 mm for single-core cables and not less than 1,8 mm for multicore cables.

14 Test conditions

14.1 Ambient temperature

Unless otherwise specified in the details for the particular test, tests shall be made at an ambient temperature of (20 ± 15) °C.

14.2 Frequency and waveform of power frequency test voltages

The frequency of the alternating test voltages shall be in the range 49 Hz to 61 Hz. The waveform shall be substantially sinusoidal. The values quoted are r.m.s. values.

14.3 Waveform of impulse test voltages

In accordance with IEC 60230, the impulse wave shall have a virtual front time between 1 µs and 5 µs and a nominal time to half the peak value between 40 µs and 60 µs, and in other respects shall be in accordance with IEC 60060-1.

15 Routine tests

15.1 General

Routine tests are normally carried out on each manufactured length of cable (see 3.2.1). The number of lengths to be tested may, however, be reduced according to agreed quality control procedures.

---

[1] Source: *Dangerous properties of industrial materials*, N.I. Sax, fifth edition, Van Nostrand Reinhold, ISBN 0-442-27373-8.

The routine tests required by this standard include:

a) measurement of the electrical resistance of conductors (see 15.2);

b) voltage test (see 15.3).

15.2 Electrical resistance of conductors

Resistance measurements shall be made on all conductors of each cable length submitted to the routine tests, including the concentric conductor, if any.

The complete cable length, or a sample from it, shall be placed in the test room, which shall be maintained at a reasonably constant temperature, for at least 12 h before the test. In case of doubt as to whether the conductor temperature is the same as the room temperature, the resistance shall be measured after the cable has been in the test room for 24 h. Alternatively, the resistance can be measured on a sample of conductor conditioned for at least 1 h in a temperature controlled liquid bath.

The measured value of resistance shall be corrected to a temperature of 20 °C and 1 km length in accordance with the formulae and factors given in IEC 60228.

The d.c. resistance of each conductor at 20 °C shall not exceed the appropriate maximum value specified in IEC 60228. For concentric conductors, the resistance shall comply with national regulations and/or standards.

15.3 Voltage test

15.3.1 General

The voltage test shall be made at ambient temperature, using either alternating voltage at power frequency or direct voltage, at the manufacturer's option.

15.3.2 Test procedure for single-core cables

For single-core screened cables, the test voltage shall be applied for 5 min between the conductor and the metallic screen.

Single-core unscreened cables shall be immersed in water at room temperature for 1 h and the test voltage then applied for 5 min between the conductor and the water.

NOTE A spark test is under consideration for single-core cables without any metallic layer.

15.3.3 Test procedure for multicore cables

For multicore cables with individually screened cores, the test voltage shall be applied for 5 min between each conductor and the metallic layer.

For multicore cables without individually screened cores, the test voltage shall be applied for 5 min in succession between each insulated conductor and all the other conductors and collective metallic layers, if any.

The conductors may be suitably connected for successive applications of the test voltage to limit the total testing time, provided that the sequence of connections ensures that the voltage is applied for at least 5 min without interruption between each conductor and each other conductor and between each conductor and the metallic layers, if any.

Alternatively, three-core cables may be tested in a single operation by using a three-phase transformer.

15.3.4 Test voltage

The power frequency test voltage shall be 2,5 U_0 + 2 kV. Values of single-phase test voltages for the standard rated voltages are given in Table 11.

Table 11 – Routine test voltages

Rated voltage U_0	kV	0,6	1,8
Test voltage	kV	3,5	6,5

If, for three-core cables, the voltage test is carried out with a three-phase transformer, the test voltage between the phases shall be 1,73 times the values given in this table.

When a direct voltage is used, the applied voltage shall be 2,4 times the power frequency test voltage.

In all cases, the test voltage shall be increased gradually to the specified value.

15.3.5 Requirement

No breakdown of the insulation shall occur.

16 Sample tests

16.1 General

The sample tests required by this standard include:

a) conductor examination (see 16.4);

b) check of dimensions (see 16.5 to 16.8);

c) hot set test for EPR, HEPR and XLPE insulations and elastomeric sheaths (see 16.9).

16.2 Frequency of sample tests

16.2.1 Conductor examination and check of dimensions

Conductor examination, measurement of the thickness of insulation and sheath and measurement of the overall diameter shall be made on one length from each manufacturing series of the same type and nominal cross-section of cable, but shall be limited to not more than 10 % of the number of lengths in any contract.

16.2.2 Physical tests

Physical tests shall be carried out on samples taken from manufactured cables according to agreed quality control procedures. In the absence of such an agreement, for contracts where the total length exceeds 2 km for multicore cables or 4 km for single-core cables, tests shall be made on the basis of Table 12.

Table 12 – Number of samples for sample tests

Cable length				Number of samples
Multicore cables		Single-core cables		
Above km	Up to and including km	Above km	Up to and including km	
2	10	4	20	1
10	20	20	40	2
20	30	40	60	3
etc.		etc.		etc.

16.3 Repetition of tests

If any sample fails in any of the tests in Clause 16, two further samples shall be taken from the same batch and submitted to the same test or tests in which the original sample failed. If both additional samples pass the tests, all the cables in the batch from which they were taken shall be regarded as complying with the requirements of this standard. If either of the additional samples fails, the batch from which they were taken shall be regarded as failing to comply.

16.4 Conductor examination

Compliance with the requirements of IEC 60228 for conductor construction shall be checked by inspection and by measurement, when practicable.

16.5 Measurement of thickness of insulation and of non-metallic sheaths (including extruded separation sheaths, but excluding inner extruded coverings)

16.5.1 General

The test method shall be in accordance with Clause 8 of IEC 60811-1-1.

Each cable length selected for the test shall be represented by a piece of cable taken from one end after having discarded, if necessary, any portion which may have suffered damage.

For cables having more than three cores with conductors of equal nominal cross-section, the number of cores on which the measurement is made shall be limited to either three cores or 10 % of the cores, whichever is larger.

16.5.2 Requirements for the insulation

For each piece of core, the average of the measured values, rounded to 0,1 mm in accordance with Annex B, shall be not less than the nominal thickness, and the smallest value measured shall not fall below 90 % of the nominal value by more than 0,1 mm, i.e.:

$$t_m \geq 0{,}9t_n - 0{,}1$$

where

t_m is the minimum thickness, in millimetres;

t_n is the nominal thickness, in millimetres.

16.5.3 Requirements for non-metallic sheaths

The minimum thickness of the non-metallic sheath shall not fall below 80 % of the nominal value by more than 0,2 mm, i.e:

$$t_m \geq 0{,}8t_n - 0{,}2$$

16.6 Measurement of thickness of lead sheath

The minimum thickness of the lead sheath shall be determined by one of the following methods, at the discretion of the manufacturer, and shall not fall below 95 % of the nominal value by more than 0,1 mm, i.e.:

$$t_m \geq 0{,}95t_n - 0{,}1$$

16.6.1 Strip method

The measurement shall be made with a micrometer with plane faces of 4 mm to 8 mm diameter and an accuracy of ±0,01 mm.

The measurement shall be made on a test piece of sheath about 50 mm in length, removed from the completed cable. The piece shall be slit longitudinally and carefully flattened. After cleaning the test piece, a sufficient number of measurements shall be made along the circumference of the sheath and not less than 10 mm away from the edge of the flattened piece to ensure that the minimum thickness is measured.

16.6.2 Ring method

The measurements shall be made with a micrometer having either one flat nose and one ball nose, or one flat nose and a flat rectangular nose 0,8 mm wide and 2,4 mm long. The ball nose or the flat rectangular nose shall be applied to the inside of the ring. The accuracy of the micrometer shall be ±0,01 mm.

The measurements shall be made on a ring of the sheath carefully cut from the sample. The thickness shall be determined at a sufficient number of points around the circumference of the ring to ensure that the minimum thickness is measured.

16.7 Measurement of armour wires and tapes

16.7.1 Measurement on wires

The diameter of round wires and the thickness of flat wires shall be measured by means of a micrometer having two flat noses to an accuracy of ±0,01 mm. For round wires, two measurements shall be made at right angles to each other at the same position and the average of the two values taken as the diameter.

16.7.2 Measurement on tapes

The measurement shall be made with a micrometer having two flat noses of approximately 5 mm in diameter to an accuracy of ±0,01 mm. For tapes up to 40 mm in width, the thickness shall be measured at the centre of the width. For wider tapes the measurements shall be made 20 mm from each edge of the tape and the average of the results taken as the thickness.

16.7.3 Requirements

The dimensions of armour wires and tapes shall not fall below the nominal values given in 12.5 by more than:

– 5 % for round wires;
– 8 % for flat wires;
– 10 % for tapes.

16.8 Measurement of external diameter

If the measurement of the external diameter of the cable is required as a sample test, it shall be carried out in accordance with Clause 8 of IEC 60811-1-1.

16.9 Hot set test for EPR, HEPR and XLPE insulations and elastomeric sheaths

16.9.1 Procedure

The sampling and test procedure shall be carried out in accordance with Clause 9 of IEC 60811-2-1, employing the conditions given in Tables 17 and 22.

16.9.2 Requirements

The test results shall comply with the requirements given in Table 17 for EPR, HEPR and XLPE insulations, and in Table 22 for SE_1 sheaths.

17 Type tests, electrical

A sample of completed cable, 10 m to 15 m in length, shall be subjected to the following tests, applied successively:

a) insulation resistance measurement at ambient temperature (see 17.1);
b) insulation resistance measurement at maximum conductor temperature in normal operation (see 17.2);
c) voltage test for 4 h (see 17.3).

Cables of rated voltage 1,8/3 (3,6) kV shall also be subjected to an impulse test on a separate sample of completed cable, 10 m to 15 m in length (see 17.4).

The tests shall be limited to not more than three cores.

17.1 Insulation resistance measurement at ambient temperature

17.1.1 Procedure

This test shall be made on the sample length before any other electrical test.

All outer coverings shall be removed and the cores shall be immersed in water at ambient temperature for at least 1 h before the test.

The d.c. test voltage shall be between 80 V and 500 V and shall be applied for sufficient time to reach a reasonably steady measurement, but in any case for not less than 1 min and not more than 5 min.

The measurement shall be made between each conductor and the water.

If requested, measurement may be confirmed at a temperature of (20 ± 1) °C.

17.1.2 Calculations

The volume resistivity shall be calculated from the measured insulation resistance by the following formula:

$$\rho = \frac{2 \times \pi \times l \times R}{\ln \frac{D}{d}}$$

where

ρ is the volume resistivity, in ohms · centimetres;

R is the measured insulation resistance, in ohms;

l is the length of the cable, in centimetres;

D is the outer diameter of the insulation, in millimetres;

d is the inner diameter of the insulation, in millimetres.

The "insulation resistance constant K_i" expressed in megohms · kilometres may also be calculated, using the formula:

$$K_i = \frac{l \times R \times 10^{-11}}{\log \frac{D}{d}} = 10^{-11} \times 0{,}367 \times \rho$$

NOTE For the cores of shaped conductors, the ratio D/d is the ratio of the perimeter over the insulation to the perimeter over the conductor.

17.1.3 Requirements

The values calculated from the measurements shall be not less than those specified in Table 13.

17.2 Insulation resistance measurement at maximum conductor temperature

17.2.1 Procedure

The cores of the cable sample shall be immersed in water at a temperature within ±2 °C of the maximum conductor temperature in normal operation for at least 1 h before the test.

The d.c. test voltage shall be 80 V to 500 V and shall be applied for sufficient time to reach a reasonably steady measurement, but in any case for not less than 1 min and not more than 5 min.

The measurement shall be made between each conductor and the water.

17.2.2 Calculations

The volume resistivity and/or the insulation resistance constant shall be calculated from the insulation resistance by the formulae given in 17.1.2.

17.2.3 Requirements

The values calculated from the measurements shall be not less than those specified in Table 13.

17.3 Voltage test for 4 h

17.3.1 Procedure

The cores of the cable sample shall be immersed in water at ambient temperature for at least 1 h before the test.

A power frequency voltage equal to $4\,U_0$ shall then be gradually applied and maintained continuously for 4 h between each conductor and the water.

17.3.2 Requirements

No breakdown of the insulation shall occur.

17.4 Impulse test for cables of rated voltage 1,8/3 (3,6) kV

17.4.1 Procedure

This test shall be performed on the sample at a conductor temperature between 5 °C and 10 °C above the maximum conductor temperature in normal operation.

The impulse voltage shall be applied according to the procedure given in IEC 60230 and shall have a peak value of 40 kV.

For multicore cables in which the cores are not individually screened, each series of impulses shall be applied in turn between each phase conductor and all the other conductors connected together and to earth.

17.4.2 Requirements

Each core of the cable shall withstand, without failure, 10 positive and 10 negative voltage impulses.

18 Type tests, non-electrical

The non-electrical type tests required by this standard are given in Table 14.

18.1 Measurement of thickness of insulation

18.1.1 Sampling

One sample shall be taken from each insulated cable core.

For cables having more than three cores with conductors of equal nominal cross-section, the number of cores on which the measurement is made shall be limited to either three cores or 10 % of the cores, whichever is larger.

18.1.2 Procedure

The measurements shall be made as described in 8.1 of IEC 60811-1-1.

18.1.3 Requirements

See 16.5.2.

18.2 Measurement of thickness of non-metallic sheaths (including extruded separation sheaths, but excluding inner coverings)

18.2.1 Sampling

One sample of cable shall be taken.

18.2.2 Procedure

The measurements shall be made as described in 8.2 of IEC 60811-1-1.

18.2.3 Requirements

See 16.5.3.

18.3 Tests for determining the mechanical properties of insulation before and after ageing

18.3.1 Sampling

Sampling and the preparation of the test pieces shall be carried out as described in 9.1 of IEC 60811-1-1.

18.3.2 Ageing treatments

The ageing treatments shall be carried out as described in 8.1 of IEC 60811-1-2 under the conditions specified in Table 15.

The tensile and bending tests after ageing with the copper conductor of Table 15 are only applicable to 0,6/1(1,2) kV cables. The bending test is only carried out on those cables for which the insulation cannot be subjected to the tensile test.

NOTE The tensile and bending tests, carried out after ageing in the presence of a copper conductor, are recommended. However, insufficient information has been obtained to date to make these requirements mandatory, except by agreement between the purchaser and the manufacturer.

18.3.3 Conditioning and mechanical tests

Conditioning and the measurement of mechanical properties shall be carried out as described in 9.1 of IEC 60811-1-1.

18.3.4 Requirements

The test results for aged and unaged test pieces shall comply with the requirements given in Table 15.

18.4 Tests for determining the mechanical properties of non-metallic sheaths before and after ageing

18.4.1 Sampling

Sampling and the preparation of the test pieces shall be carried out as described in 9.2 of IEC 60811-1-1.

18.4.2 Ageing treatments

The ageing treatments shall be carried out as described in 8.1 of IEC 60811-1-2, under the conditions specified in Table 18.

18.4.3 Conditioning and mechanical tests

Conditioning and the measurement of mechanical properties shall be carried out as described in 9.2 of IEC 60811-1-1.

18.4.4 Requirements

The test results for aged and unaged test pieces shall comply with the requirements given in Table 18.

18.5 Additional ageing test on pieces of completed cables

18.5.1 General

This test is intended to check that the insulation and non-metallic sheaths are not liable to deteriorate in operation due to contact with other components in the cable.

The test is applicable to cables of all types.

18.5.2 Sampling

Samples shall be taken from the completed cable as described in 8.1.4 of IEC 60811-1-2.

18.5.3 Ageing treatment

The ageing treatment of the pieces of cable shall be carried out in an air oven, as described in 8.1.4 of IEC 60811-1-2, under the following conditions:

– temperature: (10 ± 2) °C above the maximum conductor temperature of the cable in normal operation (see Table 15);

– duration: 7 × 24 h.

18.5.4 Mechanical tests

Test pieces of insulation and oversheath from the aged pieces of cable shall be prepared and subjected to mechanical tests as described in 8.1.4 of IEC 60811-1-2.

18.5.5 Requirements

The variations between the median values of tensile strength and elongation-at-break after ageing and the corresponding values obtained without ageing (see 18.3 and 18.4) shall not exceed the values applying to the test after ageing in an air oven specified in Table 15 for insulations, and Table 18 for non-metallic sheaths.

18.6 Loss of mass test on PVC sheaths of type ST_2

18.6.1 Procedure

The sampling and test procedure shall be in accordance with 8.2 of IEC 60811-3-2.

18.6.2 Requirements

The test results shall comply with the requirements given in Table 19.

18.7 Pressure test at high temperature on insulations and non-metallic sheaths

18.7.1 Procedure

The pressure test at high temperature shall be carried out in accordance with Clause 8 of IEC 60811-3-1, employing the test conditions given in the test method and in Tables 16 and 20.

18.7.2 Requirements

The test results shall comply with the requirements given in Clause 8 of IEC 60811-3-1.

18.8 Test on PVC insulation and sheaths and halogen free sheaths at low temperatures

18.8.1 Procedure

The sampling and test procedures shall be in accordance with Clause 8 of IEC 60811-1-4, employing the test temperature specified in Tables 16, 19 and 21.

18.8.2 Requirements

The results of the test shall comply with the requirements given in Clause 8 of IEC 60811-1-4.

18.9 Test for resistance of PVC insulation and sheaths to cracking (heat shock test)

18.9.1 Procedure

The sampling and test procedure shall be in accordance with Clause 9 of IEC 60811-3-1, the test temperature and duration being in accordance with Tables 16 and 19.

18.9.2 Requirements

The results of the tests shall comply with the requirements given in Clause 9 of IEC 60811-3-1.

18.10 Ozone resistance test for EPR and HEPR insulations

18.10.1 Procedure

The sampling and test procedure shall be carried out in accordance with Clause 8 of IEC 60811-2-1. The ozone concentration and test duration shall be in accordance with Table 17.

18.10.2 Requirements

The results of the test shall comply with the requirements given in Clause 8 of IEC 60811-2-1.

18.11 Hot set test for EPR, HEPR and XLPE insulations and elastomeric sheaths

The sampling and test procedure shall be carried out in accordance with 16.9 and shall comply with its requirements.

18.12 Oil immersion test for elastomeric sheaths

18.12.1 Procedure

The sampling and test procedure shall be carried out in accordance with Clause 10 of IEC 60811-2-1, employing the conditions given in Table 22.

18.12.2 Requirements

The results of the test shall comply with the requirements given in Table 22.

18.13 Water absorption test on insulation

18.13.1 Procedure

The sampling and test procedure shall be carried out in accordance with 9.1 or 9.2 of IEC 60811-1-3, employing the conditions specified in Tables 16 or 17, respectively.

18.13.2 Requirements

The results of the test shall comply with the requirements specified in 9.1 of IEC 60811-1-3 or Table 17, respectively.

18.14 Fire tests

18.14.1 Flame spread test on single cables

This test shall be carried out on ST_1, ST_2, or SE_1 oversheathed cables only when specially required.

The test method and requirements shall be those specified in IEC 60332-1.

18.14.2 Flame spread test on bunched cables

This test shall be carried out on ST_8 oversheathed halogen free cables.

The test method and requirements shall be those specified in IEC 60332-3-24.

18.14.3 Smoke emission test

This test shall be carried out on ST_8 oversheathed halogen free cables.

The test method and requirements shall be those specified in IEC 61034-2.

18.14.4 Acid gas emission test

This test shall be carried out on the non-metallic components of ST_8 oversheathed halogen free cables.

18.14.4.1 Procedure

The test method shall be that specified in IEC 60754-1.

18.14.4.2 Requirements

The results of the test shall comply with the requirements of Table 23.

18.14.5 pH and conductivity test

This test shall be carried out on the non-metallic components of ST_8 oversheathed halogen free cables.

18.14.5.1 Procedure

The test method shall be that specified in IEC 60754-2.

18.14.5.2 Requirements

The results of the test shall comply with the requirements of Table 23.

18.14.6 Fluorine content test

This test shall be carried out on the non-metallic components of ST_8 oversheathed halogen free cables.

18.14.6.1 Procedure

The test method shall be that specified in IEC 60684-2.

18.14.6.2 Requirements

The results of the test shall comply with the requirements of Table 23.

18.14.7 Toxicity test

Under consideration.

NOTE A test method is under development within IEC.

18.15 Measurement of carbon black content of black PE oversheaths

18.15.1 Procedure

The sampling and test procedure shall be carried out in accordance with Clause 11 of IEC 60811-4-1.

18.15.2 Requirements

The results of the test shall comply with the requirements of Table 20.

18.16 Shrinkage test for XLPE insulation

18.16.1 Procedure

The sampling and test procedure shall be carried out in accordance with Clause 10 of IEC 60811-1-3 under the conditions specified in Table 17.

18.16.2 Requirements

The results of the test shall comply with the requirements of Table 17.

18.17 Special bending test

This test shall be made on multicore cables with rated voltage 0,6/1 (1,2) kV, having a collective metallic layer in the form of metallic tapes applied directly over the assembled cores and omitting the inner covering.

18.17.1 Procedure

The sample shall be bent around a test cylinder (for example, the hub of a drum) at ambient temperature for at least one complete turn. The diameter of the cylinder shall be $7\,D \pm 5\,\%$ where D is the actual external diameter of the cable sample. The cable shall then be unwound and the process shall be repeated except that the bending of the sample shall be in the reverse direction.

This cycle of operations shall be carried out three times. The sample, left bent around the cylinder shall then be placed in an air oven heated to the maximum conductor temperature in normal operation of the cable for 24 h.

After the cable has cooled down, and while it is still bent, the voltage test shall be carried out in accordance with 15.3.

18.17.2 Requirements

No breakdown shall occur and the oversheath shall show no sign of cracking.

18.18 Determination of hardness of HEPR insulation

18.18.1 Procedure

The sampling and test procedure shall be carried out in accordance with Annex C.

18.18.2 Requirements

The results of the test shall comply with the requirements of Table 17.

18.19 Determination of the elastic modulus of HEPR insulation

18.19.1 Procedure

Sampling, preparation of the test pieces and the test procedure shall be carried out in accordance with Clause 9 of IEC 60811-1-1.

The loads required for 150 % elongation shall be measured. The corresponding stresses shall be calculated by dividing the loads measured by the cross-sectional areas of the unstretched test pieces. The ratios of the stresses to strains shall be determined to obtain the elastic moduli at 150 % elongation.

The elastic modulus shall be the median value.

18.19.2 Requirements

The results of the test shall comply with the requirements of Table 17.

18.20 Shrinkage test for PE oversheaths

18.20.1 Procedure

The sampling and test procedure shall be carried out in accordance with Clause 11 of IEC 60811-1-3 under the conditions specified in Table 20.

18.20.2 Requirements

The results of the test shall comply with the requirements of Table 20.

NOTE For halogen free oversheaths, the test method is under consideration.

18.21 Additional mechanical tests on halogen free oversheaths

These tests are intended to check that the halogen free oversheaths are not liable to damage during installation and operation.

NOTE Abrasion, tear resistance and heat shock tests are under consideration.

18.22 Water absorption test for halogen free oversheaths

18.22.1 Procedure

The sampling and test procedure shall be carried out in accordance with 9.2 of IEC 60811-1-3 employing the conditions specified in Table 21.

18.22.2 Requirements

The results of the test shall comply with the requirements of Table 21.

19 Electrical tests after installation

Tests after installation are made, if required, when the installation of the cable and its accessories has been completed.

A d.c. voltage equal to 4 U_0 shall be applied for 15 min.

NOTE Electrical tests on repaired installations are subject to installation requirements. The above test is for new installations only.

Table 13 – Electrical type test requirements for insulating compounds

Designation of compounds (see 4.2)	**Unit**	**PVC/A**	**EPR/ HEPR**	**XLPE**
Maximum conductor temperature in normal operation (see 4.2)	**°C**	**70**	**90**	**90**
Volume resistivity ρ				
– at 20 °C (see 17.1)	Ω·cm	10^{13}	–	–
– at maximum conductor temperature in normal operation (see 17.2)	Ω·cm	10^{10}	10^{12}	10^{12}
Insulation resistance constant K_i				
– at 20 °C (see 17.1)	MΩ·km	36,7	–	–
– at maximum conductor temperature in normal operation (see 17.2)	MΩ·km	0,037	3,67	3,67

Table 14 – Non-electrical type tests
(see Tables 15 to 23)

	Insulations				Sheaths					
Designation of compounds (see 4.2 and 4.3)	**PVC/A**	**EPR**	**HEPR**	**XLPE**	**PVC**		**PE**			
					ST_1	**ST_2**	**ST_3**	**ST_7**	**ST_8**	**SE_1**
Dimensions										
Measurements of thickness	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Mechanical properties (tensile strength and elongation-at-break)										
Without ageing	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
After ageing in air oven	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
After ageing of pieces of complete cable	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
After immersion in hot oil	–	–	–	–	–	–	–	–	–	x
Thermoplastic properties										
Hot pressure test (indentation)	x	–	–	–	x	x	–	x	x	–
Behaviour at low temperature	x	–	–	–	x	x	–	–	x	–
Miscellaneous										
Loss of mass in air oven	–	–	–	–	–	x	–	–	–	–
Heat shock test (cracking)	x	–	–	–	x	x	–	–	–	–
Ozone resistance test	–	x	x	–	–	–	–	–	–	–
Hot set test	–	x	x	x	–	–	–	–	–	x
Water absorption	x	x	x	x	–	–	–	–	x	–
Shrinkage test	–	–	–	x	–	–	x	x	[c]	–
Carbon black content [a]	–	–	–	–	–	–	x	x	–	–
Determination of hardness	–	–	x	–	–	–	–	–	–	–
Determination of elastic modulus	–	–	x	–	–	–	–	–	–	–
Fire tests										
Flame spread test on single cables (if required)	–	–	–	–	x	x	–	–	–	x
Flame spread test on bunched cables	–	–	–	–	–	–	–	–	x	–
Smoke emission test on cables	–	–	–	–	–	–	–	–	x	–
Acid gas emission test	–	[b]	[b]	[b]	–	–	–	–	x	–
pH and conductivity	–	[b]	[b]	[b]	–	–	–	–	x	–
Fluorine content test	–	[b]	[b]	[b]	–	–	–	–	x	–

NOTE x indicates that the type test is to be applied.

[a] For black oversheaths only.

[b] Indicates that the test is only required for EPR, HEPR and XLPE when the cable is claimed to be halogen free.

[c] Under consideration.

Table 15 – Test requirements for mechanical characteristics of insulating compounds (before and after ageing)

	Unit	PVC/A	EPR		HEPR		XLPE	
Designation of compounds (see 4.2)			**0,6/1(1,2) kV cables with copper conductors**	**All other cables**	**0,6/1(1,2) kV cables with copper con ductors**	**All other cables**	**0,6/1(1,2) kV cables with copper con ductors**	**All other cables**
Maximum conductor temperature in normal operation (see 4.2)	°C	**70**	**90**	**90**	**90**	**90**	**90**	**90**
Without ageing (IEC 60811-1-1, Subclause 9.1)								
Tensile strength, minimum	N/mm²	12,5	4,2	4,2	8,5	8,5	12,5	12,5
Elongation-at-break, minimum	%	150	200	200	200	200	200	200
After ageing in an air oven (IEC 60811-1-2, Subclause 8.1)								
After ageing without conductor								
Treatment:								
– temperature	°C	100	135	135	135	135	135	135
– tolerance	°C	±2	±3	±3	±3	±3	±3	±3
– duration	h	168	168	168	168	168	168	168
Tensile strength								
a) value after ageing, minimum	N/mm²	12,5	–	–	–	–	–	–
b) variation [a], maximum	%	±25	±30	±30	±30	±30	±25	±25
Elongation-at-break:								
a) value after ageing, minimum	%	150	–	–	–	–	–	–
b) variation [a], maximum	%	±25	±30	±30	±30	±30	±25	±25
After ageing with copper conductor followed by the tensile test [b]				–				
Treatment:								
– temperature	°C	–	150	–	150	–	150	–
– tolerance	°C	–	±3	–	±3	–	±3	–
– duration	h	–	168	–	168	–	168	–
Tensile strength:								
Variation [a], maximum	%	–	±30	–	±30	–	±30	–
Elongation-at-break:								
Variation [a], maximum	%	–	±30	–	±30	–	±30	–
After ageing with copper conductor followed by bending test (only if the tensile test is not practicable) [b]								
Treatment:								
– temperature	°C	–	150	–	150	–	150	–
– tolerance	°C	–	±3	–	±3	–	±3	–
– duration	h	–	240	–	240	–	240	–
Results to be obtained		–	No cracks	–	No cracks	–	No cracks	–

[a] Variation: difference between the median value obtained after ageing and the median value obtained without ageing expressed as a percentage of the latter.

[b] See 18.3.2.

Table 16 – Test requirements for particular characteristics for PVC insulating compound

Designation of compound (see 4.2 and 4.3)	**Unit**	**PVC/A**
Use of the PVC compound		**Insulation**
Pressure test at high temperature (IEC 60811-3-1, Clause 8)		
– temperature (tolerance ±2 °C)	°C	80
Behaviour at low temperature [a] (IEC 60811-1-4, Clause 8)		
Test to be carried out without previous ageing:		
– cold bending test for diameter <12,5 mm – temperature (tolerance ±2 °C)	°C	–15
Cold elongation test on dumb-bells:		
– temperature (tolerance ±2 °C)	°C	–15
Cold impact test:		
– temperature (tolerance ±2 °C)	°C	–
Heat shock test (IEC 60811-3-1, Clause 9)		
Treatment:		
– temperature (tolerance ±3 °C) – duration	°C h	150 1
Water absorption (IEC 60811-1-3, Subclause 9.1)		
Electrical method:		
Treatment:		
– temperature (tolerance ±2 °C) – duration	°C h	70 240

[a] Due to climatic conditions, national standards may require the use of a lower temperature.

Table 17 – Test requirements for particular characteristics of various cross-linked insulating compounds

Designation of compounds (see 4.2)	**Unit**	**EPR**	**HEPR**	**XLPE**
Ozone resistance (IEC 60811-2-1, Clause 8)				
Ozone concentration (by volume)	%	0,025 to 0,030	0,025 to 0,030	–
Test duration without cracks	h	24	24	–
Hot set test (IEC 60811-2-1, Clause 9)				
Treatment*:*				
– air temperature (tolerance ±3 °C)	°C	250	250	200
– time under load	min	15	15	15
– mechanical stress	N/cm^2	20	20	20
Maximum elongation under load	%	175	175	175
Maximum permanent elongation after cooling	%	15	15	15
Water absorption (IEC 60811-1-3, Subclause 9.2)				
Gravimetric method:				
Treatment:				
– temperature (tolerance ±2 °C)	°C	85	85	85
– duration	h	336	336	336
Maximum increase of mass	mg/cm^2	5	5	1 [a]
Shrinkage test (IEC 60811-1-3, Clause 10)				
Distance *L* between marks	mm	–	–	200
Treatment:				
– temperature (tolerance ±3 °C)	°C	–	–	130
– duration	h	–	–	1
Maximum shrinkage	%	–	–	4
Determination of hardness (see Annex C)				
IRHD [b], minimum		–	80	–
Determination of elastic modulus (see 18.19)				
Modulus at 150 % elongation, minimum	N/mm^2	–	4,5	–

[a] An increase greater than 1 mg/cm^2 is being considered for densities of XLPE greater than 1 g/cm^3.

[b] IRHD: international rubber hardness degree.

Table 18 – Test requirements for mechanical characteristics of sheathing compounds (before and after ageing)

Designation of compounds (see 4.3)	**Unit**	**ST_1**	**ST_2**	**ST_3**	**ST_7**	**ST_8**	**SE_1**
Maximum conductor temperature in normal operation (see 4.3)	°C	80	90	80	90	90	85
Without ageing (IEC 60811-1-1, Subclause 9.2)							
Tensile strength, minimum	N/mm^2	12,5	12,5	10,0	12,5	9,0	10,0
Elongation-at-break, minimum	%	150	150	300	300	125	300
After ageing in an air oven (IEC 60811-1-2, Subclause 8.1)							
Treatment:							
– temperature (tolerance ±2 °C)	°C	100	100	100	110	100	100
– duration	h	168	168	240	240	168	168
Tensile strength:							
a) value after ageing, minimum	N/mm^2	12,5	12,5	–	–	9,0	–
b) variation [a], maximum	%	±25	±25	–	–	±40	±30
Elongation-at-break:							
a) value after ageing, minimum	%	150	150	300	300	100	250
b) variation [a], maximum	%	±25	±25	–	–	±40	±40

[a] Variation: difference between the median value obtained after treatment and the median value without treatment, expressed as a percentage of the latter.

Table 19 – Test requirements for particular characteristics for PVC sheathing compounds

Designation of compound (see 4.2 and 4.3)	**Unit**	**ST_1**	**ST_2**
Use of the PVC compound		**Sheath**	
Loss of mass in an air oven (IEC 60811-3-2, Subclause 8.2)			
Treatment:			
– temperature (tolerance ±2 °C)	°C	–	100
– duration	h	–	168
Maximum loss of mass	mg/cm^2	–	1,5
Pressure test at high temperature (IEC 60811-3-1, Clause 8)			
- temperature (tolerance ±2 °C)	°C	80	90
Behaviour at low temperature [a] (IEC 60811-1-4, Clause 8)			
Test to be carried out without previous ageing:			
– cold bending test for diameter <12,5 mm – temperature (tolerance ±2 °C)	°C	–15	–15
Cold elongation test on dumb-bells:			
– temperature (tolerance ±2 °C)	°C	–15	–15
Cold impact test:			
– temperature (tolerance ±2 °C)	°C	–15	–15
Heat shock test (IEC 60811-3-1, Clause 9)			
Treatment:			
– temperature (tolerance ±3 °C)	°C	150	150
– duration	h	1	1

[a] Due to climatic conditions national standards may require the use of a lower temperature.

Table 20 – Test requirements for particular characteristics of thermoplastic PE sheathing compounds

Designation of compounds (see 4.3)	**Unit**	**ST_3**	**ST_7**
Density [a] (IEC 60811-1-3, Clause 8)			
Carbon black content (for black oversheaths only) (IEC 60811-4-1, Clause 11)			
Nominal value	%	2,5	2,5
Tolerance	%	±0,5	±0,5
Shrinkage test (IEC 60811-1-3, Clause 11)			
Treatment:			
– temperature (tolerance ±2 °C)	°C	80	80
– heating, duration	h	5	5
– heating, cycles		5	5
Maximum shrinkage	%	3	3
Pressure test at high temperature (IEC 60811-3-1, Subclause 8.2)			
– temperature (tolerance ±2 °C)	°C	–	110
[a] The measurement of density is only required for the purpose of other tests.			

Table 21 – Test requirements for particular characteristics of halogen free sheathing compound

Designation of compound	**Unit**	**ST_8**
Behaviour at low temperature [a] (IEC 60811-1-4, Clause 8)		
Test to be carried out without previous ageing:		
– cold bending test for diameter <12,5 mm – temperature (tolerance ±2 °C)	°C	-15
Cold elongation test on dumb-bells:		
– temperature (tolerance ±2 °C)	°C	-15
Cold impact test:		
– temperature (tolerance ±2 °C)	°C	-15
Pressure test at high temperature (IEC 60811-3-1, Clause 8)		
– temperature (tolerance ±2 °C)	°C	80
Water absorption (IEC 60811-1-3, Subclause 9.2)		
Gravimetric method:		
Treatment:		
– temperature (tolerance ±2 °C)	°C	70
– duration	h	24
Maximum increase of mass	mg/cm^2	10
a Due to climatic conditions, national standards may require the use of a lower temperature.		

Table 22 – Test requirements for particular characteristics of elastomeric sheathing compound

Designation of compound (see 4.3)	**Unit**	**SE_1**
Oil immersion test followed by a determination of the mechanical properties (IEC 60811-2-1, Clause 10 and IEC 60811-1-1, Clause 9)		
Treatment:		
– oil temperature (tolerance ±2 °C)	°C	100
– duration	h	24
Maximum variation [a] of:		
a) tensile strength	%	±40
b) elongation-at-break	%	±40
Hot set test (IEC 60811-2-1, Clause 9)		
Treatment:		
– temperature (tolerance ±3 °C)	°C	200
– time under load	min	15
– mechanical stress	N/cm^2	20
Maximum elongation under load	%	175
Maximum permanent elongation after cooling	%	15

[a] Variation: difference between the median value obtained after treatment and the median value without treatment, expressed as a percentage of the latter.

Table 23 – Test methods and requirements for halogen free compounds

Test method	**Unit**	**Requirement**
Acid gas emission test (IEC 60754-1)		
Bromine and chlorine content (expressed as HCl), maximum	%	0,5
Fluorine content test (IEC 60684-2)		
Fluorine content, maximum	%	0,1
pH and conductivity test (IEC 60754-2)		
pH, minimum		4,3
Conductivity, maximum	µS/mm	10

NOTE A toxicity test is under consideration.

Annex A
(normative)

Fictitious calculation method for determination of dimensions of protective coverings

The thickness of cable coverings, such as sheaths and armour, has usually been related to nominal cable diameters by means of "step-tables".

This sometimes causes problems. The calculated nominal diameters are not necessarily the same as the actual values achieved in production. In borderline cases, queries can arise if the thickness of a covering does not correspond to the actual diameter because the calculated diameter is slightly different. Variations in shaped conductor dimensions between manufacturers and different methods of calculation cause differences in nominal diameters and may therefore lead to variations in the thicknesses of coverings used on the same basic design of cable.

To avoid these difficulties, the fictitious calculation method shall be used. The idea is to ignore the shape and degree of compaction of conductors and to calculate fictitious diameters from formulae based on the cross-sectional area of conductors, nominal insulation thickness and number of cores. Thicknesses of sheath and other coverings are then related to the fictitious diameters by formulae or by tables. The method of calculating fictitious diameters is precisely specified and there is no ambiguity about the thicknesses of coverings to be used, which are independent of slight differences in manufacturing practices. This standardizes cable designs, thicknesses being pre-calculated and specified for each conductor cross-section.

The fictitious calculation is used only to determine dimensions of sheaths and cable coverings. It is not a replacement for the calculation of actual diameters required for practical purposes, which should be calculated separately.

A.1 General

The following fictitious method of calculating thicknesses of various coverings in a cable has been adopted to ensure that any differences which can arise in independent calculations, for example due to the assumption of conductor dimensions and the unavoidable differences between nominal and actually achieved diameters, are eliminated.

All thickness values and diameters shall be rounded according to the rules in Annex B to the first decimal figure.

Holding strips, for example counter helix over armour, if not thicker than 0,3 mm, are neglected in this calculation method.

A.2 Method

A.2.1 Conductors

The fictitious diameter (d_L) of a conductor, irrespective of shape and compactness, is given for each nominal cross-section in Table A.1.

Table A.1 – Fictitious diameter of conductor

Nominal cross-section of conductor mm²	d_L mm	Nominal cross-section of conductor mm²	d_L mm
1,5	1,4	95	11,0
2,5	1,8	120	12,4
4	2,3	150	13,8
6	2,8	185	15,3
10	3,6	240	17,5
16	4,5	300	19,5
25	5,6	400	22,6
35	6,7	500	25,2
50	8,0	630	28,3
70	9,4	800	31,9
		1 000	35,7

A.2.2 Cores

The fictitious diameter D_c of any core is given by:

$$D_c = d_L + 2\,t_i$$

where t_i is the nominal thickness of insulation, in millimetres (see Tables 5 to 7).

If a metallic screen or a concentric conductor is applied, a further addition shall be made in accordance with A.2.5.

A.2.3 Diameter over laid-up cores

The fictitious diameter over laid-up cores (D_f) is given by:

a) for cables having all conductors of the same nominal cross-sectional area:

$$D_f = kD_c$$

where the assembly coefficient k is as given in Table A.2.

b) for four-core cables with one conductor with reduced cross-section:

$$D_f = \frac{2{,}42\,(3\,D_{c1} + D_{c2})}{4}$$

where

D_{c1} is the fictitious diameter of the insulated phase conductor, including metallic layer, if any, in millimetres;

D_{c2} is the fictitious diameter of the conductor with reduced cross-section including the insulation or covering, if any, in millimetres.

Table A.2 – Assembly coefficient *k* for laid-up cores

Number of cores	Assembly coefficient *k*	Number of cores	Assembly coefficient *k*
2	2,00	24	6,00
3	2,16	25	6,00
4	2,42	26	6,00
5	2,70	27	6,15
6	3,00	28	6,41
7	3,00	29	6,41
7 [a]	3,35	30	6,41
8	3,45	31	6,70
8 [a]	3,66	32	6,70
9	3,80	33	6,70
9 [a]	4,00	34	7,00
10	4,00	35	7,00
10 [a]	4,40	36	7,00
11	4,00	37	7,00
12	4,16	38	7,33
12 [a]	5,00	39	7,33
13	4,41	40	7,33
14	4,41	41	7,67
15	4,70	42	7,67
16	4,70	43	7,67
17	5,00	44	8,00
18	5,00	45	8,00
18*	7,00	46	8,00
19	5,00	47	8,00
20	5,33	48	8,15
21	5,33	52	8,41
22	5,67	61	9,00
23	5,67		

[a] Cores assembled in one layer.

A.2.4 Inner coverings

The fictitious diameter over the inner covering (D_B) is given by:

$$D_B = D_f + 2\ t_B$$

where

t_B = 0,4 mm for fictitious diameters over laid-up cores (D_f) up to and including 40 mm;

t_B = 0,6 mm for D_f exceeding 40 mm.

These fictitious values for t_B apply to

a) multicore cables:
   - whether an inner covering is applied or not;
   - whether the inner covering is extruded or lapped;

   unless a separation sheath complying with 12.3.3 is used in place of or in addition to the inner covering, when A.2.7 applies instead;

b) single-core cables:

   when an inner covering is applied whether it is extruded or lapped.

A.2.5 Concentric conductors and metallic screens

The increase in diameter due to the concentric conductor or metallic screen is given in Table A.3.

Table A.3 – Increase of diameter for concentric conductors and metallic screens

Nominal cross-section of concentric conductor or metallic screen	Increase in diameter	Nominal cross-section of concentric conductor or metallic screen	Increase in diameter
mm²	mm	mm²	mm
1,5	0,5	50	1,7
2,5	0,5	70	2,0
4	0,5	95	2,4
6	0,6	120	2,7
10	0,8	150	3,0
16	1,1	185	4,0
25	1,2	240	5,0
35	1,4	300	6,0

If the cross-section of the concentric conductor or metallic screen lies between two of the values given in the table above, then the increase in diameter is that given for the larger of the two cross-sections.

If a metallic screen is applied, the cross-sectional area of the screen to be used in the table above shall be calculated in the following manner:

a) tape screen:

$$\text{cross-sectional area} = n_t \times t_t \times w_t$$

   where

   n_t is the number of tapes;

   t_t is the nominal thickness of an individual tape, in millimetres;

   w_t is the nominal width of an individual tape, in millimetres.

   Where the total thickness of the screen is less than 0,15 mm then the increase in diameter shall be zero:

   - for a lapped tape screen made of either two tapes or one tape with overlap, the total thickness is twice the thickness of one tape;

– for a longitudinally applied tape screen:
  • if the overlap is below 30 %, the total thickness is the thickness of the tape;
  • if the overlap is greater than or equal to 30 %, the total thickness is twice the thickness of the tape;

b) wire screen (with a counter helix, if any):

$$\text{cross-sectional area} = \frac{n_w \times d_w^2 \times \pi}{4} + n_h \times t_h \times w_h$$

where

n_w is the number of wires;

d_w is the diameter of an individual wire, in millimetres;

n_h is the number of counter helix;

t_h is the thickness of counter helix, in millimetres, if greater than 0,3 mm;

w_h is the width of counter helix, in millimetres.

A.2.6 Lead sheath

The fictitious diameter over the lead sheath (D_{pb}) is given by:

$$D_{pb} = D_g + 2\,t_{pb}$$

where

D_g is the fictitious diameter under the lead sheath, in millimetres;

t_{pb} is the thickness calculated in accordance with Clause 11, in millimetres.

A.2.7 Separation sheath

The fictitious diameter over the separation sheath (D_s) is given by:

$$D_s = D_u + 2\,t_s$$

where

D_u is the fictitious diameter under the separation sheath, in millimetres;

t_s is the thickness calculated in accordance with 12.3.3, in millimetres.

A.2.8 Lapped bedding

The fictitious diameter over the lapped bedding (D_{lb}) is given by:

$$D_{lb} = D_{ulb} + 2\,t_{lb}$$

where

D_{ulb} is the fictitious diameter under the lapped bedding, in millimetres;

t_{lb} is the thickness of lapped bedding, i.e. 1,5 mm according to 12.3.4.

A.2.9 Additional bedding for tape-armoured cables (provided over the inner covering)

Table A.4 – Increase of diameter for additional bedding

Fictitious diameter under the additional bedding		Increase in diameter for additional bedding
Above mm	Up to and including mm	mm
–	29	1,0
29	–	1,6

A.2.10 Armour

The fictitious diameter over the armour (D_X) is given for

a) flat or round wire armour by:

$$D_X = D_A + 2\ t_A + 2\ t_W$$

where

D_A is the diameter under the armour, in millimetres;

t_A is the thickness or diameter of the armour wire, in millimetres;

t_W is the thickness of the counter helix, if any, in millimetres, if greater than 0,3 mm.

b) double tape armour by:

$$D_X = D_A + 4\ t_A$$

where

D_A is the diameter under the armour, in millimetres;

t_A is the thickness of the armour tape, in millimetres.

Annex B
(normative)

Rounding of numbers

B.1 Rounding of numbers for the purpose of the fictitious calculation method

The following rules apply when rounding numbers in calculating fictitious diameters and determining dimensions of component layers in accordance with Annex A.

When the calculated value at any stage has more than one decimal place, the value shall be rounded to one decimal place, i.e. to the nearest 0,1 mm. The fictitious diameter at each stage shall be rounded to 0,1 mm and, when used to determine the thickness or dimension of an overlying layer, it shall be rounded before being used in the appropriate formula or table. The thickness calculated from the rounded value of the fictitious diameter shall in turn be rounded to 0,1 mm as required in Annex A.

To illustrate these rules, the following practical examples are given:

a) when the figure in the second decimal place before rounding is 0, 1, 2, 3 or 4, then the figure retained in the first decimal place remains unchanged (rounding down).

   Examples:

   2,12 ≈ 2,1
   2,449 ≈ 2,4
   25,0478 ≈ 25,0

b) when the figure in the second decimal place before rounding is 9, 8, 7, 6 or 5, then the figure in the first decimal place is increased by one (rounding up).

   Examples:

   2,17 ≈ 2,2
   2,453 ≈ 2,5
   30,050 ≈ 30,1

B.2 Rounding of numbers for other purposes

For purposes other than those considered under Clause B.1, it may be required that values are rounded to more than one decimal place. This may occur, for instance, in calculating the average value of several measurement results, or the minimum value by applying a percentage tolerance to a given nominal value. In these cases, rounding shall be carried out to the number of decimal places specified in the relevant clauses.

The method of rounding shall then be as follows:

a) if the last figure to be retained is followed, before rounding, by 0, 1, 2, 3 or 4, it shall remain unchanged (rounding down);

b) if the last figure to be retained is followed, before rounding, by 9, 8, 7, 6 or 5, it shall be increased by one (rounding up).

Examples:

2,449	≈	2,45	rounded to two decimal places
2,449	≈	2,4	rounded to one decimal place
25,0478	≈	25,048	rounded to three decimal places
25,0478	≈	25,05	rounded to two decimal places
25,0478	≈	25,0	rounded to one decimal place

Annex C
(normative)

Determination of hardness of HEPR insulations

C.1 Test piece

The test piece shall be a sample of completed cable with all the coverings, external to the HEPR insulation to be measured, carefully removed. Alternatively, a sample of insulated core may be used.

C.2 Test procedure

Tests shall be made in accordance with ISO 48 with exceptions as indicated below.

C.2.1 Surfaces of large radius of curvature

The test instrument, in accordance with ISO 48, shall be constructed so as to rest firmly on the HEPR insulation and permit the presser foot and indentor to make vertical contact with this surface. This is done in one of the following ways:

a) the instrument is fitted with feet moveable in universal joints so that they adjust themselves to the curved surface;

b) the base of the instrument is fitted with two parallel rods A and A', their distance apart depending on the curvature of the surface (see Figure C.1).

These methods may be used on surfaces with radius of curvature down to 20 mm.

When the thickness of HEPR insulation tested is less than 4 mm, an instrument as described in the method used in ISO 48 for thin and small test pieces shall be used.

C.2.2 Surfaces of small radius of curvature

On surfaces with too small a radius of curvature for the procedures described in C.2.1, the test piece shall be supported on the same rigid base as the test instrument, in such a way as to minimize bodily movement of the HEPR insulation when the indenting force increment is applied to the indentor and so that the indentor is vertically above the axis of the test piece. Suitable procedures are as follows:

a) rest the test piece in a grove or trough in a metal jig (see Figure C.2a);

b) rest the ends of the conductor of the test piece in V-blocks (see Figure C.2b).

The smallest radius of curvature of the surface to be measured by these methods shall be at least 4 mm.

For smaller radii, an instrument as described in the method used in ISO 48 for thin and small test pieces shall be used.

C.2.3 Conditioning and test temperature

The minimum time between manufacture, i.e. vulcanization, and testing shall be 16 h.

The test shall be carried out at a temperature of (20 ± 2) °C and the test pieces shall be maintained at this temperature for at least 3 h immediately before testing.

C.2.4 Number of measurements

One measurement shall be made at each of three or five different points distributed around the test piece. The median of the results shall be taken as the hardness of the test piece, expressed to the nearest whole number in international rubber hardness degrees (IRHD).

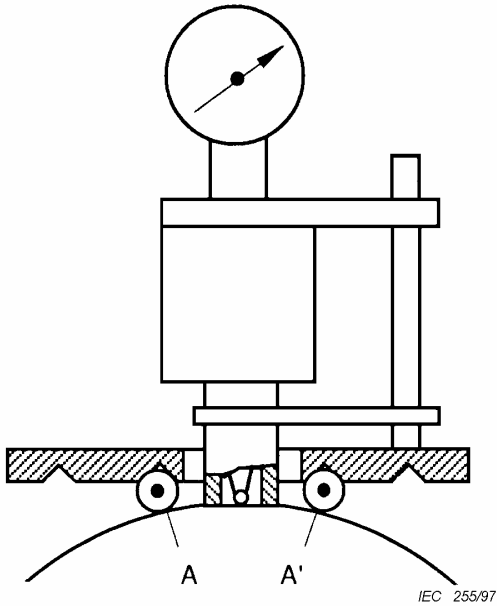

Figure C.1 – Test on surfaces of large radius of curvature

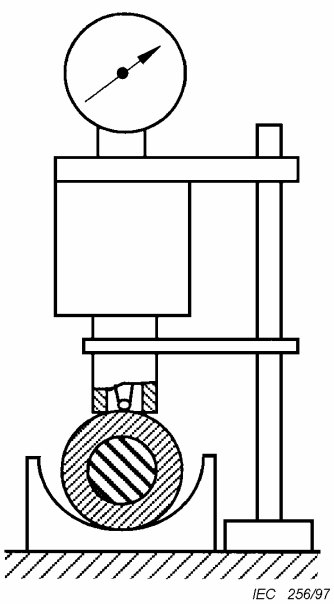

Figure C.2a – Test piece groove

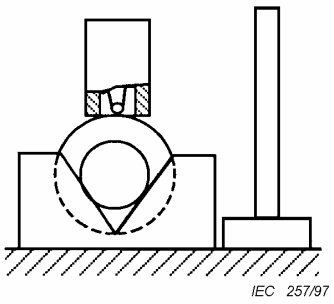

Figure C.2b – Test piece in V-blocks

Figure C.2 – Test on surfaces of small radius of curvature

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS 60

1 Domaine d'application 62
2 Références normatives 62
3 Termes et définitions 64
3.1 Définitions de valeurs dimensionnelles (épaisseurs, sections, etc.) 64
3.2 Définitions relatives aux essais 64
4 Désignation des tensions et des matériaux 65
4.1 Tensions assignées 65
4.2 Mélanges isolants 66
4.3 Mélanges pour gaine 67
5 Ames conductrices 67
6 Enveloppe isolante 67
6.1 Matériau 67
6.2 Epaisseur de l'enveloppe isolante 67
7 Assemblage des câbles multipolaires, revêtements internes et bourrages 69
7.1 Revêtements internes et bourrages 69
7.2 Câbles de tension assignée 0,6/1 (1,2) kV 70
7.3 Câbles de tension assignée 1,8/3 (3,6) kV 71
8 Revêtements métalliques des câbles unipolaires et multipolaires 71
9 Ecran métallique 72
9.1 Constitution 72
9.2 Exigences 72
10 Ame concentrique 72
10.1 Constitution 72
10.2 Exigences 72
10.3 Application 72
11 Gaine métallique 72
11.1 Gaine de plomb 72
11.2 Autres gaines métalliques 73
12 Armure métallique 73
12.1 Types d'armures métalliques 73
12.2 Matériaux 73
12.3 Disposition de l'armure 74
12.4 Dimensions des fils et des rubans d'armure 75
12.5 Correspondance entre les diamètres des câbles et les dimensions des armures 75
12.6 Armure de fils ronds ou méplats 76
12.7 Armure constituée de deux rubans 76
13 Gaine extérieure 76
13.1 Généralités 76
13.2 Matériau 76
13.3 Epaisseur 77

14 Conditions d'essais 77
14.1 Température ambiante 77
14.2 Fréquence et forme d'onde des tensions d'essai à fréquence industrielle 77
14.3 Forme d'onde des tensions d'essai de choc 77
15 Essais individuels 77
15.1 Généralités 77
15.2 Résistance électrique des âmes 78
15.3 Essai de tension 78
16 Essais sur prélèvements 79
16.1 Généralités 79
16.2 Fréquence des essais sur prélèvements 79
16.3 Répétition des essais 80
16.4 Examen de l'âme 80
16.5 Mesure de l'épaisseur des enveloppes isolantes et des gaines non métalliques (y compris les gaines de séparation extrudées, mais à l'exclusion des revêtements internes extrudés) 80
16.6 Mesure de l'épaisseur de la gaine de plomb 81
16.7 Mesure sur les fils et rubans d'armure 81
16.8 Mesure du diamètre extérieur 82
16.9 Essai d'allongement à chaud des enveloppes isolantes en EPR, HEPR et PR et des gaines en matériau élastomérique 82
17 Essais de type électriques 82
17.1 Mesure de la résistance d'isolement à la température ambiante 82
17.2 Mesure de la résistance d'isolement à la température maximale de l'âme 83
17.3 Essai de tension pendant 4 h 84
17.4 Essai aux ondes de choc pour les câbles de tension assignée 1,8/3 (3,6) kV 84
18 Essais de type non électriques 84
18.1 Mesure de l'épaisseur de l'enveloppe isolante 84
18.2 Mesure de l'épaisseur des gaines non métalliques (y compris les gaines de séparation extrudées, mais à l'exclusion des revêtements internes) 85
18.3 Essai de détermination des propriétés mécaniques des enveloppes isolantes avant et après vieillissement 85
18.4 Détermination des propriétés mécaniques des gaines non métalliques avant et après vieillissement 85
18.5 Essai additionnel de vieillissement sur tronçons de câbles complets 86
18.6 Essai de perte de masse des gaines en PVC du type ST_2 86
18.7 Essai de pression à température élevée des enveloppes isolantes et des gaines non métalliques 87
18.8 Essai à basse température de l'enveloppe isolante en PVC et des gaines en PVC 87
18.9 Essai de résistance à la fissuration de l'enveloppe isolante en PVC et des gaines en PVC (essai de choc thermique) 87
18.10 Essai de résistance à l'ozone des enveloppes isolantes en EPR et en HEPR 87
18.11 Essai d'allongement à chaud des enveloppes isolantes en EPR, HEPR et PR et des gaines en matériau élastomérique 87
18.12 Essai de résistance à l'huile minérale des gaines en matériau élastomérique 87
18.13 Essai d'absorption d'eau des enveloppes isolantes 88
18.14 Essais au feu 88
18.15 Mesure du taux de noir de carbone des gaines en PE de couleur noire 89
18.16 Essai de rétraction des enveloppes isolantes en PR 89

18.17 Essai spécial de pliage 89
18.18 Détermination de la dureté de l'enveloppe isolante en HEPR 90
18.19 Détermination du module d'élasticité de l'enveloppe isolante en HEPR 90
18.20 Essai de rétraction des gaines extérieures en PE 90
18.21 Essais mécaniques additionnels pour les gaines externes sans halogène 90
18.22 Essai d'absorption d'eau pour les gaines externes sans halogène 91
19 Essais électriques après pose 91

Annexe A (normative) Méthode du calcul fictif pour déterminer les dimensions des revêtements de protection 100
A.1 Généralités 100
A.2 Méthode 100

Annexe B (normative) Arrondissement des nombres 106
B.1 Arrondissement des nombres pour l'utilisation de la méthode du calcul fictif 106
B.2 Arrondissement des nombres pour d'autres utilisations 106

Annexe C (normative) Détermination de la dureté des enveloppes isolantes en HEPR 108
C.1 Eprouvette 108
C.2 Procédure d'essai 108

Figure C.1 – Essai des surfaces de grand rayon de courbure 109
Figure C.2 – Essai des surfaces de petit rayon de courbure 110

Tableau 1 – Tensions assignées recommandées U_0 65
Tableau 2 – Mélanges isolants 66
Tableau 3 – Températures maximales de l'âme pour les différents types de mélanges isolants 66
Tableau 4 – Températures maximales de l'âme pour les différents types de mélanges pour gaine 67
Tableau 5 – Epaisseur nominale de l'enveloppe isolante en PVC/A 68
Tableau 6 – Epaisseur nominale de l'enveloppe isolante en polyéthylène réticulé (PR) 68
Tableau 7 – Epaisseur nominale de l'enveloppe isolante en caoutchouc d'éthylène-propylène (EPR) et caoutchouc d'éthylène-propylène dur (HEPR) 69
Tableau 8 – Epaisseur du revêtement interne extrudé 70
Tableau 9 – Diamètre nominal des fils d'armure ronds 75
Tableau 10 – Epaisseur nominale des rubans d'armure 75
Tableau 11 – Tensions des essais individuels 79
Tableau 12 – Nombre d'échantillons pour essais sur prélèvements 80
Tableau 13 – Exigences pour les essais de type électriques pour les mélanges isolants 91
Tableau 14 – Essais de type non électriques (voir tableaux 15 à 23) 92
Tableau 15 – Exigences d'essai pour les propriétés mécaniques des mélanges pour enveloppes isolantes (avant et après vieillissement) 93
Tableau 16 – Exigences d'essai pour les propriétés particulières des mélanges à base de PVC pour enveloppes isolantes 93
Tableau 17 – Exigences d'essai pour les propriétés particulières des divers mélanges réticulés pour enveloppes isolantes 95

Tableau 18 – Exigences d'essai pour les propriétés mécaniques des mélanges pour gaines (avant et après vieillissement) 96
Tableau 19 – Exigences d'essai pour les propriétés particulières des mélanges à base de PVC pour gaines 97
Tableau 20 – Exigences d'essai pour les propriétés particulières des mélanges thermoplastiques à base de PE pour gaines 98
Tableau 21 – Exigences d'essai pour les caractéristiques particulières des mélanges de gaine sans halogène 98
Tableau 22 – Exigences d'essai pour les propriétés particulières de mélanges élastomères pour gaines 99
Tableau 23 – Méthodes d'essai et exigences pour les mélanges sans halogène 99
Tableau A.1 – Diamètre fictif des âmes 101
Tableau A.2 – Coefficient d'assemblage *k* pour les conducteurs assemblés 102
Tableau A.3 – Augmentation de diamètre pour les âmes concentriques et les écrans métalliques 103
Tableau A.4 – Augmentation de diamètre pour le matelas supplémentaire 105

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

_____

CÂBLES D'ÉNERGIE À ISOLANT EXTRUDÉ ET LEURS ACCESSOIRES POUR DES TENSIONS ASSIGNÉES DE 1 kV (U_m = 1,2 kV) À 30 kV (U_m = 36 kV) –

Partie 1: Câbles de tensions assignées de 1 kV (U_m = 1,2 kV) et 3 kV (U_m = 3,6 kV)

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 elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de la CEI. La CEI n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à 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 60502-1 a été établie par le comité d'étude 20 de la CEI: Câbles électriques.

Cette version consolidée de la CEI 60502-1 comprend la deuxième édition (2004) [documents 20/683/FDIS et 20/691/RVD] et son amendement 1 (2009) [documents 20/1063/FDIS et 20/1069/RVD].

Le contenu technique de cette version consolidée est donc identique à celui de l'édition de base et à son amendement; cette version a été préparée par commodité pour l'utilisateur.

Elle porte le numéro d'édition 2.1.

Une ligne verticale dans la marge indique où la publication de base a été modifiée par l'amendement 1.

Les modifications majeures par rapport à la première édition concernent les exigences pour les épaisseurs des enveloppes isolantes et des gaines de protection extérieures ainsi que les exigences pour les câbles sans halogène avec des propriétés de propagation de la flamme réduites et de faibles niveaux d'émission de fumée.

Cette publication a été établie en accord avec les Directives ISO/CEI, Partie 2.

La CEI 60502 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général *Câbles d'énergie à isolant extrudé et leurs accessoires pour des tensions assignées de 1 kV(U_m = 1,2 kV) à 30 kV (U_m = 36 kV):*

Partie 1: Câbles de tensions assignées de 1 kV (U_m = 1,2 kV) et 3 kV (U_m = 3,6 kV);

Partie 2: Câbles de tensions assignées de 6 kV (U_m = 7,2 kV) à 30 kV (U_m = 36 kV);

Partie 3: Réservée;

Partie 4: Exigences d'essai pour les accessoires de câbles de tensions assignées de 6 kV (U_m = 7,2 kV) à 30 kV (U_m = 36 kV).

Le comité a décidé que le contenu de la publication de base et de ses amendements 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.

CÂBLES D'ÉNERGIE À ISOLANT EXTRUDÉ ET LEURS ACCESSOIRES POUR DES TENSIONS ASSIGNÉES DE 1 kV (U_m = 1,2 kV) À 30 kV (U_m = 36 kV) –

Partie 1: Câbles de tensions assignées de 1 kV (U_m = 1,2 kV) et 3 kV (U_m = 3,6 kV)

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 60502 spécifie la constitution, les dimensions et les exigences d'essais des câbles d'énergie à isolation extrudée par diélectriques massifs, de tensions assignées de 1 kV (U_m = 1,2 kV) et 3 kV (U_m= 3,6 kV), pour installations fixes telles que les réseaux de distribution ou les installations industrielles.

La présente norme introduit des câbles qui présentent des propriétés de propagation de la flamme réduite, de faibles niveaux d'émission de fumée et des émissions de gaz sans halogène lorsqu'ils sont exposés au feu.

Les câbles destinés à des conditions particulières d'installations et de service ne sont pas inclus, par exemple les câbles pour réseaux aériens, pour l'industrie minière, les centrales nucléaires (à l'intérieur et à l'extérieur de l'enceinte de confinement), les câbles sous-marins ou les câbles de bord des navires.

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 60038:1983, *Tensions normales de la CEI*

CEI 60060-1:1989, *Techniques des essais à haute tension – Première partie: Définitions et exigences générales relatives aux essais*

CEI 60183:1984, *Guide pour le choix des câbles à haute tension*

CEI 60228:1978, *Ames des câbles isolés*

CEI 60230:1966, *Essais de choc des câbles et de leurs accessoires*

CEI 60332-1:1993, *Essais des câbles électriques soumis au feu – Partie 1: Essai sur un conducteur ou câble isolé vertical*

CEI 60332-3-24:2000, *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 60502-2:1997, *Câbles d'énergie à isolant extrudé et leurs accessoires pour des tensions assignées de 1 kV (U_m = 1,2 kV) à 30 kV (U_m = 36 kV) – Partie 2: Câbles de tensions assignées de 6 kV (U_m = 7,2 kV) à 30 kV (U_m = 36 kV)*

CEI 60684-2:1987, *Gaines isolantes souples – Partie 2: Méthodes d'essai*

CEI 60724:2000, *Limites de température de court-circuit des câbles électriques de tensions assignées de 1 kV (U_m = 1,2 kV) et 3 kV (U_m = 3,6 kV)*

CEI 60754-1:1994, *Essai sur les gaz émis lors de la combustion de matériaux prélevés sur câbles – Partie 1: Détermination de la quantité de gaz acide halogéné*

CEI 60754-2:1991, *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 60811-1-1:1993, *Méthodes d'essais communes pour les matériaux d'isolation et de gainage des câbles électriques – Partie 1: Méthodes d'application générale – Section 1: 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 – Partie 1: Méthodes d'application générale – Section 2: Méthodes de vieillissement thermique*

CEI 60811-1-3:1993, *Méthodes d'essais communes pour les matériaux d'isolation et de gainage des câbles électriques – Partie 1: Méthodes d'application générale – Section 3: 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 – Partie 1: Méthodes d'application générale – Section 4: Essais à basse température*

CEI 60811-2-1:1998, *Matériaux d'isolation et de gainage des câbles électriques et optiques – Méthodes d'essai communes – Partie 2-1: Méthodes spécifiques pour les mélanges élastomères – Essais relatifs à la résistance à l'ozone, à l'allongement à chaud et à la résistance à l'huile*

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

CEI 60811-3-2:1985, *Méthodes d'essais communes pour les matériaux d'isolation et de gainage des câbles électriques – Partie 3: Méthodes spécifiques pour les mélanges PVC – Section 2: Essai de perte de masse – Essai de stabilité thermique*

CEI 60811-4-1:1985, *Méthodes d'essais communes pour les matériaux d'isolation et de gainage des câbles électriques – Partie 4: Méthodes spécifiques pour les mélanges polyéthylène et polypropylène – Section 1: Résistance aux craquelures sous contraintes dues à l'environnement – Essai d'enroulement après vieillissement thermique dans l'air – Mesure de l'indice de fluidité à chaud – Mesure dans le PE du taux de noir de carbone et/ou des charges minérales*

CEI 61034-2:1997, *Mesure de la densité de fumées dégagées par des câbles brûlant dans des conditions définies – Partie 2: Procédure d'essai et exigences*

ISO 48:1994, *Caoutchouc vulcanisé ou thermoplastique – Détermination de la dureté (dureté comprise entre 10 IRHD et 100 IRHD)*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les définitions suivantes s'appliquent.

3.1 Définitions de valeurs dimensionnelles (épaisseurs, sections, etc.)

3.1.1
valeur nominale
valeur par laquelle une grandeur est dénommée et qui est souvent utilisée dans les tableaux

NOTE Régulièrement, dans cette norme, les valeurs nominales correspondent à des valeurs qui sont vérifiées par des mesures, compte tenu des tolérances spécifiées.

3.1.2
valeur approximative
valeur qui n'est ni garantie ni vérifiée; elle est utilisée, par exemple, pour le calcul d'autres dimensions

3.1.3
valeur médiane
quand plusieurs résultats d'essais sont obtenus et classés par ordre de valeurs croissantes (ou décroissantes), la valeur médiane est la valeur du milieu de la série si le nombre de valeurs disponibles est impair, et la moyenne arithmétique des deux valeurs centrales de la série si le nombre est pair

3.1.4
valeur fictive
valeur calculée suivant la «méthode du calcul fictif» définie à l'Annexe A

3.2 Définitions relatives aux essais

3.2.1
essais individuels
essais effectués par le fabricant sur chacune des longueurs de câble produit afin de vérifier que chaque longueur répond aux caractéristiques spécifiées

3.2.2
essais sur prélèvements
essais effectués par le fabricant sur des échantillons de câble complet ou sur des constituants prélevés sur câble complet, à une fréquence spécifiée, afin de vérifier que le produit fini répond aux caractéristiques spécifiées

3.2.3
essais de type
essais effectués avant la livraison sur une base commerciale générale d'un type de câble concerné par cette norme, afin de démontrer que ses caractéristiques répondent aux applications prévues

NOTE Ces essais sont de telle nature qu'après avoir été effectués, il n'est pas nécessaire de les répéter, à moins que des modifications n'aient été introduites dans les matériaux, dans la conception du câble ou dans le procédé de fabrication, susceptibles d'en modifier les caractéristiques.

3.2.4
essais électriques après pose
essais effectués pour vérifier l'intégrité du câble et de ses accessoires après la pose

4 Désignation des tensions et des matériaux

4.1 Tensions assignées

Les tensions assignées U_0/U (U_m) des câbles concernés par cette norme sont 0,6/1 (1,2) kV et 1,8/3 (3,6) kV.

NOTE 1 Les tensions indiquées ci-dessus constituent les désignations correctes, bien que d'autres désignations soient employées dans certains pays, par exemple 1,7/3 kV ou 1,9/3,3 kV au lieu de 1,8/3 kV.

Dans la désignation des tensions des câbles U_0/U (U_m):

U_0 est la tension assignée à fréquence industrielle entre chacun des conducteurs et la terre, ou l'écran métallique, pour laquelle le câble est conçu;

U est la tension assignée à fréquence industrielle entre conducteurs, pour laquelle le câble est conçu;

U_m est la valeur maximale de la «tension la plus élevée du réseau» pour laquelle le matériel peut être utilisé (voir CEI 60038).

Pour une application donnée, la tension assignée d'un câble doit être adaptée aux conditions d'exploitation du réseau dans lequel il est utilisé. Pour faciliter le choix du câble, les réseaux sont divisés en trois catégories:

– Catégorie A: cette catégorie comprend les réseaux dans lesquels tout conducteur de phase qui entre en contact avec la terre ou avec un conducteur de terre est déconnecté du réseau en moins de 1 min;

– Catégorie B: cette catégorie comprend les réseaux qui, en régime de défaut, continuent à être exploités pendant un temps limité avec une phase à la terre. Selon la CEI 60183, il convient que cette durée ne dépasse pas 1 h. Pour les câbles concernés par cette norme, une durée plus longue peut être tolérée, ne dépassant cependant 8 h en aucun cas. Il convient que la durée cumulée des défauts à la terre sur une année quelconque ne dépasse pas 125 h;

– Catégorie C: cette catégorie comprend tous les réseaux qui n'entrent pas dans l'une des catégories A ou B.

NOTE 2 Il convient d'avoir à l'esprit que, dans un réseau où un défaut à la terre n'est pas éliminé automatiquement et rapidement, les contraintes supplémentaires supportées par l'isolation des câbles pendant la durée du défaut réduisent la vie de ceux-ci dans une certaine proportion. S'il est prévu que le réseau fonctionne assez souvent avec un défaut permanent à la terre, il peut être prudent de classer le réseau dans la Catégorie C.

Les valeurs recommandées de U_0 pour les câbles utilisés dans les réseaux triphasés sont indiquées au Tableau 1.

Tableau 1 – Tensions assignées recommandées U_0

Tension la plus élevée du réseau (U_m) kV	**Tension assignée (U_0)** kV	
	Catégories A et B	**Catégorie C**
1,2	0,6	0,6
3,6	1,8	3,6*
* Cette catégorie est couverte par les câbles 3,6/6 (7,2) kV selon la CEI 60502-2.		

4.2 Mélanges isolants

Les types de mélanges isolants concernés par cette norme sont énumérés dans le Tableau 2, ainsi que leurs désignations abrégées.

Tableau 2 – Mélanges isolants

Mélange isolant	Désignation abrégée
a) *Thermoplastique*	
Polychlorure de vinyle pour les câbles de tension assignée $U_0/U \leq 1{,}8/3$ kV	PVC/A*
b) *Réticulé*	
Caoutchouc d'éthylène-propylène ou matériau similaire (EPM ou EPDM)	EPR
Caoutchouc d'éthylène-propylène dur ou à module élevé	HEPR
Polyéthylène réticulé	PR
* Le mélange isolant à base de polychlorure de vinyle destiné aux câbles de tension assignée U_0/U = 3,6/6 kV est désigné PVC/B dans la CEI 60502-2.	

Pour les différents types de mélanges isolants concernés par cette norme, les températures maximales de l'âme sont données au Tableau 3.

Tableau 3 – Températures maximales de l'âme pour les différents types de mélanges isolants

Mélange isolant		Température maximale de l'âme °C	
		Service normal	Court-circuit (durée maximale 5 s)
Polychlorure de vinyle	(PVC/A)		
	Section d'âme ≤300 mm²	70	160
	Section d'âme >300 mm²	70	140
Polyéthylène réticulé	(PR)	90	250
Caoutchouc d'éthylène-propylène	(EPR et HEPR)	90	250

Les températures indiquées au Tableau 3 sont basées sur les propriétés intrinsèques des matériaux isolants. Il est important de prendre en compte d'autres facteurs lorsque ces valeurs sont utilisées pour le calcul d'intensités admissibles.

Par exemple, en service normal, si un câble enterré directement dans le sol est exploité en régime permanent (facteur de charge de 100 %) à la température maximale de l'âme conductrice indiquée dans le tableau, la résistivité thermique du sol environnant peut, à la longue, dépasser sa valeur initiale par l'effet du dessèchement qui en résulte. La température de l'âme risque alors de dépasser largement la valeur maximale. Si de telles conditions de service sont envisagées, des précautions appropriées doivent être prises.

Pour des indications sur les températures de court-circuit, il convient de se référer à la CEI 60724.

4.3 Mélanges pour gaine

Pour les différents types de mélanges pour gaine concernés par cette norme, les températures maximales de l'âme sont données au Tableau 4.

Tableau 4 – Températures maximales de l'âme pour les différents types de mélanges pour gaine

Mélange pour gaine	Désignation abrégée	Température maximale de l'âme en service normal °C
a) *Thermoplastique:*		
Polychlorure de vinyle (PVC)	ST_1	80
	ST_2	90
Polyéthylène	ST_3	80
	ST_7	90
Sans halogène	ST_8	90
b) *Elastomère:*		
Polychloroprène, polyéthylène chlorosulfoné ou polymères similaires	SE_1	85

5 Ames conductrices

Les âmes doivent être, soit de Classe 1, soit de Classe 2, en cuivre recuit, nu ou revêtu d'une couche métallique, ou en aluminium nu ou en alliage d'aluminium, soit de Classe 5, en cuivre recuit, nu ou revêtu d'une couche métallique, conformément à la CEI 60228.

6 Enveloppe isolante

6.1 Matériau

L'enveloppe isolante doit être constituée d'un diélectrique massif extrudé de l'un des types énumérés au Tableau 2.

Pour les câbles sans halogène, l'enveloppe isolante doit satisfaire aux exigences données au Tableau 23.

6.2 Epaisseur de l'enveloppe isolante

Les épaisseurs nominales de l'enveloppe isolante sont spécifiées aux Tableaux 5 à 7.

L'épaisseur d'un éventuel séparateur ne doit pas être comprise dans celle de l'enveloppe isolante.

Tableau 5 – Epaisseur nominale de l'enveloppe isolante en PVC/A

Section nominale de l'âme mm²	**Epaisseur nominale de l'enveloppe isolante à la tension assignée U_0/U (U_m)**	
	0,6/1 (1,2) kV mm	**1,8/3 (3,6) kV** mm
1,5 et 2,5	0,8	–
4 et 6	1,0	–
10 et 16	1,0	2,2
25 et 35	1,2	2,2
50 et 70	1,4	2,2
95 et 120	1,6	2,2
150	1,8	2,2
185	2,0	2,2
240	2,2	2,2
300	2,4	2,4
400	2,6	2,6
500 à 800	2,8	2,8
1 000	3,0	3,0
NOTE L'emploi d'âmes conductrices de section inférieure à celles indiquées dans ce tableau n'est pas conseillé.		

Tableau 6 – Epaisseur nominale de l'enveloppe isolante en polyéthylène réticulé (PR)

Section nominale de l'âme mm²	**Epaisseur nominale de l'enveloppe isolante à la tension assignée U_0/U (U_m)**	
	0,6/1 (1,2) kV mm	**1,8/3 (3,6) kV** mm
1,5 et 2,5	0,7	–
4 et 6	0,7	–
10 et 16	0,7	2,0
25 et 35	0,9	2,0
50	1,0	2,0
70 et 95	1,1	2,0
120	1,2	2,0
150	1,4	2,0
185	1,6	2,0
240	1,7	2,0
300	1,8	2,0
400	2,0	2,0
500	2,2	2,2
630	2,4	2,4
800	2,6	2,6
1 000	2,8	2,8
NOTE L'emploi d'âmes conductrices de section inférieure à celles indiquées dans ce tableau n'est pas conseillé.		

Tableau 7 – Epaisseur nominale de l'enveloppe isolante en caoutchouc d'éthylène-propylène (EPR) et en caoutchouc d'éthylène-propylène dur (HEPR)

Section nominale de l'âme	Epaisseur nominale de l'enveloppe isolante à la tension assignée U_0/U (U_m)			
	0,6/1 (1,2) kV		1,8/3 (3,6) kV	
mm²	EPR mm	HEPR mm	EPR mm	HEPR mm
1,5 et 2,5	1,0	0,7	–	–
4 et 6	1,0	0,7	–	–
10 et 16	1,0	0,7	2,2	2,0
25 et 35	1,2	0,9	2,2	2,0
50	1,4	1,0	2,2	2,0
70	1,4	1,1	2,2	2,0
95	1,6	1,1	2,4	2,0
120	1,6	1,2	2,4	2,0
150	1,8	1,4	2,4	2,0
185	2,0	1,6	2,4	2,0
240	2,2	1,7	2,4	2,0
300	2,4	1,8	2,4	2,0
400	2,6	2,0	2,6	2,0
500	2,8	2,2	2,8	2,2
630	2,8	2,4	2,8	2,4
800	2,8	2,6	2,8	2,6
1 000	3,0	2,8	3,0	2,8

NOTE L'emploi d'âmes conductrices de section inférieure à celles indiquées dans ce tableau n'est pas conseillé.

7 Assemblage des câbles multipolaires, revêtements internes et bourrages

L'assemblage des câbles multipolaires dépend de la tension assignée et de l'écran métallique éventuellement appliqué sur chaque conducteur.

Les paragraphes 7.1 à 7.3 ne s'appliquent pas aux torsades de câbles unipolaires comportant une gaine individuelle.

7.1 Revêtements internes et bourrages

7.1.1 Constitution

Les revêtements internes peuvent être extrudés ou rubanés.

Pour les câbles à conducteurs circulaires, à l'exception des câbles à plus de cinq conducteurs, un revêtement interne rubané n'est admis que si les interstices entre conducteurs sont convenablement remplis.

L'emploi d'un lien approprié est permis avant l'application d'un revêtement interne extrudé.

7.1.2 Matériau

Les matériaux utilisés pour les revêtements internes et les bourrages doivent être adaptés à la température de service du câble et compatibles avec le matériau d'isolation.

Pour les câbles sans halogène, le revêtement interne et les bourrages doivent satisfaire aux exigences données au Tableau 23.

7.1.3 Epaisseur du revêtement interne extrudé

L'épaisseur approximative des revêtements internes extrudés doit être conforme aux valeurs du Tableau 8.

Tableau 8 – Epaisseur du revêtement interne extrudé

Diamètre fictif sur l'assemblage des conducteurs		Epaisseur du revêtement interne extrudé (valeurs approximatives) mm
Supérieur à mm	Inférieur ou égal à mm	
–	25	1,0
25	35	1,2
35	45	1,4
45	60	1,6
60	80	1,8
80	–	2,0

7.1.4 Epaisseur des revêtements internes rubanés

L'épaisseur approximative des revêtements rubanés doit être de 0,4 mm pour les diamètres fictifs sur assemblage des conducteurs inférieurs ou égaux à 40 mm et de 0,6 mm pour les diamètres supérieurs.

7.2 Câbles de tension assignée 0,6/1 (1,2) kV

Les câbles de tension assignée 0,6/1(1,2) kV peuvent comporter un revêtement métallique collectif autour des conducteurs.

NOTE Le choix entre les câbles avec ou sans revêtement métallique dépend des règlements nationaux et des règles d'installation relatifs à la prévention des risques éventuels liés aux avaries mécaniques ou aux contacts électriques directs.

7.2.1 Câbles avec revêtement métallique collectif (voir Article 8)

Les câbles doivent comporter un revêtement interne sur l'assemblage des conducteurs. Le revêtement interne et les bourrages doivent satisfaire aux exigences données en 7.1.

Toutefois, des rubans métalliques peuvent être appliqués directement sur l'assemblage des conducteurs, sans revêtement interne, à condition que l'épaisseur nominale de chaque ruban n'excède pas 0,3 mm et que le câble complet satisfasse à l'essai de pliage spécial spécifié en 18.17.

7.2.2 Câbles sans revêtement métallique collectif (voir Article 8)

Le revêtement interne peut être omis à condition que la forme extérieure du câble reste pratiquement cylindrique et qu'il n'y ait pas d'adhérence entre les conducteurs et la gaine.

La gaine extérieure peut pénétrer dans les interstices entre conducteurs, sauf dans le cas des gaines thermoplastiques sur conducteurs circulaires ayant des âmes de section supérieure à 10 mm^2.

Si toutefois un revêtement interne est appliqué, il n'est pas nécessaire que son épaisseur soit conforme aux valeurs données en 7.1.3 ou en 7.1.4.

7.3 Câbles de tension assignée 1,8/3 (3,6) kV

Les câbles de tension assignée 1,8/3 (3,6) kV doivent comporter un revêtement métallique individuel ou collectif sur les conducteurs.

7.3.1 Câbles ne comportant qu'un revêtement métallique collectif (voir Article 8)

Ces câbles doivent comporter un revêtement interne sur l'assemblage des conducteurs. Le revêtement interne et les bourrages doivent satisfaire aux exigences données en 7.1 et être non hygroscopiques.

7.3.2 Câbles comportant un revêtement métallique individuel sur chaque conducteur (voir Article 9)

Les revêtements métalliques de chacun des conducteurs doivent être en contact entre eux.

Les câbles ayant en outre un revêtement métallique collectif (voir l'Article 8) du même matériau que les revêtements individuels doivent comporter un revêtement interne sur l'assemblage des conducteurs. Le revêtement interne et les bourrages doivent satisfaire aux exigences données en 7.1 et doivent être non hygroscopiques.

Lorsque les revêtements métalliques individuels sous-jacents et le revêtement métallique collectif sont constitués de matériaux différents, ils doivent être séparés par une gaine extrudée constituée de l'un des matériaux spécifiés en 13.2. Pour les câbles sous gaine de plomb, la séparation depuis l'écran métallique sous-jacent peut être obtenue par un revêtement interne conforme à 7.1.

Pour les câbles ne comportant ni armure, ni âme concentrique, ni autre revêtement métallique collectif (voir l'Article 8), le revêtement interne peut être omis à condition que la forme extérieure du câble reste pratiquement cylindrique. La gaine extérieure peut pénétrer dans les interstices entre conducteurs, sauf dans le cas des gaines thermoplastiques sur conducteurs circulaires ayant des âmes de section supérieure à 10 mm^2. Si toutefois un revêtement interne est appliqué, il n'est pas nécessaire que son épaisseur soit conforme à 7.1.3 ou à 7.1.4.

8 Revêtements métalliques des câbles unipolaires et multipolaires

Les types de revêtements métalliques suivants sont inclus dans cette norme:

a) écran métallique (voir Article 9);

b) âme concentrique (voir Article 10);

c) gaine de plomb (voir Article 11);

d) armure métallique (voir Article 12).

Le ou les revêtements métalliques doivent correspondre à un ou plusieurs des types énumérés ci-dessus et ne doivent pas être magnétiques quand ils sont appliqués sur des câbles unipolaires ou sur des conducteurs individuels de câbles multipolaires.

9 Ecran métallique

9.1 Constitution

L'écran métallique doit être constitué d'un ou de plusieurs rubans, ou d'une tresse, ou d'une nappe concentrique de fils, ou d'une combinaison de fils et de ruban(s).

Il peut aussi être constitué d'une gaine ou, dans le cas d'un écran collectif, d'une armure satisfaisant aux exigences données en 9.2.

Dans le choix du matériau constituant l'écran, il est nécessaire d'apporter une attention particulière aux risques de corrosion, non seulement du point de vue de la sécurité mécanique, mais aussi du point de vue de la sécurité électrique.

Les vides dans l'écran doivent être conformes aux règlements nationaux et/ou aux normes nationales.

9.2 Exigences

Les exigences relatives aux dimensions et aux caractéristiques physiques et électriques de l'écran métallique doivent être définies par les règlements nationaux et/ou les normes nationales.

10 Ame concentrique

10.1 Constitution

Les vides dans l'âme concentrique doivent être conformes aux règlements nationaux et/ou aux normes nationales.

Dans le choix du matériau constituant l'âme concentrique, il est nécessaire d'apporter une attention particulière aux risques de corrosion, non seulement du point de vue de la sécurité mécanique, mais aussi du point de vue de la sécurité électrique.

10.2 Exigences

Les exigences relatives aux dimensions, aux caractéristiques physiques et à la résistance électrique de l'âme concentrique, doivent être définies par les règlements nationaux et/ou les normes nationales.

10.3 Application

Quand une âme concentrique est prescrite, elle doit être appliquée sur le revêtement interne dans le cas des câbles multipolaires. Dans le cas des câbles unipolaires, elle doit être appliquée soit directement sur l'enveloppe isolante soit sur un revêtement interne approprié.

11 Gaine métallique

11.1 Gaine de plomb

La gaine doit être constituée de plomb ou d'alliage de plomb et être appliquée sous forme d'un tube sans soudure, raisonnablement serré.

L'épaisseur nominale doit être calculée à l'aide de la formule suivante:

$$t_{pb} = 0{,}03\ D_g + 0{,}7$$

où

t_{pb} est l'épaisseur nominale de la gaine de plomb, en millimètres;

D_g est le diamètre fictif sous la gaine de plomb, en millimètres (arrondi à la première décimale, selon l'Annexe B).

Dans tous les cas, la plus petite épaisseur nominale ne doit pas être inférieure à 1,2 mm. Les valeurs calculées doivent être arrondies à la première décimale (voir Annexe B).

11.2 Autres gaines métalliques

A l'étude.

12 Armure métallique

12.1 Types d'armures métalliques

Les types d'armures concernés par cette norme sont les suivants:

a) armure de fils méplats;

b) armure de fils ronds;

c) armure constituée de deux rubans.

NOTE Pour les câbles de tension assignée 0,6/1 (1,2) kV comportant des âmes de section n'excédant pas 6 mm^2, l'armure peut être constituée d'une tresse de fils d'acier galvanisé selon accord entre le fabricant et l'acheteur.

12.2 Matériaux

Les fils ronds et méplats doivent être en acier galvanisé, en cuivre nu ou étamé, en aluminium ou en alliage d'aluminium.

Les rubans doivent être en acier, en acier galvanisé, en aluminium ou en alliage d'aluminium. Les rubans d'acier doivent être laminés à froid ou à chaud, de qualité commerciale.

Dans le cas des câbles munis d'une armure de fils d'acier devant satisfaire à une conductance minimale, il est admis d'ajouter des fils de cuivre ou de cuivre étamé en nombre suffisant, afin de satisfaire aux exigences.

Dans le choix du matériau constituant l'armure, il est nécessaire d'apporter une attention particulière aux risques de corrosion, non seulement du point de vue de la sécurité mécanique, mais aussi du point de vue de la sécurité électrique, surtout lorsque l'armure est utilisée comme écran.

L'armure des câbles unipolaires utilisés dans des réseaux à courant alternatif doit être constituée d'un matériau non magnétique, à moins qu'une constitution spéciale ne soit adoptée.

12.3 Disposition de l'armure

12.3.1 Câbles unipolaires

Dans le cas des câbles unipolaires, un revêtement interne extrudé ou rubané, dont l'épaisseur est spécifiée en 7.1.3 ou en 7.1.4, doit être disposé sous l'armure.

12.3.2 Câbles multipolaires

Dans le cas des câbles multipolaires, l'armure doit être disposée sur un revêtement interne conforme au 7.1 sauf pour les applications spéciales faisant appel à des rubans métalliques, voir 7.2.1.

12.3.3 Gaine de séparation

Lorsque l'écran métallique sous-jacent et l'armure sont constitués de matériaux différents, ils doivent être séparés par une gaine extrudée constituée de l'un des matériaux indiqués en 13.2.

Pour les câbles sans halogène, la gaine de séparation (ST_8) doit satisfaire aux exigences du Tableau 23.

Lorsqu'une armure est prévue sur un câble comportant une gaine de plomb, elle peut être disposée sur un matelas rubané comme indiqué en 12.3.4.

Si une gaine de séparation est utilisée, elle doit être appliquée sous l'armure, à la place ou en plus du revêtement interne.

L'épaisseur nominale de cette gaine de séparation T_S exprimée en millimètres doit être calculée à l'aide de la formule suivante:

$$T_S = 0{,}02\ D_u + 0{,}6$$

où D_u est le diamètre fictif sous cette gaine, en millimètres, calculé comme indiqué à l'Annexe A.

La valeur calculée à l'aide de la formule doit être arrondie à 0,1 mm près (voir Annexe B).

Pour les câbles ne comportant pas de gaine de plomb, l'épaisseur nominale ne doit pas être inférieure à 1,2 mm. Pour les câbles pour lesquels la gaine de séparation est appliquée directement sur la gaine de plomb, l'épaisseur nominale ne doit pas être inférieure à 1,0 mm.

12.3.4 Matelas rubané sous armure pour les câbles sous plomb

Le matelas rubané disposé sur la gaine de plomb enduite doit être constitué soit de rubans de papier imprégné et enduit de mélange, soit d'une combinaison de deux couches de papier imprégné de mélange, puis d'une ou de plusieurs couches de matériau fibreux imprégné de mélange.

L'imprégnation des matériaux constituant le matelas peut être à base de mélanges bitumineux ou d'autres matériaux protecteurs. Dans le cas de fils d'armure, ces mélanges ne doivent pas être appliqués directement sous les fils.

Des rubans synthétiques peuvent être utilisés à la place des rubans de papier imprégné.

L'épaisseur totale du matelas rubané entre la gaine de plomb et l'armure, après application de l'armure, doit avoir une valeur approximative de 1,5 mm.

12.4 Dimensions des fils et des rubans d'armure

Les dimensions nominales des fils et des rubans d'armure doivent être de préférence choisies parmi les valeurs suivantes:

Fils ronds:

0,8 – 1,25 – 1,6 – 2,0 – 2,5 – 3,15 mm de diamètre;

Fils méplats:

0,8 mm d'épaisseur;

Rubans en acier:

0,2 – 0,5 – 0,8 mm d'épaisseur;

Rubans en aluminium ou en alliage d'aluminium:

0,5 – 0,8 mm d'épaisseur.

12.5 Correspondance entre les diamètres des câbles et les dimensions des armures

Les diamètres nominaux des fils d'armure ronds et les épaisseurs nominales des rubans d'armure ne doivent pas être inférieurs aux valeurs indiquées respectivement dans les Tableaux 9 et 10.

Tableau 9 – Diamètre nominal des fils d'armure ronds

Diamètre fictif sous armure		**Diamètre nominal du fil d'armure** mm
Supérieur à mm	**Inférieur ou égal à** mm	
–	10	0,8
10	15	1,25
15	25	1,6
25	35	2,0
35	60	2,5
60	–	3,15

Tableau 10 – Epaisseur nominale des rubans d'armure

Diamètre fictif sous armure		**Epaisseur nominale du ruban**	
Supérieur à mm	**Inférieur ou égal à** mm	**Acier ou acier galvanisé** mm	**Aluminium ou alliage d'aluminium** mm
–	30	0,2	0,5
30	70	0,5	0,5
70	–	0,8	0,8
NOTE Ce tableau ne s'applique pas aux câbles comportant des rubans métalliques appliqués directement sur l'assemblage des conducteurs (voir 7.2.1).			

Pour les fils d'armure méplats et les diamètres fictifs sous armure supérieurs à 15 mm, l'épaisseur nominale des fils d'acier méplats doit être de 0,8 mm. Les câbles de diamètre fictif sous armure inférieur ou égal à 15 mm ne doivent pas recevoir de fils d'armure méplats.

12.6 Armure de fils ronds ou méplats

Les fils d'armure doivent être jointifs, c'est-à-dire avec un jeu minimal entre fils adjacents. Un ruban d'acier galvanisé d'épaisseur nominale d'au moins 0,3 mm peut être disposé en forme d'hélice ouverte sur une armure de fils d'acier méplats ou ronds, si cela est nécessaire. Les tolérances données en 16.7.3 doivent s'appliquer à ce ruban d'acier.

12.7 Armure constituée de deux rubans

Quand une armure de rubans et un revêtement interne conformes à 7.1 sont utilisés, le revêtement interne doit être renforcé par un matelas rubané. L'épaisseur totale du revêtement interne et du matelas rubané doit être celle donnée en 7.1, augmentée de 0,5 mm si l'épaisseur des rubans d'armure est de 0,2 mm, et de 0,8 mm si l'épaisseur des rubans d'armure est supérieure à 0,2 mm.

L'épaisseur totale du revêtement interne et du matelas rubané supplémentaire ne doit pas être inférieure à ces valeurs de plus de 0,2 mm avec une tolérance de + 20 %.

Si une gaine de séparation est prescrite ou si le revêtement interne est extrudé et satisfait aux exigences de 12.3.3, le matelas rubané supplémentaire n'est pas exigé.

Les rubans d'armure doivent être posés en hélice, en deux couches, de façon que le ruban externe soit approximativement centré sur l'intervalle entre spires du ruban interne. L'intervalle entre deux spires adjacentes de chaque ruban ne doit pas dépasser 50 % de la largeur du ruban.

13 Gaine extérieure

13.1 Généralités

Tous les câbles doivent comporter une gaine extérieure.

La gaine extérieure est normalement de couleur noire, mais une autre couleur peut être fournie selon accord entre le fabricant et l'acheteur, sous réserve qu'elle convienne pour les conditions particulières d'emploi du câble.

NOTE Un essai de stabilité aux UV est à l'étude.

13.2 Matériau

La gaine extérieure doit être constituée d'un mélange thermoplastique (PVC ou polyéthylène ou sans halogène) ou élastomérique (polychloroprène, polyéthylène chlorosulfoné ou matériaux analogues).

Le matériau de gainage sans halogène doit être utilisé sur les câbles qui démontrent des propriétés de propagation de la flamme réduite, de faibles niveaux d'émissions de fumée et des émissions de gaz sans halogène lorsqu'ils sont exposés au feu. La gaine (ST_8) des câbles sans halogène doit satisfaire aux exigences données au Tableau 23.

Le matériau de gainage doit convenir pour la température de service comme indiqué au Tableau 4.

Des additifs chimiques peuvent être nécessaires dans la gaine extérieure pour des applications spéciales, par exemple protection contre les termites, mais il convient que ces additifs ne contiennent pas de produits nocifs pour l'homme et/ou pour l'environnement.

NOTE Des exemples de [1] considérés comme indésirables sont:

Aldrin 1,2,3,4,10,10-hexachloro-1,4,4a,5,8,8a-hexahydro-1,4,5,8-diméthanonaphtalène

Dieldrin 1,2,3,4,10,10-hexachloro-6,7-époxy-1,4,4a,5,6,7,8,8a-octahydro-1,4,5,8-diméthanonaphtalène

Lindane Isomère Gamma du 1,2,3,4,5,6-hexachloro-cyclohexane.

13.3 Epaisseur

Sauf spécification contraire, l'épaisseur nominale t_S exprimée en millimètres doit être calculée à l'aide de la formule suivante:

$$t_S = 0{,}035\ D + 1{,}0$$

où D est le diamètre fictif immédiatement sous la gaine, en millimètres (voir Annexe A).

La valeur calculée à l'aide de la formule doit être arrondie à 0,1 mm près (voir Annexe B).

L'épaisseur nominale ne doit pas être inférieure à 1,4 mm pour les câbles unipolaires et à 1,8 mm pour les câbles multipolaires.

14 Conditions d'essais

14.1 Température ambiante

Sauf spécification contraire précisée pour chaque essai particulier, les essais doivent être effectués à une température ambiante de (20 ± 15) °C.

14.2 Fréquence et forme d'onde des tensions d'essai à fréquence industrielle

La fréquence des tensions alternatives d'essai ne doit être ni inférieure à 49 Hz ni supérieure à 61 Hz. La forme d'onde de ces tensions doit être pratiquement sinusoïdale. Les valeurs indiquées sont des valeurs efficaces.

14.3 Forme d'onde des tensions d'essai de choc

Conformément à la CEI 60230, la durée conventionnelle du front d'onde doit être comprise entre 1 µs et 5 µs et la durée jusqu'à la moitié de la valeur de crête comprise entre 40 µs et 60 µs. Les autres caractéristiques doivent être conformes à la CEI 60060-1.

15 Essais individuels

15.1 Généralités

Les essais individuels sont normalement effectués sur toutes les longueurs de câble fabriqué (voir 3.2.1). Toutefois, le nombre de longueurs essayées peut être réduit selon des procédures agréées de contrôle de la qualité.

Les essais individuels prescrits par cette norme sont les suivants:

a) mesure de la résistance électrique des âmes (voir 15.2);

b) essai de tension (voir 15.3).

---

[1] Source: *Dangerous properties of industrial materials*, N.I. Sax, fifth edition, Van Nostrand Reinhold, ISBN 0-442-27373-8.

15.2 Résistance électrique des âmes

Les mesures de résistance doivent être effectuées sur toutes les âmes de chaque longueur de câble soumise aux essais individuels, y compris l'âme concentrique éventuelle.

La longueur de câble complet, ou un échantillon prélevé sur elle, doit être placée dans le local d'essai, maintenu à une température sensiblement constante pendant au moins 12 h avant l'essai. En cas de doute sur la coïncidence entre la température de l'âme et celle du local, la résistance de l'âme doit être mesurée après un séjour de 24 h dans le local d'essai. En variante, la résistance peut être mesurée sur un échantillon d'âme conditionné pendant au moins 1 h dans un bain de liquide à température régulée.

La résistance mesurée doit être ramenée à une température de 20 °C et à 1 km de câble au moyen des formules et facteurs indiqués dans la CEI 60228.

La résistance de chaque âme en courant continu à 20 °C ne doit pas être supérieure à la valeur maximale correspondante spécifiée dans la CEI 60228. Pour les âmes concentriques, la résistance doit être conforme aux règlements nationaux et/ou aux normes nationales.

15.3 Essai de tension

15.3.1 Généralités

On effectue l'essai de tension à la température ambiante en appliquant soit une tension alternative à fréquence industrielle soit une tension continue, au choix du fabricant.

15.3.2 Méthode d'essai pour les câbles unipolaires

Pour les câbles unipolaires sous écran, la tension d'essai doit être appliquée pendant 5 min entre l'âme et l'écran métallique.

Les câbles unipolaires sans écran doivent être immergés dans de l'eau à la température ambiante pendant 1 h. La tension d'essai est ensuite appliquée pendant 5 min entre l'âme et l'eau.

NOTE Un essai diélectrique au défilement à sec est à l'étude pour les câbles unipolaires sans revêtement métallique.

15.3.3 Méthode d'essai pour les câbles multipolaires

Pour les câbles multipolaires avec écran individuel sur chaque conducteur, la tension d'essai doit être appliquée pendant 5 min entre chaque âme et le revêtement métallique.

Pour les câbles multipolaires sans écran individuel sur chaque conducteur, la tension d'essai doit être appliquée pendant 5 min successivement entre chaque conducteur isolé et tous les autres conducteurs et les revêtements métalliques collectifs éventuels.

Les âmes peuvent être reliées convenablement pour des applications successives de la tension de façon à limiter la durée de l'essai, pourvu que l'ordre des connexions soit tel que la tension soit appliquée au moins 5 min sans interruption entre chacune des âmes et toutes les autres et entre chaque âme et les revêtements métalliques éventuels.

En variante, les câbles tripolaires peuvent être essayés en une seule opération en utilisant un transformateur triphasé.

15.3.4 Tension d'essai

La tension d'essai à fréquence industrielle doit être de 2,5 U_0 + 2 kV. Les valeurs des tensions d'essai monophasées pour les tensions assignées normalisées sont indiquées au Tableau 11.

Tableau 11 – Tensions des essais individuels

Tension assignée U_0	kV	0,6	1,8
Tension d'essai	kV	3,5	6,5

Dans le cas des câbles tripolaires, si la tension d'essai est appliquée par un transformateur triphasé, la tension d'essai entre les phases du transformateur doit être de 1,73 fois les valeurs indiquées dans ce tableau.

Quand on applique une tension continue, la tension appliquée doit être égale à 2,4 fois la valeur de la tension à fréquence industrielle.

Dans tous les cas, la tension d'essai doit être élevée progressivement à la valeur spécifiée.

15.3.5 Exigence

Il ne doit pas se produire de claquage de l'enveloppe isolante.

16 Essais sur prélèvements

16.1 Généralités

Les essais sur prélèvements prescrits par cette norme sont les suivants:

a) examen de l'âme (voir 16.4);

b) vérifications dimensionnelles (voir 16.5 à 16.8);

c) essai d'allongement à chaud des enveloppes isolantes en EPR, HEPR et PR et des gaines en matériau élastomérique (voir 16.9).

16.2 Fréquence des essais sur prélèvements

16.2.1 Examen de l'âme et vérifications dimensionnelles

L'examen de l'âme, les mesures d'épaisseurs d'enveloppe isolante et de gaine et les mesures du diamètre extérieur doivent être effectués sur une longueur de chaque série de fabrication de câble du même type et de même section nominale, le nombre de longueurs étant toutefois limité à 10 % du nombre total des longueurs stipulées dans la commande.

16.2.2 Essais physiques

Les essais physiques doivent être effectués sur des échantillons de câbles prélevés sur les câbles fabriqués, selon des procédures agréées de contrôle de la qualité. En l'absence de procédures agréées, pour les commandes dont la longueur totale dépasse 2 km pour les câbles multipolaires ou 4 km pour les câbles unipolaires, les essais doivent être réalisés selon le Tableau 12.

Tableau 12 – Nombre d'échantillons pour essais sur prélèvements

Longueur de câble				Nombre d'échantillons
Câbles tripolaires		Câbles unipolaires		
Supérieure à km	Inférieure ou égale à km	Supérieure à km	Inférieure ou égale à km	
2	10	4	20	1
10	20	20	40	2
20	30	40	60	3
etc.		etc.		etc.

16.3 Répétition des essais

Si l'un quelconque des échantillons ne satisfait pas aux essais de l'Article 16, on doit prélever deux nouveaux échantillons sur le même lot de câbles et les soumettre à l'essai ou aux essais défectueux. Si les deux contre-essais sont satisfaisants, l'ensemble des câbles du lot est considéré comme conforme aux exigences de cette norme. Si l'un ou l'autre des contre-essais est défectueux, le lot de câbles est considéré comme non conforme.

16.4 Examen de l'âme

La conformité aux exigences de la CEI 60228 concernant la constitution de l'âme doit être vérifiée par examen et par mesure, lorsque cela est possible.

16.5 Mesure de l'épaisseur des enveloppes isolantes et des gaines non métalliques (y compris les gaines de séparation extrudées, mais à l'exclusion des revêtements internes extrudés)

16.5.1 Généralités

La méthode d'essai doit être conforme à l'Article 8 de la CEI 60811-1-1.

Chaque longueur de câble choisie pour l'essai est représentée par un morceau de câble prélevé à une extrémité après élimination éventuelle des parties endommagées.

Pour les câbles ayant plus de trois conducteurs comportant des âmes de même section nominale, le nombre de conducteurs sur lesquels les mesures sont effectuées doit être limité au chiffre le plus élevé entre trois et celui correspondant à 10 % des conducteurs.

16.5.2 Exigences pour les enveloppes isolantes

Pour chaque échantillon de conducteur, la moyenne des valeurs mesurées, arrondie à 0,1 mm près selon l'Annexe B, ne doit pas être inférieure à l'épaisseur nominale et la plus petite valeur mesurée ne doit pas être inférieure à 90 % de la valeur nominale par plus de 0,1 mm, c'est-à-dire:

$$t_m \geq 0{,}9t_n - 0{,}1$$

où

t_m est l'épaisseur minimale, en millimètres;

t_n est l'épaisseur nominale, en millimètres.

16.5.3 Exigences pour les gaines non métalliques

L'épaisseur minimale de la gaine non métallique ne doit pas tomber en dessous de 80 % de la valeur de l'épaisseur nominale de plus de 0,2 mm, c'est-à-dire:

$$t_m \geq 0{,}8t_n - 0{,}2$$

16.6 Mesure de l'épaisseur de la gaine de plomb

L'épaisseur minimale de la gaine de plomb doit être déterminée par l'une des deux méthodes suivantes, au choix du fabricant, et ne doit pas tomber en dessous de 95 % de la valeur de l'épaisseur nominale par plus de 0,1 mm, c'est-à-dire:

$$t_m \geq 0{,}95t_n - 0{,}1$$

16.6.1 Méthode «à plat»

La mesure doit être effectuée à l'aide d'un micromètre à faces planes, de touches de diamètre compris entre 4 mm et 8 mm et de précision ±0,01 mm.

La mesure doit être faite sur un échantillon de gaine de 50 mm de longueur environ, prélevé sur le câble complet. L'échantillon est fendu longitudinalement, puis soigneusement redressé. Après nettoyage de l'éprouvette, l'épaisseur de l'échantillon est mesurée en un certain nombre de points, le long de la périphérie de la gaine, à 10 mm au moins du bord de l'éprouvette redressée, afin d'être sûr que l'épaisseur minimale est mesurée.

16.6.2 Méthode de l'anneau

Les mesures doivent être faites à l'aide d'un micromètre ayant soit une touche plane et une touche sphérique, soit une touche plane et une touche rectangulaire de 0,8 mm de largeur et 2,4 mm de longueur. La touche sphérique ou la touche rectangulaire doit être appliquée sur la face intérieure de l'anneau. La précision du micromètre doit être de ±0,01 mm.

Les mesures doivent être prises sur un anneau de gaine soigneusement prélevé sur l'échantillon. L'épaisseur doit être mesurée en un nombre de points suffisant, sur la périphérie de l'anneau, afin d'être sûr d'obtenir l'épaisseur minimale.

16.7 Mesure sur les fils et rubans d'armure

16.7.1 Mesure sur les fils

Le diamètre des fils ronds et l'épaisseur des fils méplats doivent être mesurés à l'aide d'un micromètre ayant deux touches planes et une précision de ±0,01 mm. Pour les fils ronds, deux mesures doivent être effectuées à angle droit sur le même diamètre et la moyenne des deux valeurs est prise comme diamètre du fil.

16.7.2 Mesure sur les rubans

Les mesures doivent être faites avec un micromètre ayant deux touches planes d'un diamètre approximatif de 5 mm, et une précision de ±0,01 mm. Pour les rubans de largeur inférieure ou égale à 40 mm, l'épaisseur doit être mesurée au milieu de la largeur. Pour les rubans plus larges, les mesures doivent être faites à 20 mm de chaque bord du ruban et la moyenne des deux valeurs est prise comme épaisseur du ruban.

16.7.3 Exigences

Les dimensions des fils et des rubans d'armure ne doivent pas être inférieures aux valeurs nominales indiquées en 12.5 de plus de:

– 5 % pour les fils ronds;
– 8 % pour les fils méplats;
– 10 % pour les rubans.

16.8 Mesure du diamètre extérieur

Si la mesure du diamètre extérieur du câble est prescrite à titre d'essai sur prélèvements, elle doit être effectuée conformément à l'Article 8 de la CEI 60811-1-1.

16.9 Essai d'allongement à chaud des enveloppes isolantes en EPR, HEPR et PR et des gaines en matériau élastomérique

16.9.1 Mode opératoire

L'échantillonnage et la méthode d'essai doivent être conformes à l'Article 9 de la CEI 60811-2-1, dans les conditions indiquées dans les Tableaux 17 et 22.

16.9.2 Exigences

Les résultats des essais doivent être conformes aux exigences indiquées au Tableau 17 pour les enveloppes isolantes en EPR, HEPR et PR, et au Tableau 22 pour les gaines du type SE_1.

17 Essais de type, électriques

Un échantillon de câble complet, de 10 m à 15 m de longueur, doit être soumis aux essais suivants, effectués dans l'ordre:

a) mesure de la résistance d'isolement à la température ambiante (voir 17.1);
b) mesure de la résistance d'isolement à la température maximale de l'âme en service normal (voir 17.2);
c) essai de tension pendant 4 h (voir 17.3).

Les câbles de tension assignée 1,8/3 (3,6) kV doivent en outre être soumis à un essai aux ondes de choc sur un échantillon de câble complet distinct, de 10 m à 15 m de longueur (voir 17.4).

Les essais doivent être limités à trois conducteurs au plus.

17.1 Mesure de la résistance d'isolement à la température ambiante

17.1.1 Mode opératoire

Cet essai doit être effectué sur la même longueur de l'échantillon avant tout autre essai électrique.

Tous les revêtements extérieurs doivent être ôtés; les conducteurs sont ensuite immergés dans de l'eau à la température ambiante, pendant au moins 1 h avant l'essai.

La tension continue d'essai doit être comprise entre 80 V et 500 V et être appliquée pendant une durée suffisante, égale à 1 min au moins et à 5 min au plus, afin d'obtenir une lecture stable.

La mesure doit être faite entre chaque âme et l'eau.

Si nécessaire, la mesure peut être confirmée à (20 ± 1) °C.

17.1.2 Calculs

La résistivité transversale doit être calculée, en partant de la valeur mesurée de la résistance d'isolement, par la formule suivante:

$$\rho = \frac{2 \times \pi \times l \times R}{\ln \frac{D}{d}}$$

où

ρ est la résistivité transversale, en ohms · centimètres;

R est la résistance d'isolement mesurée, en ohms;

l est la longueur du câble, en centimètres;

D est le diamètre extérieur de l'enveloppe isolante, en millimètres;

d est le diamètre intérieur de l'enveloppe isolante, en millimètres.

On peut aussi calculer la «constante d'isolement K_i», exprimée en mégohms · kilomètres, au moyen de la formule suivante:

$$K_i = \frac{l \times R \times 10^{-11}}{\log \frac{D}{d}} = 10^{-11} \times 0{,}367 \times \rho$$

NOTE Pour les conducteurs à âmes sectorales, le rapport D/d est le rapport du périmètre de l'enveloppe isolante à celui de l'âme.

17.1.3 Exigences

Les valeurs calculées à partir des mesures effectuées ne doivent pas être inférieures à celles indiquées au Tableau 13.

17.2 Mesure de la résistance d'isolement à la température maximale de l'âme

17.2.1 Mode opératoire

Les conducteurs de l'échantillon de câble doivent être immergés dans de l'eau à la température maximale de l'âme en service normal, à ±2 °C près, pendant au moins 1 h avant l'essai.

La tension continue d'essai doit être comprise entre 80 V et 500 V et être appliquée pendant une durée suffisante, égale à 1 min au moins et à 5 min au plus, afin d'obtenir une lecture stable.

La mesure doit être faite entre chaque âme et l'eau.

17.2.2 Calculs

La résistivité transversale et/ou la constante d'isolement doivent être calculées à partir de la résistance d'isolement par les formules données en 17.1.2.

17.2.3 Exigences

Les valeurs calculées à partir des mesures effectuées ne doivent pas être inférieures à celles indiquées au Tableau 13.

17.3 Essai de tension pendant 4 h

17.3.1 Mode opératoire

Les conducteurs de l'échantillon de câble doivent être immergés dans de l'eau à la température ambiante pendant au moins 1 h avant l'essai.

Une tension d'essai à fréquence industrielle égale à 4 U_0 est appliquée progressivement entre chaque âme et l'eau, et maintenue pendant 4 h.

17.3.2 Exigences

Il ne doit pas se produire de claquage de l'enveloppe isolante.

17.4 Essai aux ondes de choc pour les câbles de tension assignée 1,8/3 (3,6) kV

17.4.1 Mode opératoire

Cet essai doit être réalisé sur un échantillon à une température d'âme supérieure de 5 °C à 10 °C au-dessus de la température maximale de l'âme en service normal.

La tension de choc doit être appliquée conformément au mode opératoire indiqué dans la CEI 60230 et avoir une valeur de crête de 40 kV.

Pour les câbles multipolaires dont les conducteurs ne comportent pas d'écran individuel, chaque série de chocs doit être appliquée successivement entre chaque conducteur de phase et tous les autres conducteurs reliés entre eux et à la terre.

17.4.2 Exigences

Chaque conducteur du câble doit résister, sans défaillance, à 10 chocs positifs et 10 chocs négatifs.

18 Essais de type, non électriques

Les essais de type non électriques prescrits par cette norme sont indiqués au Tableau 14.

18.1 Mesure de l'épaisseur de l'enveloppe isolante

18.1.1 Echantillonnage

On doit prélèver un échantillon sur chaque conducteur de câble isolé.

Pour les câbles ayant plus de trois conducteurs comportant des âmes de même section nominale, le nombre de conducteurs sur lesquels les mesures sont effectuées doit être limité au chiffre le plus élevé entre trois et celui correspondant à 10 % des conducteurs.

18.1.2 Mode opératoire

Le mode opératoire doit être celui de 8.1 de la CEI 60811-1-1.

18.1.3 Exigences

Voir 16.5.2.

18.2 Mesure de l'épaisseur des gaines non métalliques (y compris les gaines de séparation extrudées, mais à l'exclusion des revêtements internes)

18.2.1 Echantillonnage

On doit prélèver un seul échantillon de câble.

18.2.2 Mode opératoire

Le mode opératoire doit être celui de 8.2 de la CEI 60811-1-1.

18.2.3 Exigences

Voir 16.5.3.

18.3 Essai de détermination des propriétés mécaniques des enveloppes isolantes avant et après vieillissement

18.3.1 Echantillonnage

L'échantillonnage et la préparation des éprouvettes doivent être effectués conformément à 9.1 de la CEI 60811-1-1.

18.3.2 Vieillissement

Le vieillissement doit être effectué conformément à 8.1 de la CEI 60811-1-2, dans les conditions spécifiées au Tableau 15.

Les essais de traction et de pliage après vieillissement avec le conducteur cuivre en place du Tableau 15 ne s'appliquent qu'aux câbles 0,6/1(1,2) kV. L'essai de pliage n'est effectué que sur les câbles pour lesquels l'enveloppe isolante ne peut pas être soumise à l'essai de traction .

NOTE Les essais de traction et de pliage, effectués après vieillissement en présence du conducteur cuivre, sont recommandés. L'expérience actuelle n'est cependant pas encore suffisante pour les rendre obligatoires, sauf accord particulier entre le fabricant et l'acheteur.

18.3.3 Conditionnement et essais mécaniques

Le conditionnement et la mesure des propriétés mécaniques doivent être effectués conformément à 9.1 de la CEI 60811-1-1.

18.3.4 Exigences

Les résultats des essais sur les éprouvettes vieillies et non vieillies doivent satisfaire aux exigences du Tableau 15.

18.4 Détermination des propriétés mécaniques des gaines non métalliques avant et après vieillissement

18.4.1 Echantillonnage

L'échantillonnage et sa préparation doivent être effectués conformément à 9.2 de la CEI 60811-1-1.

18.4.2 Vieillissement

Le vieillissement des éprouvettes doit être effectué conformément à 8.1 de la CEI 60811-1-2, dans les conditions spécifiées au Tableau 18.

18.4.3 Conditionnement et essais mécaniques

Le conditionnement et la mesure des propriétés mécaniques doivent être effectués conformément à 9.2 de la CEI 60811-1-1.

18.4.4 Exigences

Les résultats des essais sur les éprouvettes vieillies et non vieillies doivent satisfaire aux exigences du Tableau 18.

18.5 Essai additionnel de vieillissement sur tronçons de câbles complets

18.5.1 Généralités

Le but de cet essai est de vérifier que l'enveloppe isolante et les gaines non métalliques ne sont pas susceptibles de se détériorer en service du fait du contact avec les autres constituants du câble.

Cet essai est applicable à tous les modèles de câbles.

18.5.2 Echantillonnage

Les échantillons doivent être prélevés sur le câble complet comme indiqué en 8.1.4 de la CEI 60811-1-2.

18.5.3 Vieillissement

Le vieillissement des échantillons de câble doit être effectué dans une étuve à air, conformément à 8.1.4 de la CEI 60811-1-2, et en adoptant les conditions suivantes:

– température: (10 ± 2) °C au-dessus de la température maximale de l'âme du câble en service normal (voir Tableau 15);

– durée: 7 × 24 h.

18.5.4 Essais mécaniques

Les éprouvettes d'enveloppe isolante et de gaine extérieure provenant des échantillons de câbles vieillis doivent être préparées et soumises aux essais mécaniques comme indiqué en 8.1.4 de la CEI 60811-1-2.

18.5.5 Exigences

Les variations entre les valeurs médianes de résistance à la traction et d'allongement à la rupture après vieillissement et les valeurs correspondantes obtenues sans vieillissement (voir 18.3 et 18.4) ne doivent pas excéder les valeurs imposées après vieillissement en étuve à air, spécifiées au Tableau 15 pour les enveloppes isolantes, et au Tableau 18 pour les gaines non métalliques.

18.6 Essai de perte de masse des gaines en PVC du type ST_2

18.6.1 Mode opératoire

L'échantillonnage et le mode opératoire doivent être conformes à 8.2 de la CEI 60811-3-2.

18.6.2 Exigences

Les résultats de l'essai doivent satisfaire aux exigences indiquées dans le Tableau 19.

18.7 Essai de pression à température élevée des enveloppes isolantes et des gaines non métalliques

18.7.1 Mode opératoire

L'essai de pression à température élevée doit être effectué conformément à l'Article 8 de la CEI 60811-3-1, dans les conditions indiquées dans la méthode d'essai et aux Tableaux 16 et 20.

18.7.2 Exigences

Les résultats de l'essai doivent satisfaire aux exigences indiquées à l'Article 8 de la CEI 60811-3-1.

18.8 Essai à basse température de l'enveloppe isolante en PVC et des gaines en PVC

18.8.1 Mode opératoire

L'échantillonnage et le mode opératoire doivent être conformes à l'Article 8 de la CEI 60811-1-4, avec les températures d'essai spécifiées aux Tableaux 16, 19 et 21.

18.8.2 Exigences

Les résultats de l'essai doivent satisfaire aux exigences de l'Article 8 de la CEI 60811-1-4.

18.9 Essai de résistance à la fissuration de l'enveloppe isolante en PVC et des gaines en PVC (essai de choc thermique)

18.9.1 Mode opératoire

L'échantillonnage et le mode opératoire doivent être conformes à l'Article 9 de la CEI 60811-3-1, la température d'essai et la durée étant indiquées aux Tableaux 16 et 19.

18.9.2 Exigences

Les résultats des essais doivent satisfaire aux exigences de l'Article 9 de la CEI 60811-3-1.

18.10 Essai de résistance à l'ozone des enveloppes isolantes en EPR et en HEPR

18.10.1 Mode opératoire

L'échantillonnage et le mode opératoire doivent être conformes à l'Article 8 de la CEI 60811-2-1. La concentration en ozone et la durée d'essai sont indiquées au Tableau 17.

18.10.2 Exigences

Les résultats de l'essai doivent satisfaire aux exigences de l'Article 8 de la CEI 60811-2-1.

18.11 Essai d'allongement à chaud des enveloppes isolantes en EPR, HEPR et PR et des gaines en matériau élastomérique

L'échantillonnage et le mode opératoire doivent être effectués et être conformes aux exigences de 16.9.

18.12 Essai de résistance à l'huile minérale des gaines en matériau élastomérique

18.12.1 Mode opératoire

L'échantillonnage et le mode opératoire doivent être conformes à l'Article 10 de la CEI 60811-2-1 en prenant les conditions d'essai indiquées au Tableau 22.

18.12.2 Exigences

Les résultats de l'essai doivent satisfaire aux exigences indiquées au Tableau 22.

18.13 Essai d'absorption d'eau des enveloppes isolantes

18.13.1 Mode opératoire

L'échantillonnage et le mode opératoire doivent être effectués conformément à 9.1 ou à 9.2 de la CEI 60811-1-3, en prenant les conditions d'essai indiquées, respectivement, aux Tableaux 16 ou 17.

18.13.2 Exigences

Les résultats de l'essai doivent satisfaire aux exigences spécifiées en 9.1 de la CEI 60811-1-3 ou au Tableau 17, respectivement.

18.14 Essais au feu

18.14.1 Essai de résistance à la propagation de la flamme sur câble seul

Cet essai doit être effectué sur les câbles ayant une gaine externe en matériau du type ST_1, ST_2 ou SE_1 et seulement lorsqu'il est spécialement prescrit.

La méthode d'essai et les exigences doivent être conformes à la CEI 60332-1.

18.14.2 Essai de résistance à la propagation de la flamme sur câbles en nappes

Cet essai doit être effectué sur les câbles comportant une gaine extérieure sans halogène ST_8.

La méthode d'essai et les exigences sont celles spécifiées dans la CEI 60332-3-24.

18.14.3 Essai d'émission de fumée

Cet essai doit être effectué sur les câbles comportant une gaine extérieure sans halogène ST_8.

La méthode d'essai et les exigences sont celles spécifiées dans la CEI 61034-2.

18.14.4 Essai d'émission de gaz acide

Cet essai doit être effectué sur les composants non métalliques des câbles comportant une gaine extérieure sans halogène ST_8.

18.14.4.1 Mode opératoire

La méthode d'essai doit être celle spécifiée dans la CEI 60754-1.

18.14.4.2 Exigences

Les résultats de l'essai doivent satisfaire aux exigences données au Tableau 23.

18.14.5 Essai de mesure du pH et de la conductivité

L'essai doit être effectué sur les composants non métalliques des câbles ayant une gaine externe sans halogène ST_8.

18.14.5.1 Mode opératoire

La méthode d'essai doit être celle spécifiée dans la CEI 60754-2.

18.14.5.2 Exigences

Les résultats de l'essai doivent satisfaire aux exigences du Tableau 23.

18.14.6 Essai de détermination du taux de fluor

L'essai doit être effectué sur les composants non métalliques des câbles ayant une gaine externe sans halogène ST_8.

18.14.6.1 Mode opératoire

La méthode d'essai doit être celle spécifiée dans la CEI 60684-2.

18.14.6.2 Exigences

Les résultats de l'essai doivent satisfaire aux exigences du Tableau 23.

18.14.7 Essai de toxicité

A l'étude.

NOTE Une méthode d'essai est en cours de développement au sein de la CEI.

18.15 Mesure du taux de noir de carbone des gaines en PE de couleur noire

18.15.1 Mode opératoire

L'échantillonnage et le mode opératoire doivent être conformes à l'Article 11 de la CEI 60811-4-1.

18.15.2 Exigences

Les résultats de l'essai doivent satisfaire aux exigences indiquées dans le Tableau 20.

18.16 Essai de rétraction des enveloppes isolantes en PR

18.16.1 Mode opératoire

L'échantillonnage et le mode opératoire doivent être conformes à l'Article 10 de la CEI 60811-1-3 dans les conditions spécifiées au Tableau 17.

18.16.2 Exigences

Les résultats de l'essai doivent satisfaire aux exigences du Tableau 17.

18.17 Essai spécial de pliage

Cet essai doit être réalisé sur les câbles multipolaires de tension assignée 0,6/1(1,2) kV comportant un revêtement métallique collectif sous forme de rubans métalliques appliqués directement sur l'assemblage des conducteurs et ne comportant pas de revêtement interne.

18.17.1 Mode opératoire

L'échantillon doit être enroulé autour d'un cylindre d'essai (par exemple le tambour d'un touret), à la température ambiante, sur un tour complet au moins. Le diamètre du cylindre doit être égal à $7\,D \pm 5$ % où D est le diamètre extérieur réel de l'échantillon de câble. On déroule ensuite l'échantillon et on répète l'opération, sauf que la courbure de l'échantillon doit être de sens contraire.

Ce cycle d'opérations doit être effectué trois fois. Puis l'échantillon, toujours enroulé autour du cylindre, est placé dans une étuve à air chaud à la température maximale de l'âme en service normal pendant 24 h.

Lorsque le câble a été refroidi, un essai de tension est effectué conformément à 15.3, le câble étant toujours enroulé.

18.17.2 Exigences

Aucun claquage ne doit se produire et la gaine extérieure ne doit pas présenter de craquelures.

18.18 Détermination de la dureté de l'enveloppe isolante en HEPR

18.18.1 Mode opératoire

L'échantillonnage et le mode opératoire doivent être conformes à l'Annexe C.

18.18.2 Exigences

Les résultats de l'essai doivent satisfaire aux exigences du Tableau 17.

18.19 Détermination du module d'élasticité de l'enveloppe isolante en HEPR

18.19.1 Mode opératoire

L'échantillonnage, la préparation des éprouvettes et le mode opératoire doivent être conformes à l'Article 9 de la CEI 60811-1-1.

Les charges nécessaires à un allongement de 150 % doivent être mesurées. Les contraintes correspondantes doivent être calculées en divisant les charges mesurées par la section des éprouvettes non étirées. Les rapports entre les contraintes et les déformations doivent être déterminés pour obtenir les modules d'élasticité correspondant à l'allongement de 150 %.

La valeur médiane constitue le module d'élasticité correspondant.

18.19.2 Exigences

Les résultats de l'essai doivent satisfaire aux exigences du Tableau 17.

18.20 Essai de rétraction des gaines extérieures en PE

18.20.1 Mode opératoire

L'échantillonnage et le mode opératoire doivent être conformes à l'Article 11 de la CEI 60811-1-3 dans les conditions spécifiées au Tableau 20.

18.20.2 Exigences

Les résultats des essais doivent satisfaire aux exigences du Tableau 20.

NOTE Pour les gaines externes, sans halogène, la méthode d'essai est à l'étude.

18.21 Essais mécaniques additionnels pour les gaines externes sans halogène

Ces essais sont destinés à vérifier que les gaines externes sans halogène ne risquent pas d'être endommagées pendant l'installation et en cours d'utilisation.

NOTE Des essais d'abrasion, de résistance au déchirement et de chocs à chaud sont à l'étude.

18.22 Essai d'absorption d'eau pour les gaines externes sans halogène

18.22.1 Mode opératoire

L'échantillonnage et le mode opératoire doivent être conformes à 9.2 de la CEI 60811-1-3, dans les conditions spécifiées au Tableau 21.

18.22.2 Exigences

Les résultats de l'essai doivent satisfaire aux exigences du Tableau 21.

19 Essais électriques après pose

S'ils sont prescrits, les essais après pose sont effectués lorsque l'installation du câble et de ses accessoires est terminée.

Une tension continue égale à 4 U_0 doit être appliquée pendant 15 min.

NOTE Les essais électriques sur des installations réparées sont soumis aux règles d'installation. L'essai ci-dessus concerne uniquement les installations neuves.

Tableau 13 – Exigences pour les essais de type électriques, pour les mélanges isolants

Désignation des mélanges (voir 4.2)	**Unité**	**PVC/A**	**EPR/ HEPR**	**PR**
Température maximale de l'âme en service normal (voir 4.2)	**°C**	**70**	**90**	**90**
Résistivité transversale ρ				
– à 20 °C (voir 17.1)	Ω·cm	10^{13}	–	–
– à la température maximale de l'âme en service normal (voir 17.2)	Ω·cm	10^{10}	10^{12}	10^{12}
Constante d'isolement K_i				
– à 20 °C (voir 17.1)	MΩ·km	36,7	–	–
– à la température maximale de l'âme en service normal (voir 17.2)	MΩ·km	0,037	3,67	3,67

Tableau 14 – Essais de type non électriques
(voir les Tableaux 15 à 23)

	Enveloppes isolantes				Gaines					
Désignation des mélanges (voir 4.2 et 4.3)	**PVC/A**	**EPR**	**HEPR**	**PR**	**PVC**		**PE**			
					ST_1	**ST_2**	**ST_3**	**ST_7**	**ST_8**	**SE_1**
Dimensions										
Mesures des épaisseurs	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Propriétés mécaniques (résistance à la traction et allongement à la rupture)										
Sans vieillissement	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Après vieillissement en étuve à air	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Après vieillissement des tronçons de câbles complets	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Après immersion dans l'huile chaude	–	–	–	–	–	–	–	–	–	x
Propriétés thermoplastiques										
Essai de pression à température élevée (pénétration)	x	–	–	–	x	x	–	x	x	–
Tenue à basse température	x	–	–	–	x	x	–	–	x	–
Divers										
Essai de perte de masse en étuve à air	–	–	–	–	–	x	–	–	–	–
Essai de chocs thermiques (fissuration)	x	–	–	–	x	x	–	–	–	–
Essai de résistance à l'ozone	–	x	x	–	–	–	–	–	–	–
Essai d'allongement à chaud	–	x	x	x	–	–	–	–	–	x
Essai d'absorption d'eau	x	x	x	x	–	–	–	–	x	–
Essai de rétraction	–	–	–	x	–	–	x	x	[c]	–
Mesure du taux de noir de carbone [a]	–	–	–	–	–	–	x	x	–	–
Détermination de la dureté	–	–	x	–	–	–	–	–	–	–
Détermination du module d'élasticité	–	–	x	–	–	–	–	–	–	–
Essais au feu										
Essai de non-propagation de la flamme (s'il est prescrit)	–	–	–	–	x	x	–	–	–	x
Essai de non-propagation de la flamme sur nappe de câbles	–	–	–	–	–	–	–	–	x	–
Essai d'émission de fumée sur câbles	–	–	–	–	–	–	–	–	x	–
Essai d'émission de gaz acide	–	[b]	[b]	[b]	–	–	–	–	x	–
pH et conductivité	–	[b]	[b]	[b]	–	–	–	–	x	–
Essai de taux de fluor	–	[b]	[b]	[b]	–	–	–	–	x	–

NOTE x signifie que l'essai de type est à effectuer.

[a] Uniquement pour les gaines externes noires.

[b] Signifie que l'essai est uniquement prescrit pour les mélanges EPR, HEPR et PR lorsque le câble est revendiqué comme étant sans halogène.

[c] A l'étude.

Tableau 15 – Exigences d'essai pour les propriétés mécaniques des mélanges pour enveloppes isolantes (avant et après vieillissement)

Désignation des mélanges (voir 4.2)	**Unité**	**PVC/A**	**EPR**		**HEPR**		**PR**	
			Câbles 0,6/1(1,2) kV à âmes cuivre	**Tous les autres câbles**	**Câbles 0,6/1(1,2) kV à âmes cuivre**	**Tous les autres câbles**	**Câbles 0,6/1(1,2) kV à âmes cuivre**	**Tous les autres câbles**
Température maximale de l'âme en service normal (voir 4.2)	**°C**	**70**	**90**	**90**	**90**	**90**	**90**	**90**
Sans vieillissement (CEI 60811-1-1, Paragraphe 9.1)								
Résistance à la traction, minimale	N/mm^2	12,5	4,2	4,2	8,5	8,5	12,5	12,5
Allongement à la rupture, minimal	%	150	200	200	200	200	200	200
Après vieillissement en étuve à air (CEI 60811-1-2, Paragraphe 8.1)								
Après vieillissement sans âme								
Traitement:								
– température	°C	100	135	135	135	135	135	135
– tolérance	°C	±2	±3	±3	±3	±3	±3	±3
– durée	h	168	168	168	168	168	168	168
Résistance à la traction:								
a) valeur minimale après vieillissement	N/mm^2	12,5	–	–	–	–	–	–
b) variation [a], maximale	%	±25	±30	±30	±30	±30	±25	±25
Allongement à la rupture:								
a) valeur minimale après vieillissement	%	150	–	–	–	–	–	–
b) variation [a], maximale	%	±25	±30	±30	±30	±30	±25	±25
Après vieillissement avec âme de cuivre, suivi de l'essai de traction [b]				–				
Traitement:								
– température	°C	–	150	–	150	–	150	–
– tolérance	°C	–	±3	–	±3	–	±3	–
– durée	h	–	168	–	168	–	168	–
Résistance à la traction:								
Variation [a], maximale	%	–	±30	–	±30	–	±30	–
Allongement à la rupture:								
Variation [a], maximale	%	–	±30	–	±30	–	±30	–
Après vieillissement avec âme de cuivre, suivi par l'essai de pliage (uniquement si l'essai de traction n'est pas réalisable) [b]								
Traitement:								
– température	°C	–	150	–	150	–	150	–
– tolérance	°C	–	±3	–	±3	–	±3	–
– durée	h	–	240	–	240	–	240	–
Résultats à obtenir		–	Pas de fissure	–	Pas de fissure	–	Pas de fissure	–

[a] Variation: différence entre la valeur médiane obtenue après vieillissement et la valeur médiane obtenue sans vieillissement, exprimée en pourcentage de cette dernière.

[b] Voir 18.3.2.

Tableau 16 – Exigences d'essai pour les propriétés particulières des mélanges à base de PVC pour enveloppes isolantes

Désignation des mélanges (voir 4.2 et 4.3)	**Unité**	**PVC/A**
Emploi du mélange PVC		**Enveloppe isolante**
Essai de pression à température élevée (CEI 60811-3-1, Article 8)		
– température (tolérance ±2 °C)	°C	80
Comportement à basse température [a] (CEI 60811-1-4, Article 8)		
Essai effectué sans vieillissement préalable:		
– pliage à froid pour les diamètres de câble <12,5 mm – température (tolérance ±2 °C)	°C	–15
Elongation à froid sur éprouvettes haltères		
– température (tolérance ±2 °C)	°C	–15
Chocs mécaniques à froid:		
– température (tolérance ±2 °C)	°C	–
Essai de choc thermique (CEI 60811-3-1, Article 9)		
Traitement:		
– température (tolérance ±3 °C)	°C	150
– durée	h	1
Absorption d'eau (CEI 60811-1-3, Paragraphe 9.1)		
Méthode électrique:		
– température (tolérance ±2 °C)	°C	70
– durée	h	240

[a] Selon les conditions climatiques, les normes nationales peuvent prescrire une température plus basse.

Tableau 17 – Exigences d'essai pour les propriétés particulières des divers mélanges réticulés pour enveloppes isolantes

Désignation des mélanges (voir 4.2)	**Unité**	**EPR**	**HEPR**	**PR**
Essai de résistance à l'ozone (CEI 60811-2-1, Article 8)				
Concentration en ozone (en volume)	%	0,025 à 0,030	0,025 à 0,030	–
Durée d'essai sans craquelures	h	24	24	–
Essai d'allongement à chaud (CEI 60811-2-1, Article 9)				
Traitement:				
– température de l'air (tolérance ±3 °C)	°C	250	250	200
– temps sous charge	min	15	15	15
– contrainte mécanique	N/cm^2	20	20	20
Allongement maximal sous charge	%	175	175	175
Allongement permanent maximal après refroidissement	%	15	15	15
Absorption d'eau (CEI 60811-1-3, Paragraphe 9.2)				
Méthode pondérale:				
Traitement:				
– température (tolérance ±2 °C)	°C	85	85	85
– durée	h	336	336	336
Augmentation maximale de masse	mg/cm^2	5	5	1 [a]
Essai de rétraction (CEI 60811-1-3, Article 10)				
Distance *L* entre repères	mm	–	–	200
Traitement:				
– température (tolérance ±3 °C)	°C	–	–	130
– durée	h	–	–	1
Rétraction maximale	%	–	–	4
Détermination de la dureté (voir Annexe C)				
DIDC [b], minimum		–	80	–
Détermination du module d'élasticité (voir 18.19)				
Module à 150 % d'allongement, minimal	N/mm^2	–	4,5	–

[a] Une augmentation supérieure à 1 mg/cm^2 est à l'étude pour les masses volumiques de PR supérieures à 1 g/cm^3.

[b] DIDC: degrés internationaux de dureté du caoutchouc.

Tableau 18 – Exigences d'essai pour les propriétés mécaniques des mélanges pour gaines (avant et après vieillissement)

Désignation des mélanges (voir 4.3)	**Unité**	**ST_1**	**ST_2**	**ST_3**	**ST_7**	**ST_8**	**SE_1**
Température maximale de l'âme en service normal (voir 4.3)	**°C**	80	90	80	90	90	85
Sans vieillissement (CEI 60811-1-1, Paragraphe 9.2)							
Résistance à la traction, minimale	N/mm^2	12,5	12,5	10,0	12,5	9,0	10,0
Allongement à la rupture, minimal	%	150	150	300	300	125	300
Après vieillissement en étuve à air (CEI 60811-1-2, Paragraphe 8.1)							
Traitement:							
– température (tolérance ±2 °C)	°C	100	100	100	110	100	100
– durée	h	168	168	240	240	168	168
Résistance à la traction:							
a) valeur minimale après vieillissement	N/mm^2	12,5	12,5	–	–	9,0	–
b) variation [a], maximale	%	±25	±25	–	–	±40	±30
Allongement à la rupture:							
a) valeur minimale après vieillissement	%	150	150	300	300	100	250
b) variation [a], maximale	%	±25	±25	–	–	±40	±40

[a] Variation: différence entre la valeur médiane obtenue après vieillissement et la valeur médiane obtenue sans vieillissement, exprimée en pourcentage de cette dernière.

Tableau 19 – Exigences d'essai pour les propriétés particulières des mélanges à base de PVC pour gaines

Désignation des mélanges (voir 4.2 et 4.3)	**Unité**	**ST_1**	**ST_2**
Emploi du mélange PVC		**Gaine**	
Perte de masse en étuve à air (CEI 60811-3-2, Paragraphe 8.2)			
Traitement:			
– température (tolérance ±2 °C)	°C	–	100
– durée	h	–	168
Perte de masse maximale	mg/cm^2	–	1,5
Essai de pression à température élevée (CEI 60811-3-1, Article 8)			
– température (tolérance ±2 °C)	°C	80	90
Comportement à basse température [a] (CEI 60811-1-4, Article 8)			
Essai effectué sans vieillissement préalable:			
– pliage à froid pour les diamètres de câble <12,5 mm – température (tolérance ±2 °C)	°C	–15	–15
Elongation à froid sur éprouvettes haltères:			
– température (tolérance ±2 °C)	°C	–15	–15
Chocs mécaniques à froid:			
– température (tolérance ±2 °C)	°C	–15	–15
Essai de choc thermique (CEI 60811-3-1, Article 9)			
Traitement:			
température (tolérance ±3 °C)	°C	150	150
– durée	h	1	1

[a] Selon les conditions climatiques, les normes nationales peuvent prescrire une température plus basse.

Tableau 20 – Exigences d'essai pour les propriétés particulières des mélanges thermoplastiques à base de PE pour gaines

Désignation des mélanges (voir 4.3)	**Unité**	**ST_3**	**ST_7**
Masse volumique [a] (CEI 60811-1-3, Article 8)			
Taux de noir de carbone (uniquement pour les gaines extérieures de couleur noire) (CEI 60811-4-1, Article 11)			
Valeur nominale	%	2,5	2,5
Tolérance	%	±0,5	±0,5
Essai de rétraction (CEI 60811-1-3, Article 11)			
Traitement:			
– température (tolérance ±2 °C)	°C	80	80
– durée du chauffage	h	5	5
– nombre de cycles thermiques		5	5
Rétraction maximale	%	3	3
Essai de pression à température élevée (CEI 60811-3-1, Paragraphe 8.2)			
– température (tolérance ±2 °C)	°C	–	110

[a] La mesure de la masse volumique n'est prescrite que pour d'autres essais.

Tableau 21 – Exigences d'essai pour les caractéristiques particulières des mélanges de gaine sans halogène

Désignation du mélange	**Unité**	**ST_8**
Comportement à basse température [a] (CEI 60811-1-4, Article 8)		
Essai effectué sans vieillissement préalable:		
– pliage à froid pour les diamètres de câble <12,5 mm – température (tolérance ±2 °C)	°C	-15
Elongation à froid sur éprouvettes haltères		
– température (tolérance ±2 °C)	°C	-15
Chocs mécaniques à froid:		
– température (tolérance ±2 °C)	°C	-15
Essai de pression à température élevée (CEI 60811-3-1, Article 8)		
Température (tolérance ±2 °C)	°C	80
Absorption d'eau (CEI 60811-1-3, Paragraphe 9.2)		
Méthode pondérale:		
Traitement:		
– température (tolérance ±2 °C)	°C	70
– durée	h	24
Augmentation maximale de masse	mg/cm^2	10

[a] Selon les conditions climatiques, les normes nationales peuvent prescrire une température plus basse.

Tableau 22 – Exigences d'essai pour les propriétés particulières de mélanges élastomères pour gaines

Désignation du mélange (voir 4.3)	**Unité**	**SE_1**
Essai d'immersion dans l'huile minérale suivi d'une détermination des propriétés mécaniques (CEI 60811-2-1, Article 10 et CEI 60811-1-1, Article 9)		
Traitement:		
– température de l'huile (tolérance ±2 °C)	°C	100
– durée	h	24
Variation [a] maximale de:		
a) résistance à la traction	%	±40
b) allongement à la rupture	%	±40
Essai d'allongement à chaud (CEI 60811-2-1, Article 9)		
Traitement:		
– température (tolérance ±3 °C)	°C	200
– temps sous charge	min	15
– contrainte mécanique	N/cm^2	20
Allongement maximal sous charge	%	175
Allongement permanent maximal après refroidissement	%	15
[a] Variation: différence entre la valeur médiane obtenue après traitement et la valeur médiane obtenue sans traitement, exprimée en pourcentage de cette dernière.		

Tableau 23 – Méthodes d'essai et exigences pour les mélanges sans halogène

Méthode d'essai	**Unité**	**Exigence**
Essai d'émission de gaz acide (CEI 60754-1)		
Quantité de brome et de chlore (exprimé en HCl), au maximum	%	0,5
Essai de détermination de la quantité de fluor (CEI 60864-2)		
Quantité de fluor, au maximum	%	0,1
Essai de détermination du pH et de la conductivité (CEI 60754-2)		
pH, minimum		4,3
Conductivité, maximum	µS/mm	10
NOTE Un essai de toxicité est à l'étude.		

Annexe A
(normative)

Méthode du calcul fictif pour déterminer les dimensions des revêtements de protection

L'épaisseur des revêtements d'un câble, tels que les gaines et l'armure, a généralement été rapportée aux diamètres nominaux des câbles au moyen de «tableaux-paliers».

Cela pose parfois des problèmes. Les diamètres nominaux calculés ne sont pas nécessairement les mêmes que les valeurs réelles obtenues en fabrication. Dans les cas limites, des problèmes peuvent surgir si l'épaisseur d'un revêtement ne correspond pas au diamètre réel parce que le diamètre calculé est quelque peu différent. Les variations des dimensions des âmes sectorales produites par divers fabricants ainsi que des méthodes de calculs différentes sont à l'origine de certains écarts dans les diamètres nominaux et peuvent, par conséquent, conduire à des variations de l'épaisseur des revêtements appliqués sur un même type de câble.

Afin d'éviter ces difficultés, on doit utiliser la méthode du calcul fictif. Le principe est de ne pas tenir compte de la forme ou du degré de compacité des âmes, et de calculer des diamètres fictifs en utilisant des formules basées sur la section des âmes, l'épaisseur nominale de l'enveloppe isolante et le nombre de conducteurs isolés. On rapporte les épaisseurs de la gaine et des autres revêtements aux diamètres fictifs à l'aide de formules ou de tableaux. On spécifie, avec précision, la méthode de calcul des diamètres fictifs et il ne subsiste aucune ambiguïté quant aux épaisseurs des revêtements à utiliser; celles-ci ne sont pas affectées par de faibles écarts dus aux procédés de fabrication. Cette méthode normalise la constitution des câbles, les épaisseurs étant prédéterminées et spécifiées pour chaque section d'âme.

Le calcul fictif n'est employé que pour déterminer les dimensions des gaines et des revêtements de câbles. Il ne remplace pas le calcul des diamètres réels exigé à des fins pratiques, qu'il convient d'effectuer séparément.

A.1 Généralités

Pour le calcul des épaisseurs des différents revêtements d'un câble, on adopte la méthode du calcul fictif qui suit, afin d'être sûr qu'on élimine toute différence pouvant résulter de calculs indépendants, due par exemple à des hypothèses sur les dimensions d'âmes ou aux écarts inévitables entre les diamètres nominaux et réels.

Toutes les valeurs des épaisseurs et des diamètres doivent être arrondies, conformément aux règles de l'Annexe B, à une décimale près.

On ne tient pas compte des rubans de maintien, par exemple les contre-spires sur armure, si elles n'ont pas plus de 0,3 mm d'épaisseur.

A.2 Méthode

A.2.1 Ames conductrices

Pour chaque section nominale, le diamètre fictif d'une âme (d_L) est donné dans le Tableau A.1, indépendamment de sa forme ou de sa compacité.

Tableau A.1 – Diamètre fictif des âmes

Section nominale de l'âme mm^2	d_L mm	Section nominale de l'âme mm^2	d_L mm
1,5	1,4	95	11,0
2,5	1,8	120	12,4
4	2,3	150	13,8
6	2,8	185	15,3
10	3,6	240	17,5
16	4,5	300	19,5
25	5,6	400	22,6
35	6,7	500	25,2
50	8,0	630	28,3
70	9,4	800	31,9
		1 000	35,7

A.2.2 Conducteurs

Le diamètre fictif D_c d'un conducteur quelconque est donné par:

$$D_c = d_L + 2\,t_i$$

où t_i est l'épaisseur nominale de l'enveloppe isolante, en millimètres (voir Tableaux 5 à 7).

Si un écran métallique ou une âme concentrique est utilisé(e), un ajout doit être fait conformément à A.2.5.

A.2.3 Diamètre sur conducteurs assemblés

Le diamètre fictif sur conducteurs assemblés (D_f) est donné par:

a) pour les câbles dont toutes les âmes ont la même section nominale:

$$D_f = kD_c$$

où le coefficient d'assemblage k est donné dans le Tableau A.2.

b) pour les câbles à quatre conducteurs dont une des âmes est de section réduite:

$$D_f = \frac{2{,}42\,(3\,D_{c1} + D_{c2})}{4}$$

où

D_{c1} est le diamètre fictif d'un conducteur de phase, y compris la couche métallique, s'il en existe une, en millimètres;

D_{c2} est le diamètre fictif du conducteur dont l'âme est de section réduite, comprenant l'enveloppe isolante ou le revêtement éventuel, en millimètres.

Tableau A.2 – Coefficient d'assemblage *k* pour les conducteurs assemblés

Nombre de conducteurs	Coefficient d'assemblage *k*	Nombre de conducteurs	Coefficient d'assemblage *k*
2	2,00	24	6,00
3	2,16	25	6,00
4	2,42	26	6,00
5	2,70	27	6,15
6	3,00	28	6,41
7	3,00	29	6,41
7 [a]	3,35	30	6,41
8	3,45	31	6,70
8 [a]	3,66	32	6,70
9	3,80	33	6,70
9 [a]	4,00	34	7,00
10	4,00	35	7,00
10 [a]	4,40	36	7,00
11	4,00	37	7,00
12	4,16	38	7,33
12 [a]	5,00	39	7,33
13	4,41	40	7,33
14	4,41	41	7,67
15	4,70	42	7,67
16	4,70	43	7,67
17	5,00	44	8,00
18	5,00	45	8,00
18*	7,00	46	8,00
19	5,00	47	8,00
20	5,33	48	8,15
21	5,33	52	8,41
22	5,67	61	9,00
23	5,67		

[a] Conducteurs assemblés en une seule couche.

A.2.4 Revêtements internes

Le diamètre fictif pris sur le revêtement interne (D_B) est donné par:

$$D_B = D_f + 2\ t_B$$

où

t_B = 0,4 mm pour les diamètres fictifs sur assemblage (D_f) inférieurs ou égaux à 40 mm;

t_B = 0,6 mm pour D_f supérieurs à 40 mm.

Ces valeurs fictives de t_B sont adoptées

a) pour les câbles multipolaires:
   – qu'un revêtement interne soit appliqué ou non;
   – que ce revêtement interne soit extrudé ou rubané;

   à moins qu'une gaine de séparation conforme à 12.3.3 ne soit utilisée à la place ou en plus du revêtement interne, lorsque A.2.7 est applicable;

b) pour les câbles unipolaires:

   quand un revêtement interne est appliqué, qu'il soit extrudé ou rubané.

A.2.5 Ames concentriques et écrans métalliques

L'augmentation de diamètre causée par l'âme concentrique ou par l'écran métallique est donnée au Tableau A.3.

Tableau A.3 – Augmentation de diamètre pour les âmes concentriques et les écrans métalliques

Section nominale de l'âme concentrique ou de l'écran métallique	Augmentation de diamètre	Section nominale de l'âme concentrique ou de l'écran métallique	Augmentation de diamètre
mm^2	mm	mm^2	mm
1,5	0,5	50	1,7
2,5	0,5	70	2,0
4	0,5	95	2,4
6	0,6	120	2,7
10	0,8	150	3,0
16	1,1	185	4,0
25	1,2	240	5,0
35	1,4	300	6,0

Si la section de l'âme concentrique ou de l'écran métallique tombe entre deux valeurs du tableau ci-dessus, l'augmentation de diamètre est celle qui est donnée pour la plus grande des deux valeurs.

Si un écran métallique est appliqué, la section d'écran à utiliser dans le tableau ci-dessus doit être calculée de la façon suivante:

a) écran rubané:

$$\text{section} = n_t \times t_t \times w_t$$

   où

   n_t est le nombre de rubans;

   t_t est l'épaisseur nominale d'un ruban individuel, en millimètres;

   w_t est la largeur nominale d'un ruban individuel, en millimètres.

   Si l'épaisseur totale de l'écran est inférieure à 0,15 mm, l'augmentation de diamètre doit être prise égale à zéro:

   – pour un écran rubané en hélice constitué soit de deux rubans, soit d'un ruban posé à recouvrement, l'épaisseur totale est prise égale à deux fois l'épaisseur d'un ruban;

– pour un écran disposé dans le sens longitudinal:
  - si le recouvrement est inférieur à 30 %, l'épaisseur est prise égale à l'épaisseur du ruban;
  - si le recouvrement est supérieur ou égal à 30 %, l'épaisseur est prise égale à deux fois l'épaisseur du ruban;

b) écran en fils (avec contre-spire éventuelle):

$$\text{section} = \frac{n_w \times d_w^2 \times \pi}{4} + n_h \times t_h \times w_h$$

où

n_w est le nombre de fils;

d_w est le diamètre d'un fil individuel, en millimètres;

n_h est le nombre de contre-spires;

t_h est l'épaisseur d'une contre-spire, en millimètres, si elle est supérieure à 0,3 mm;

w_h est la largeur d'une contre-spire, en millimètres.

A.2.6 Gaine de plomb

Le diamètre fictif sur la gaine de plomb (D_{pb}) est donné par:

$$D_{pb} = D_g + 2\ t_{pb}$$

où

D_g est le diamètre fictif sous la gaine de plomb, en millimètres;

t_{pb} est l'épaisseur calculée conformément à l'Article 11, en millimètres.

A.2.7 Gaine de séparation

Le diamètre fictif sur la gaine de séparation (D_s) est donné par:

$$D_s = D_u + 2\ t_s$$

où

D_u est le diamètre fictif sous la gaine de séparation, en millimètres;

t_s est l'épaisseur calculée conformément à 12.3.3, en millimètres.

A.2.8 Matelas rubané

Le diamètre fictif sur le matelas rubané (D_{lb}) est donné par:

$$D_{lb} = D_{ulb} + 2\ t_{lb}$$

où

D_{ulb} est le diamètre fictif sous le matelas rubané, en millimètres;

t_{lb} est l'épaisseur du matelas rubané, soit 1,5 mm, conformément à 12.3.4.

A.2.9 Matelas supplémentaire pour les câbles avec armure de rubans (disposé sur le revêtement interne)

Tableau A.4 – Augmentation de diamètre pour le matelas supplémentaire

Diamètre fictif sous le matelas supplémentaire		Augmentation de diamètre pour le matelas supplémentaire
Supérieur à mm	Inférieur ou égal à mm	mm
–	29	1,0
29	–	1,6

A.2.10 Armure

Le diamètre fictif sur armure (D_x) est donné

a) pour une armure en fils méplats ou ronds par:

$$D_x = D_A + 2\ t_A + 2\ t_w$$

où

D_A est le diamètre sous l'armure, en millimètres;

t_A est l'épaisseur ou le diamètre des fils de l'armure, en millimètres;

t_w est l'épaisseur de la contre-spire éventuelle, en millimètres, si elle est supérieure à 0,3 mm.

b) pour une armure constituée de deux rubans par:

$$D_x = D_A + 4\ t_A$$

où

D_A est le diamètre sous l'armure, en millimètres;

t_A est l'épaisseur du ruban d'armure, en millimètres.

Annexe B
(normative)

Arrondissement des nombres

B.1 Arrondissement des nombres pour l'utilisation de la méthode du calcul fictif

Les règles suivantes s'appliquent à l'arrondissement des nombres lors du calcul fictif des diamètres et de la détermination des dimensions des couches constitutives conformément à l'Annexe A.

Quand une valeur calculée à une étape quelconque comporte plus d'une décimale, la valeur doit être arrondie à une décimale, c'est-à-dire à 0,1 mm près. Le diamètre fictif à chaque étape doit être arrondi à 0,1 mm et, s'il est utilisé pour déterminer l'épaisseur ou la dimension de la couche immédiatement supérieure, il doit être arrondi avant d'être introduit dans la formule ou le tableau correspondants. L'épaisseur calculée à partir de la valeur arrondie du diamètre fictif doit à son tour être arrondie à 0,1 mm, comme exigé à l'Annexe A.

Afin d'illustrer cette règle, les exemples pratiques suivants sont donnés:

a) quand le chiffre de la deuxième décimale avant arrondissement est 0, 1, 2, 3 ou 4, le chiffre de la première décimale retenue reste inchangé (arrondissement inférieur).

   Exemples:

   2,12 ≈ 2,1

   2,449 ≈ 2,4

   25,0478 ≈ 25,0

b) quand le chiffre de la deuxième décimale avant arrondissement est 9, 8, 7, 6 ou 5, le chiffre de la première décimale est augmenté de un (arrondissement supérieur).

   Exemples:

   2,17 ≈ 2,2

   2,453 ≈ 2,5

   30,050 ≈ 30,1

B.2 Arrondissement des nombres pour d'autres utilisations

Pour les besoins autres que ceux envisagés dans l'Article B.1, il peut être nécessaire d'arrondir des valeurs à plus d'une décimale. Cela peut se produire, par exemple, lorsqu'on calcule la valeur moyenne de plusieurs résultats de mesure, ou la valeur minimale en appliquant une tolérance en pourcentage sur une valeur nominale donnée. On doit alors arrondir au nombre de décimales spécifié dans les articles correspondants.

La méthode d'arrondissement doit alors être la suivante:

a) si le dernier chiffre décimal à retenir est suivi, avant arrondissement, de 0, 1, 2, 3 ou 4, ce dernier chiffre reste inchangé (arrondissement inférieur);

b) si le dernier chiffre décimal à retenir est suivi, avant arrondissement, de 9, 8, 7, 6 ou 5, ce dernier chiffre doit alors être augmenté de un (arrondissement supérieur).

Exemples:

2,449	≈	2,45	arrondi à deux décimales
2,449	≈	2,4	arrondi à une décimale
25,0478	≈	25,048	arrondi à trois décimales
25,0478	≈	25,05	arrondi à deux décimales
25,0478	≈	25,0	arrondi à une décimale

Annexe C
(normative)

Détermination de la dureté des enveloppes isolantes en HEPR

C.1 Eprouvette

L'éprouvette doit être constituée d'un échantillon de câble complet dont on a soigneusement ôté tous les revêtements extérieurs à la surface de l'enveloppe isolante en HEPR à mesurer. En variante, on peut utiliser un échantillon de conducteur isolé.

C.2 Procédure d'essai

Les essais doivent être réalisés conformément à l'ISO 48, compte tenu des exceptions indiquées ci-dessous.

C.2.1 Surfaces de grand rayon de courbure

Conformément à l'ISO 48, l'appareillage d'essai doit être construit de façon à reposer fermement sur la surface de l'enveloppe isolante en HEPR, et permettre au pied presseur et au pénétreur de réaliser un contact vertical avec cette surface. Cela est réalisé de l'une des façons suivantes:

a) l'appareillage est muni d'un pied mobile comportant des appuis articulés s'ajustant d'eux-mêmes à la courbure de la surface;

b) la base de l'instrument est munie de deux tiges parallèles A et A' dont l'écartement dépend de la courbure de la surface (voir Figure C.1).

Ces méthodes peuvent être utilisées sur des surfaces dont le rayon de courbure descend jusqu'à 20 mm.

Lorsque l'épaisseur de l'enveloppe isolante en HEPR à essayer est inférieure à 4 mm, on doit utiliser un appareillage tel que le décrit la méthode utilisée dans l'ISO 48 pour les éprouvettes minces et de petite taille.

C.2.2 Surfaces de petit rayon de courbure

Sur les surfaces dont le rayon de courbure est trop faible pour pouvoir utiliser les procédures décrites en C.2.1, l'éprouvette doit être supportée par la même base rigide que l'appareillage d'essai, de façon à limiter le dérapage de la surface de l'enveloppe isolante en HEPR lorsque la force de pénétration est appliquée au pénétreur, et de façon que l'indenteur se trouve à la verticale de l'axe de l'éprouvette. Les procédures appropriées sont les suivantes:

a) faire reposer l'éprouvette dans un gabarit métallique en forme de gorge ou de goulotte (voir Figure C.2a);

b) faire reposer les extrémités de l'âme de l'éprouvette dans des blocs en forme de V (voir Figure C.2b).

Le plus petit rayon de courbure de la surface à mesurer par ces méthodes doit être d'au moins 4 mm.

Pour les rayons de courbure plus faibles, on doit utiliser un appareillage tel que le décrit la méthode utilisée dans l'ISO 48 pour les éprouvettes minces et de petite taille.

C.2.3 Conditionnement et température d'essai

L'intervalle entre la fabrication, c'est-à-dire la vulcanisation, et l'essai doit être d'au moins 16 h.

L'essai doit être effectué à une température de (20 ± 2) °C et les éprouvettes maintenues à cette température pendant au moins 3 h immédiatement avant l'essai.

C.2.4 Nombre de mesures

On doit procéder à une mesure à chacun des trois ou cinq points différents répartis autour de l'éprouvette. La valeur médiane des résultats, arrondie au nombre entier le plus proche, doit être considérée comme étant la dureté de l'éprouvette, exprimée en degrés internationaux de dureté du caoutchouc (DIDC).

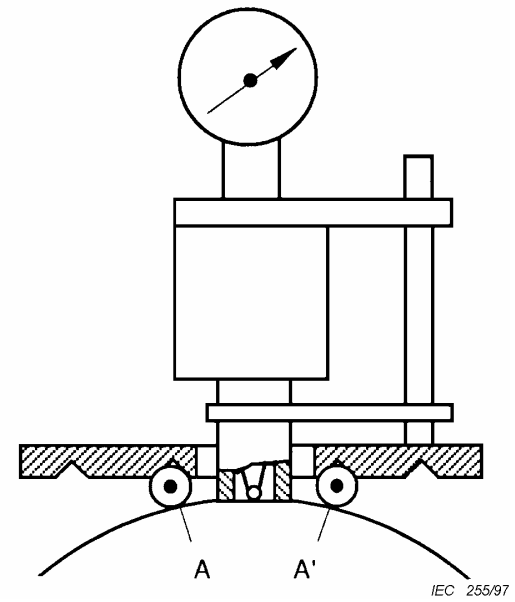

Figure C.1 – Essai des surfaces de grand rayon de courbure

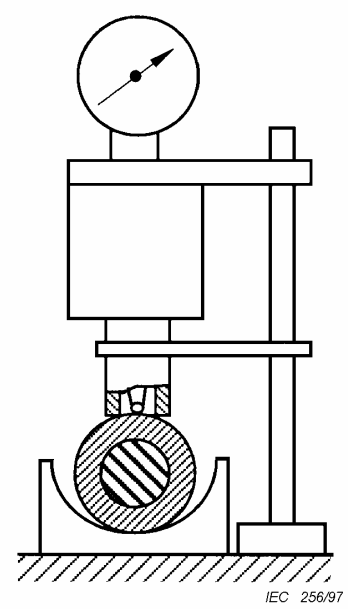

Figure C.2a – Eprouvette dans une goulotte

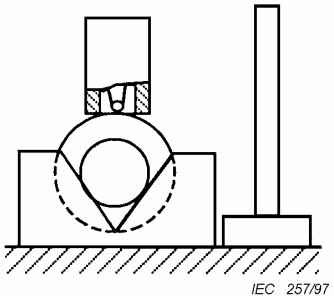

Figure C.2b – Eprouvette dans des blocs en forme de V

Figure C.2 – Essai des surfaces de petit rayon de courbure

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

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

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