

INTERNATIONAL STANDARD



Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages above 30 kV ($U_m = 36$ kV) up to 150 kV ($U_m = 170$ kV) – Test methods and requirements



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2011 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester.

If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

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

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 It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

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

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

- Electropedia: www.electropedia.org

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

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

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

Email: csc@iec.ch

Tel.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

A propos de la CEI

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

A propos des publications CEI

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

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

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

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

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

- Electropedia: www.electropedia.org

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

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

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

Email: csc@iec.ch

Tél.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

INTERNATIONAL STANDARD



Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages above 30 kV ($U_m = 36$ kV) up to 150 kV ($U_m = 170$ kV) – Test methods and requirements

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60840:2011 RLV

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages above 30 kV ($U_m = 36$ kV) up to 150 kV ($U_m = 170$ kV) – Test methods and requirements

Câbles d'énergie à isolation extrudée et leurs accessoires pour des tensions assignées supérieures à 30 kV ($U_m = 36$ kV) et jusqu'à 150 kV ($U_m = 170$ kV) – Méthodes et exigences d'essai

CONTENTS

FOREWORD.....	6
INTRODUCTION.....	8
1 Scope.....	9
2 Normative references.....	9
3 Terms and definitions	10
3.1 Definitions of dimensional values (thicknesses, cross-sections, etc.).....	10
3.2 Definitions concerning tests	11
3.3 Other definitions	11
4 Voltage designations and materials	12
4.1 Rated voltages	12
4.2 Cable insulating materials.....	12
4.3 Cable metal screens/sheaths	12
4.4 Cable oversheathing materials.....	12
5 Precautions against water penetration in cables	12
6 Cable characteristics	13
7 Accessory characteristics.....	13
8 Test conditions	14
8.1 Ambient temperature	14
8.2 Frequency and waveform of power frequency test voltages	14
8.3 Waveform of lightning impulse test voltages.....	14
8.4 Relationship of test voltages to rated voltages.....	14
8.5 Determination of the cable conductor temperature	14
9 Routine tests on cables and on the main insulation of prefabricated accessories	15
9.1 General.....	15
9.2 Partial discharge test.....	15
9.3 Voltage test.....	15
9.4 Electrical test on oversheath of the cable	15
10 Sample tests on cables	16
10.1 General.....	16
10.2 Frequency of tests.....	16
10.3 Repetition of tests.....	16
10.4 Conductor examination	16
10.5 Measurement of electrical resistance of conductor and metal screen.....	16
10.6 Measurement of thickness of cable insulation and oversheath.....	17
10.6.1 General	17
10.6.2 Requirements for the insulation.....	17
10.6.3 Requirements for the cable oversheath	17
10.7 Measurement of thickness of metal sheath.....	18
10.7.1 Lead or lead alloy sheath	18
10.7.2 Plain or corrugated aluminium sheath	18
10.8 Measurement of diameters	19
10.9 Hot set test for XLPE, EPR and HEPR insulations	19
10.9.1 Procedure.....	19
10.9.2 Requirements	19
10.10 Measurement of capacitance.....	19

10.11	Measurement of density of HDPE insulation	19
10.11.1	Procedure	19
10.11.2	Requirements	19
10.12	Lightning impulse voltage test	19
10.13	Water penetration test	20
10.14	Tests on components of cables with a longitudinally applied metal tape or foil, bonded to the oversheath	20
11	Sample tests on accessories	20
11.1	Tests on components	20
11.2	Tests on complete accessory	20
12	Type tests on cable systems	20
12.1	General	20
12.2	Range of type approval	21
12.3	Summary of type tests	21
12.4	Electrical type tests on complete cable systems	22
12.4.1	Test voltage values	22
12.4.2	Tests and sequence of tests	22
12.4.3	Bending test	23
12.4.4	Partial discharge tests	24
12.4.5	Tan δ measurement	24
12.4.6	Heating cycle voltage test	24
12.4.7	Lightning impulse voltage test followed by a power frequency voltage test	25
12.4.8	Examination	25
12.4.9	Resistivity of semi-conducting screens	25
12.5	Non-electrical type tests on cable components and on complete cable	26
12.5.1	Check of cable construction	26
12.5.2	Tests for determining the mechanical properties of insulation before and after ageing	26
12.5.3	Tests for determining the mechanical properties of oversheaths before and after ageing	27
12.5.4	Ageing tests on pieces of complete cable to check compatibility of materials	27
12.5.5	Loss of mass test on PVC oversheaths of type ST ₂	28
12.5.6	Pressure test at high temperature on oversheaths	28
12.5.7	Test on PVC oversheaths (ST ₁ , ST ₂) at low temperature	28
12.5.8	Heat shock test for PVC oversheaths (ST ₁ and ST ₂)	29
12.5.9	Ozone resistance test for EPR and HEPR insulations	29
12.5.10	Hot set test for EPR, HEPR and XLPE insulations	29
12.5.11	Measurement of density of HDPE insulation	29
12.5.12	Measurement of carbon black content of black PE oversheaths (ST ₃ and ST ₇)	29
12.5.13	Test under fire conditions	29
12.5.14	Water penetration test	30
12.5.15	Tests on components of cables with a longitudinally applied metal tape or foil, bonded to the oversheath	30
12.5.16	Shrinkage test for PE, HDPE and XLPE insulations	30
12.5.17	Shrinkage test for PE oversheaths (ST ₃ and ST ₇)	30
12.5.18	Determination of hardness of HEPR insulation	30
12.5.19	Determination of the elastic modulus of HEPR insulation	31

13	Prequalification test of the cable system.....	31
13.1	General and range of prequalification test approval.....	31
13.2	Prequalification test on complete system.....	32
13.2.1	Summary of prequalification tests	32
13.2.2	Test voltage values	32
13.2.3	Test arrangement	32
13.2.4	Heating cycle voltage test	33
13.2.5	Lightning impulse voltage test	34
13.2.6	Examination.....	34
13.3	Tests for the extension of the prequalification of a cable system.....	34
13.3.1	Summary of the extension of prequalification test.....	34
13.3.2	Electrical part of the extension of prequalification tests on complete cable system.....	34
14	Type tests on cables	36
14.1	General	36
14.2	Range of type approval	36
14.3	Summary of type tests	37
14.4	Electrical type tests on completed cables	37
15	Type tests on accessories.....	38
15.1	General	38
15.2	Range of type approval	38
15.3	Summary of type tests	38
15.4	Electrical type tests on accessories.....	39
15.4.1	Test voltage values.....	39
15.4.2	Tests and sequence of tests	39
16	Electrical tests after installation	40
16.1	General.....	40
16.2	DC voltage test of the oversheath	40
16.3	AC voltage test of the insulation.....	40
	Annex A (informative) Determination of the cable conductor temperature.....	47
	Annex B (normative) Rounding of numbers.....	52
	Annex C (informative) List of type, prequalification and extension of prequalification tests for cable systems, cables and accessories	53
	Annex D (normative) Method of measuring resistivity of semi-conducting screens.....	56
	Annex E (normative) Water penetration test	58
	Annex F (normative) Tests on components of cables with a longitudinally applied metal tape or foil, bonded to the oversheath.....	60
	Annex G (normative) Tests of outer protection for joints	63
	Annex H (normative) Determination of hardness of HEPR insulations	65
	Bibliography	67
	Figure 1 – Example of the test arrangement for the prequalification test.....	33
	Figure 2 – Example of extension of prequalification test arrangement for the prequalification of a system with another joint, designed for rigid and flexible installation	35
	Figure A.1 – Typical test set-up for the reference loop and the main test loop	48
	Figure A.2 – Example of an arrangement of the temperature sensors on the conductor of the reference loop	49

Figure D.1 – Preparation of samples for measurement of resistivity of conductor and insulation screens	57
Figure E.1 – Schematic diagram of apparatus for water penetration test	59
Figure F.1 – Adhesion of metal foil	60
Figure F.2 – Example of overlapped metal foil	61
Figure F.3 – Peel strength of overlapped metal foil	61
Figure H.1 – Test on surfaces of large radius of curvature	66
Figure H.2 – Test on surfaces of small radius of curvature	66
Table 1 – Insulating compounds for cables	40
Table 2 – Oversheathing compounds for cables	41
Table 3 – Tan δ requirements for insulating compounds for cables	41
Table 4 – Test voltages	41
Table 5 – Non-electrical type tests for insulating and oversheathing compounds for cables	42
Table 6 – Test requirements for mechanical characteristics of insulating compounds for cables (before and after ageing)	43
Table 7 – Test requirements mechanical characteristics of oversheathing compounds for cables (before and after ageing)	44
Table 8 – Test requirements for particular characteristics of insulating compounds for cables	45
Table 9 – Test requirements for particular characteristics of PVC oversheathing for cables	46
Table C.1 – Type tests on cable systems, on cables and on accessories	54
Table C.2 – Prequalification tests on cable systems with a calculated nominal conductor electric stress above 8,0 kV/mm or a calculated nominal insulation electric stress above 4,0 kV/mm	54
Table C.3 – Extension of prequalification tests on cable systems with a calculated nominal conductor electric stress above 8,0 kV/mm or a calculated nominal insulation electric stress above 4,0 kV/mm	55
Table G.1 – Impulse voltage tests	64

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**POWER CABLES WITH EXTRUDED INSULATION AND
THEIR ACCESSORIES FOR RATED VOLTAGES ABOVE 30 kV
($U_m = 36$ kV) UP TO 150 kV ($U_m = 170$ kV) –
TEST METHODS AND REQUIREMENTS**

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 60840 has been prepared by IEC technical committee 20: Electric cables.

This fourth edition cancels and replaces the third edition, published in 2004, and constitutes a major technical revision.

The significant technical change with respect to the previous edition is as follows:

- introduction of a prequalification test procedure for cables with high electrical stresses and tested as a cable system including accessories.

NOTE For a more detailed history of events leading up to this fourth edition, see the Introduction.

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

FDIS	Report on voting
20/1267/FDIS	20/1277A/RVD

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

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

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

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

INTRODUCTION

The first edition of IEC 60840, published in 1988, dealt only with cables. Accessories were added to the second edition, published in February 1999, which separately covered test methods and test requirements for

- a) cables alone,
- b) cables together with accessories (a cable system).

Some countries then suggested that a better discrimination be made between systems, cables and accessories, particularly for the lower voltages of the scope, e.g. 45 kV. This was taken into account in the third edition and is retained in this revision, which gives the type approval requirements and the range of approvals for

- a) cable systems,
- b) cables alone,
- c) accessories alone.

Manufacturers and users may choose the most appropriate option for type approval.

At its meeting in November 2004, TC 20 decided to prepare a further major revision of IEC 60840 and concluded that this edition should incorporate the recommendations for testing HV and EHV extruded cables that were under preparation by CIGRE study committee B1 WG B1.06. This work was made available as CIGRE technical brochure No. 303, before the meeting of TC 20 in October 2006. The brochure, entitled "Revision of qualification procedures for extruded (extra) high voltage a.c. underground cables", has therefore been considered by TC 20, and considerable parts implemented in this standard. Cables with high electrical stresses at the conductor screen and/or insulation screen are now required to undergo a prequalification test procedure (simplified compared to that in IEC 62067) as a cable system inclusive of accessories.

Additionally the following other significant changes to this standard have been introduced:

- a) The clause numbering of this standard and IEC 62067 (which has been revised at the same time as this standard) has been coordinated to achieve as much commonality as possible to assist users who use both standards.
- b) In the case of the sample test, the lightning impulse voltage test is no longer followed by a power frequency voltage test.

A list of relevant CIGRE references is given in the bibliography.

**POWER CABLES WITH EXTRUDED INSULATION AND
THEIR ACCESSORIES FOR RATED VOLTAGES ABOVE 30 kV
($U_m = 36$ kV) UP TO 150 kV ($U_m = 170$ kV) –
TEST METHODS AND REQUIREMENTS**

1 Scope

This International Standard specifies test methods and requirements for power cable systems, cables alone and accessories alone, for fixed installations and for rated voltages above 30 kV ($U_m = 36$ kV) up to and including 150 kV ($U_m = 170$ kV).

The requirements apply to single-core cables and to individually screened three-core cables and to their accessories for usual conditions of installation and operation, but not to special cables and their accessories, such as submarine cables, for which modifications to the standard tests may be necessary or special test conditions may need to be devised.

This standard does not cover transition joints between cables with extruded insulation and paper insulated cables.

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.

NOTE The IEC 60811 series is currently undergoing a revision, which will lead to a restructuring of its parts. A description of this, as well as a cross-reference table between the current and planned parts will be given in IEC 60811-100.

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

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

IEC 60228, *Conductors of insulated cables*

IEC 60229:2007, *Electric cables – Tests on extruded oversheaths with a special protective function*

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

IEC 60287-1-1:2006, *Electric cables – Calculation of the current rating – Part 1-1: Current rating equations (100 % load factor) and calculation of losses – General*

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

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*
Amendment 1 (2001)

IEC 60811-1-2:1985, *Common test methods for insulating and sheathing materials of electric cables – Part 1: Methods for general application – Section Two: Thermal ageing methods*
Amendment 1 (1989)
Amendment 2 (2000)

IEC 60811-1-3:1993, *Common test methods for insulating and sheathing materials of electric cables – Part 1-3: General application – Methods for determining the density – Water absorption tests – Shrinkage test*
Amendment 1 (2001)

IEC 60811-1-4:1985, *Common test methods for insulating and sheathing materials of electric cables – Part 1: Methods for general application – Section Four: Tests at low temperature*
Amendment 1 (1993)
Amendment 2 (2001)

IEC 60811-2-1:1998, *Common test methods for Insulating and sheathing materials of electric and optical cables –Part 2-1: Methods specific to elastomeric compounds – Ozone resistance, hot set and mineral oil immersion tests*
Amendment 1 (2001)

IEC 60811-3-1:1985, *Common test methods for insulating and sheathing materials of electric cables – Part 3-1: Methods specific to PVC compounds –Pressure test at high temperature – Tests for resistance to cracking*
Amendment 1 (1994)
Amendment 2 (2001)

IEC 60811-3-2:1985, *Common test methods for insulating and sheathing materials of electric cables – Part 3: Methods specific to PVC compounds –Loss of mass test – Section two: Thermal stability test*
Amendment 1 (1993)
Amendment 2 (2003)

IEC 60811-4-1:2004, *Insulating and sheathing materials of electric and optical cables – Common test methods – Part 4-1: Methods specific to polyethylene and polypropylene compounds – Resistance to environmental stress cracking –Measurement of the melt flow index – Carbon black and/or mineral filler content measurement in polyethylene by direct combustion – Measurement of carbon black content by thermogravimetric analysis (TGA) – Assessment of carbon black dispersion in polyethylene using a microscope*

IEC 60885-3, *Electrical test methods for electric cables – Part 3: Test methods for partial discharge measurements on lengths of extruded power cables*

ISO 48, *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 terms and 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

median value

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

3.2 Definitions concerning tests

3.2.1

routine test

tests made by the manufacturer on each manufactured component (length of cable or accessory) to check that the component meets the specified requirements

3.2.2

sample test

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

3.2.3

type test

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

NOTE Once successfully completed, these tests need not be repeated, unless changes are made in the cable or accessory with respect to materials, manufacturing process, design or design electrical stress levels, which might adversely change the performance characteristics.

3.2.4

prequalification test

test made before supplying on a general commercial basis a type of cable system covered by this standard, in order to demonstrate satisfactory long term performance of the complete cable system

3.2.5

extension of prequalification test

tests made before supplying on a general commercial basis a type of cable system covered by this standard, in order to demonstrate satisfactory long term performance of the complete cable system, taking into account an already prequalified cable system

3.2.6

electrical test after installation

tests made to demonstrate the integrity of the cable system as installed

3.3 Other definitions

3.3.1

cable system

cable with installed accessories including components used for thermo-mechanical restraint of systems limited to those used for terminations and joints only

3.3.2

nominal electrical stress

electrical stress calculated at U_0 using nominal dimensions

4 Voltage designations and materials

4.1 Rated voltages

In this standard, the symbols U_0 , U and U_m are used to designate the rated voltages of cables and accessories where these symbols have the meanings given in IEC 60183.

4.2 Cable insulating materials

This standard applies to cables insulated with one of the materials listed in Table 1. It also specifies for each type of insulating compound the maximum operating conductor temperatures on which the specified test conditions are based.

4.3 Cable metal screens/sheaths

This standard applies to the various designs in use. It covers designs providing a radial watertightness and other designs.

Designs that provide radial watertightness mainly consist of

- metal sheaths,
- longitudinally applied metal tapes or foils bonded to the oversheath,
- composite screens, involving a bunch of wires and, in addition, either a metal sheath or a metal tape or foil bonded to the oversheath, acting as a radial water impermeable barrier (see Clause 5),

and other designs such as

- metal tapes or foils not bonded to the oversheath,
- bunch of metal wires only.

NOTE In all cases the metal screen/sheath should be able to carry the total fault current.

4.4 Cable oversheathing materials

Tests are specified for four types of oversheath, as follows:

- ST₁ and ST₂ based on polyvinyl chloride (PVC);
- ST₃ and ST₇ based on polyethylene (PE).

The choice of the type of oversheath depends on the design of the cable and the mechanical, thermal and fire constraints during installation and operation.

The maximum conductor temperatures in normal operation for the different types of oversheathing materials covered by this standard are given in Table 2.

NOTE For some applications the oversheath can be covered by a functional layer (e.g. semi-conductive).

5 Precautions against water penetration in cables

When cable systems are installed in ground, in easily flooded galleries or in water, a radial water impermeable barrier around the cable is recommended.

NOTE A test for radial water penetration is currently not available.

Longitudinal water barriers may also be applied in order to avoid the need to replace long sections of cable in case of damage in the presence of water.

A test for longitudinal water penetration is given in 12.5.14.

6 Cable characteristics

For the purpose of carrying out the cable system or cable tests described in this standard and recording the results, the cable shall be identified. The following characteristics shall be known or declared:

- Name of manufacturer, type, designation and manufacturing date or date code.
- Rated voltage: values shall be given for U_0 , U , U_m (see 4.1 and 8.4).
- Type of conductor, its material and nominal cross-sectional area, in square millimetres; conductor construction; presence, if any, and nature of measures taken to reduce skin effect; presence, if any, and nature of measures taken to achieve longitudinal watertightness; if the nominal cross-sectional area is not in accordance with IEC 60228, the d.c. conductor resistance, corrected to 1 km length and to 20 °C.
- Material and nominal thickness of insulation (t_n) (see 4.2). If the insulation is XLPE, special additives shall be declared if the higher value of $\tan \delta$ according to Table 3 is applicable.
- Type of manufacturing process for insulation system.
- Presence, if any, and nature of watertightness measures in the screening area.
- Material and construction of metal screen, e.g. number and diameter of wires. (The d.c. resistance of the metal screen shall be declared.) Material, construction and nominal thickness of metal sheath, or longitudinally applied metal tape or foil bonded to the oversheath, if any.
- Material and nominal thickness of oversheath.
- Nominal diameter of the conductor (d).
- Nominal overall diameter of the cable (D).
- Nominal inner diameter (d_{ii}) and calculated nominal outer diameter (D_{io}) of the insulation.
- Nominal capacitance, corrected to 1 km length, between conductor and metal screen/sheath.
- Calculated nominal electrical stress at conductor screen (E_i) and at insulation screen (E_o):

$$E_i = \frac{2U_0}{d_{ii} \times \ln(D_{io} / d_{ii})}$$

$$E_o = \frac{2U_0}{D_{io} \times \ln(D_{io} / d_{ii})}$$

where

$$D_{io} = d_{ii} + 2t_n;$$

D_{io} is the calculated nominal outer diameter of the insulation;

d_{ii} is the declared nominal inner diameter of the insulation;

t_n is the declared nominal insulation thickness.

The value of U_0 is given in Table 4.

7 Accessory characteristics

For the purpose of carrying out the cable system or accessory tests described in this standard and recording the results, the accessory shall be identified.

The following characteristics shall be known or declared:

- a) cables used for testing accessories shall be correctly identified as in Clause 6;
- b) conductor connections used within the accessories shall be correctly identified, where applicable, with respect to
 - assembly technique,
 - tooling, dies and necessary setting,
 - preparation of contact surfaces,
 - type, reference number and any other identification of the connector,
 - details of the type test approval of the connector, if applicable;
- c) accessories to be tested shall be correctly identified with respect to
 - name of manufacturer,
 - type, designation and manufacturing date or date code,
 - rated voltage (see 6 b) above),
 - installation instructions (reference and date).

8 Test conditions

8.1 Ambient temperature

Unless otherwise specified in the details for the particular test, tests shall be carried out at an ambient temperature of $(20 \pm 15) ^\circ\text{C}$.

8.2 Frequency and waveform of power frequency test voltages

Unless otherwise indicated in this standard, 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.

8.3 Waveform of lightning impulse test voltages

In accordance with IEC 60230, the front time of the standard lightning impulse voltage shall be between $1 \mu\text{s}$ and $5 \mu\text{s}$. The time to half value shall be $50 \mu\text{s} \pm 10 \mu\text{s}$ as specified in IEC 60060-1.

8.4 Relationship of test voltages to rated voltages

Where test voltages are specified in this standard as multiples of the rated voltage U_0 , the value of U_0 for the determination of the test voltages shall be as specified in Table 4.

For cables and accessories of rated voltages not shown in the table, the value of U_0 for determination of test voltages may be the same as for the nearest rated voltage which is given, provided that the value of U_m for the cable and accessory is not higher than the corresponding value in the table. Otherwise, and particularly if the rated voltage is not close to one of the values in the table, the value of U_0 on which the test voltages are based shall be the rated value, i.e. U divided by $\sqrt{3}$.

The test voltages in this standard are based on the assumption that the cables and accessories are used on systems of category A or B, as defined in IEC 60183.

8.5 Determination of the cable conductor temperature

It is recommended that one of the test methods described in Annex A is used to determine the actual conductor temperature.

9 Routine tests on cables and on the main insulation of prefabricated accessories

9.1 General

The following tests shall be carried out on each manufactured length of cable:

- a) partial discharge test (see 9.2);
- b) voltage test (see 9.3);
- c) electrical test on oversheath of the cable, if required (see 9.4).

The order in which these tests are carried out is at the discretion of the manufacturer.

The main insulation of each prefabricated accessory shall undergo partial discharge (see 9.2) and voltage routine tests (see 9.3) according to either 1), 2) or 3) below:

- 1) on accessories installed on cable;
- 2) by using a host accessory into which a component of an accessory is substituted for test;
- 3) by using a simulated accessory rig in which the electrical stress environment of a main insulation component is reproduced.

In cases 2) and 3), the test voltage shall be selected so as to obtain electrical stresses at least the same as those on the component in a complete accessory when subjected to the test voltages specified in 9.2 and 9.3.

NOTE The main insulation of prefabricated accessories consists of the components that come in direct contact with the cable insulation and are necessary to control the electric stress distribution in the accessory. Examples are premoulded or precast elastomer or filled epoxy resin insulating components that may be used singly or jointly to provide the necessary insulation or screening of accessories.

9.2 Partial discharge test

The partial discharge test shall be carried out in accordance with IEC 60885-3 for cables, except that the sensitivity as defined in IEC 60885-3 shall be 10 pC or better. Testing of accessories follows the same principles, but the sensitivity shall be 5 pC or better.

The test voltage shall be raised gradually to and held at $1,75 U_0$ for 10 s and then slowly reduced to $1,5 U_0$ (see Table 4, column 5).

There shall be no detectable discharge exceeding the declared sensitivity from the test object at $1,5 U_0$.

9.3 Voltage test

The voltage test shall be made at ambient temperature using an alternating test voltage at power frequency.

The test voltage shall be raised gradually to $2,5 U_0$ (see Table 4, column 4) and then be held for 30 min between the conductor and metal screen/sheath.

No breakdown of the insulation shall occur.

9.4 Electrical test on oversheath of the cable

When the test is required by the particular contract, the cable oversheath shall be subjected to the electrical test specified in Clause 3 of IEC 60229:2007.

10 Sample tests on cables

10.1 General

The following tests shall be carried out on samples which, for the tests in items b) and g), may be complete drum lengths of cable, taken to represent batches:

- a) conductor examination (see 10.4);
- b) measurement of electrical resistance of conductor and of metal screen (see 10.5);
- c) measurement of thickness of insulation and oversheath (see 10.6);
- d) measurement of thickness of metal sheath (see 10.7);
- e) measurement of diameters, if required (see 10.8);
- f) hot set test for XLPE, EPR and HEPR insulations (see 10.9);
- g) measurement of capacitance (see 10.10);
- h) measurement of density of HDPE insulation (see 10.11);
- i) lightning impulse voltage test for a cable with calculated nominal conductor stress $> 8,0$ kV/mm when calculated according to Clause 6, item m) (see 10.12);
- j) water penetration test, if applicable (see 10.13);
- k) tests on components of cables with a longitudinally applied metal tape or foil, bonded to the oversheath (see 10.14).

10.2 Frequency of tests

The sample tests in items a) to h) and k) of 10.1 shall be carried out on one length from each batch (manufacturing series) of the same type and cross-section of cable, but shall be limited to not more than 10 % of the number of lengths in any contract, rounded to the nearest whole number.

The frequency of the tests in items i) and j) of 10.1 shall be in accordance with agreed quality control procedures. In the absence of such an agreement, one test shall be made for contracts with a cable length greater than 20 km.

10.3 Repetition of tests

If the sample from any length selected for the tests fails in any of the tests in 10.1, further samples shall be taken from two further lengths of the same batch and subjected to the same tests as those in which the original sample failed. If both additional samples pass the tests, the other cables in the batch from which they were taken shall be regarded as having complied with the requirements of this standard. If either fails, this batch of cables shall be regarded as having failed to comply.

10.4 Conductor examination

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

10.5 Measurement of electrical resistance of conductor and metal screen

The cable length, or a sample thereof, shall be placed in the test room, which shall be maintained at a reasonably constant temperature for at least 12 h before the test. If there is a doubt that the conductor or metal screen temperature is not 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 or metal screen, conditioned for at least 1 h in a temperature-controlled liquid bath.

The d.c. resistance of the conductor or metal screen shall be corrected to a temperature of 20 °C and 1 km length in accordance with the formulae and factors given in IEC 60228. For screen other than copper or aluminium, temperature coefficients and correction formulae shall be taken respectively from Table 1 and 2.1.1 of IEC 60287-1-1:2006.

The corrected d.c. resistance of the conductor at 20 °C shall not exceed either the appropriate maximum value specified in IEC 60228 or the declared value.

The corrected d.c. resistance of the metal screen at 20 °C shall not exceed the declared value.

10.6 Measurement of thickness of cable insulation and oversheath

10.6.1 General

The test method shall be in accordance with Clause 8 of IEC 60811-1-1:1993 and its Amendment 1:2001.

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

10.6.2 Requirements for the insulation

The lowest measured thickness shall not fall below 90 % of the nominal thickness:

$$t_{\min} \geq 0,90 t_n$$

and additionally:

$$\frac{t_{\max} - t_{\min}}{t_{\max}} \leq 0,15$$

where

$t_{\max}$ is the maximum thickness, in millimetres;

$t_{\min}$ is the minimum thickness, in millimetres;

t_n is the nominal thickness, in millimetres.

NOTE $t_{\max}$ and $t_{\min}$ are measured at the same cross-section of the insulation.

The thickness of the semi-conducting screens on the conductor and over the insulation shall not be included in the thickness of the insulation.

10.6.3 Requirements for the cable oversheath

The lowest measured thickness shall not fall below 85 % of the nominal thickness by more than 0,1 mm:

$$t_{\min} \geq 0,85 t_n - 0,1$$

where

$t_{\min}$ is the minimum thickness, in millimetres;

t_n is the nominal thickness, in millimetres.

In addition, for oversheaths applied onto a substantially smooth surface, the average of the measured values rounded to 0,1 mm in accordance with Annex B shall be not less than the nominal thickness.

The latter requirement does not apply to oversheaths applied onto an irregular surface, such as one formed by metal screens of wires and/or tapes or corrugated metal sheath.

10.7 Measurement of thickness of metal sheath

The following tests apply if the cable has a metal sheath of lead, lead alloy or aluminium.

10.7.1 Lead or lead alloy sheath

The minimum thickness of the sheath shall not fall below 95 % of the nominal thickness by more than 0,1 mm:

$$t_{\min} \geq 0,95 t_n - 0,1$$

The thickness of the sheath shall be measured by one of the following methods, at the discretion of the manufacturer.

10.7.1.1 Strip method

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

10.7.1.2 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 $\pm 0,01$ 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.

10.7.2 Plain or corrugated aluminium sheath

The minimum thickness of the sheath shall not fall below 90 % of the nominal thickness by more than 0,1 mm for plain aluminium sheath:

$$t_{\min} \geq 0,9 t_n - 0,1$$

and 85 % of the nominal thickness by more than 0,1 mm for corrugated aluminium sheath:

$$t_{\min} \geq 0,85 t_n - 0,1$$

The measurements shall be made with a micrometer having ball noses of radii about 3 mm. The accuracy shall be $\pm 0,01$ mm.

The measurements shall be made on a ring of the sheath, about 50 mm wide, carefully removed from the complete cable. 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.

10.8 Measurement of diameters

If the purchaser requires that the diameter of the core and/or the overall diameter of the cable shall be measured, the measurements shall be carried out in accordance with 8.3 of IEC 60811-1-1:1993 and Amendment 1:2001.

10.9 Hot set test for XLPE, EPR and HEPR insulations

10.9.1 Procedure

The sampling and test procedure shall be carried out in accordance with Clause 9 of IEC 60811-2-1:1998 and Amendment 1:2001, employing the test conditions given in Table 8.

The test pieces shall be taken from that part of the insulation where the degree of cross-linking is considered to be the lowest for the curing process employed.

10.9.2 Requirements

The test results shall comply with the requirements given in Table 8.

10.10 Measurement of capacitance

The capacitance shall be measured between conductor and metal screen/sheath at ambient temperature, and the ambient temperature shall be recorded with the test data.

The measured value of the capacitance shall be corrected to a 1 km length and shall not exceed the declared nominal value by more than 8 %.

10.11 Measurement of density of HDPE insulation

10.11.1 Procedure

The density of HDPE shall be measured using the sampling and test procedure given in Clause 8 of IEC 60811-1-3:1993 and Amendment 1:2001.

10.11.2 Requirements

The results of the test shall comply with the requirements given in Table 8.

10.12 Lightning impulse voltage test

This test is only required for cables with a nominal electric conductor stress $> 8,0$ kV/mm.

The test shall be performed on a complete cable at least 10 m in length excluding test accessories, at a conductor temperature 5 K to 10 K above maximum conductor temperature in normal operation.

The assembly shall be heated by conductor current only, until the cable reaches the required temperature.

NOTE If, for practical reasons, the test temperature cannot be reached, additional thermal insulation may be applied.

The impulse voltage shall be applied according to the procedure given in IEC 60230.

The cable shall withstand without failure 10 positive and 10 negative voltage impulses of the appropriate value given in Table 4, column 8.

No breakdown of the insulation shall occur.

10.13 Water penetration test

If applicable, samples shall be taken from the complete cable, the test shall be applied and the requirements shall be met as described in 12.5.14.

10.14 Tests on components of cables with a longitudinally applied metal tape or foil, bonded to the oversheath

For cables with a longitudinally applied metal tape or foil bonded to the oversheath, a 1 m sample shall be taken from the complete cable and subjected to the tests and requirements in 12.5.15.

11 Sample tests on accessories

11.1 Tests on components

The characteristics of each component shall be verified in accordance with the specifications of the accessories manufacturer, either through test reports from the supplier of a given component or through internal tests.

The manufacturer of a given accessory shall provide a list of the tests to be performed on each component, indicating the frequency of each test.

The components shall be inspected against their drawings. There shall be no deviation outside the declared tolerances.

NOTE As components differ from one supplier to another, it is not possible to define common sample tests on components in this standard.

11.2 Tests on complete accessory

For accessories where the main insulation cannot be routine tested (see 9.1), the following electrical tests shall be carried out by the manufacturer on a fully assembled accessory:

- a) partial discharge test (see 9.2);
- b) voltage test (see 9.3).

The sequence in which these tests are carried out is at the discretion of the manufacturer.

NOTE Examples of main insulations that are not routine tested are heat shrink insulations and insulations taped and/or moulded on site.

These tests shall be performed on one accessory of each type per contract if the number of that type in the contract is above 50.

If the sample fails either of the above two tests, two further samples of the same accessory type shall be taken from the contract and subjected to the same tests. If both additional samples pass the tests, the other accessories of the same type from the contract shall be regarded as having complied with the requirements of this standard. If either fails, this type of accessory of the contract shall be regarded as having failed to comply.

12 Type tests on cable systems

12.1 General

The tests specified in this clause are intended to demonstrate the satisfactory performance of cable systems.

A table of the subclause references to be considered during a type test on a cable system is given in Annex C.

NOTE Tests on terminations referring to environmental conditions are not specified in this standard.

12.2 Range of type approval

When type tests have been successfully performed on one or more cable system(s) of specific cross-section(s), and of the same rated voltage and construction, the type approval shall be considered as valid for cable systems within the scope of this standard with other cross-sections, rated voltages and constructions provided that all the conditions of a) to f) are met:

NOTE 1 Type tests which have been successfully performed according to the previous edition of this standard are valid.

- a) the voltage group is not higher than that of the tested cable system(s);

NOTE 2 In this context, cable systems of the same rated voltage group are those of rated voltages having a common value of U_m , highest voltage for equipment, and the same test voltage levels (see Table 4, column 1 and 2).

- b) the conductor cross-section is not larger than that of the tested cable;
c) the cable and the accessories have the same or similar constructions as that of the tested cable system(s);

NOTE 3 Cables and accessories of similar construction are those of the same type and manufacturing process of insulation and semi-conducting screens. Repetition of the electrical type tests is not necessary on account of the differences in the conductor or connector type or material or of the protective layers applied over the screened cores or over the main insulation part of the accessory, unless these are likely to have a significant effect on the results of the test. In some instances it may be appropriate to repeat one or more of the type tests (e.g. bending test, heating cycle test and/or compatibility test).

- d) the calculated nominal electrical stress and the impulse voltage stress calculated using nominal dimensions at the cable conductor screen do not exceed the respective calculated stresses of the tested cable system(s) by more than 10 %;
e) the calculated nominal electrical stress at the cable insulation screen and the impulse voltage stress calculated using nominal dimensions do not exceed the respective calculated stresses of the tested cable system(s);
f) the calculated nominal electrical stresses and the impulse voltage stresses calculated using nominal dimensions within the main insulation parts of the accessory and at the cable and accessory interfaces do not exceed the respective calculated stresses of the tested cable system(s).

The type tests on cable components (see 12.5) only need to be carried out on samples from cables of different voltage ratings and/or conductor cross-sectional areas if different materials and/or different manufacturing processes are used to produce them. However, repetition of the ageing tests on pieces of completed cable to check compatibility of materials (see 12.5.4) may be required if the combination of materials applied over the screened core is different from that of the cable on which type tests have been carried out previously.

A type test certificate signed by the representative of a competent witnessing body, or a report by the manufacturer giving the test results and signed by the appropriate qualified officer, or a type test certificate issued by an independent test laboratory, shall be acceptable as evidence of type testing.

12.3 Summary of type tests

The type tests shall comprise the electrical tests on the complete cable system as specified in 12.4, and the appropriate non-electrical tests on cable components and completed cable specified in 12.5.

The non-electrical tests on cable components and complete cable are listed in Table 5, indicating which tests are applicable to each insulation and oversheath material. The test under fire conditions is only required if the manufacturer wishes to claim compliance with this test as a special feature of the design of the cable.

The tests listed in 12.4.2 shall be performed on one or more samples of complete cable, depending on the number of accessories involved, at least 10 m in length excluding the accessories.

The minimum length of free cable between accessories shall be 5 m.

The accessories shall be installed after the bending test on the cable. One sample of each accessory type shall be tested.

Cable and accessories shall be assembled in the manner specified by the manufacturer's instructions, with the grade and quantity of materials supplied, including lubricants if any.

The external surface of accessories shall be dry and clean, but neither the cables nor the accessories shall be subjected to any form of conditioning not specified in the manufacturer's instructions which might modify the electrical, thermal or mechanical performance.

During tests c) to g) of 12.4.2, it is necessary to test joints with their outer protection fitted. If it can be shown that the outer protection does not influence the performance of the joint insulation, e.g. there are no thermo-mechanical or compatibility effects, the protection need not be fitted.

Measurement of resistivity of semi-conducting screens described in 12.4.9 shall be made on a separate sample.

12.4 Electrical type tests on complete cable systems

12.4.1 Test voltage values

Prior to the electrical type tests, the insulation thickness of the cable shall be measured by the method specified in 8.1 of IEC 60811-1-1:1993 and Amendment 1:2001 on a representative piece of the length to be used for the tests, to check that the average thickness is not excessive compared with the nominal value.

If the average thickness of the insulation does not exceed the nominal value by more than 5 %, the test voltages shall be the values specified in Table 4 for the rated voltage of the cable.

If the average thickness of the insulation exceeds the nominal value by more than 5 % but by not more than 15 %, the test voltage shall be adjusted to give an electrical stress at the conductor screen equal to that applying when the average thickness of the insulation is equal to the nominal value and the test voltages are the normal values specified for the rated voltage of the cable.

The cable length used for the electrical type tests shall not have an average insulation thickness exceeding the nominal value by more than 15 %.

12.4.2 Tests and sequence of tests

The tests in items a) to h) shall be made in the following sequence:

- a) bending test on the cable (see 12.4.3) followed by installation of the accessories and a partial discharge test at ambient temperature (see 12.4.4);
- b) $\tan \delta$ measurement (see 12.4.5);

NOTE 1 This test may be carried out on a different cable sample with special test terminations from that used for the remainder of the sequence of tests.

- c) heating cycle voltage test (see 12.4.6);
- d) partial discharge tests (see 12.4.4);
 - at ambient temperature, and
 - at high temperature.

The tests shall be carried out after the final cycle of item c) above or, alternatively, after the lightning impulse voltage test in item e) below;

- e) lightning impulse voltage test followed by a power frequency voltage test (see 12.4.7);
- f) partial discharge tests, if not previously carried out in item d) above;
- g) tests of outer protection for joints (see Annex G);

NOTE 2 These tests may be applied to a joint which has passed the test in item c), heating cycle voltage test, or to a separate joint which has undergone at least three thermal cycles (see Annex G).

NOTE 3 If the cable and joint are not to be subjected to wet conditions in service (i.e. not directly buried in earth or not intermittently or continuously immersed in water), the tests in Clause G.3 and G.4.2 may be omitted.

- h) examination of the cable system with cable and accessories on completion of the above tests (see 12.4.8);
- i) the resistivity of the cable semi-conducting screens (see 12.4.9) shall be measured on a separate sample.

Test voltages shall be in accordance with the values given in the appropriate column of Table 4.

12.4.3 Bending test

The cable sample shall be bent around a test cylinder (for example, the hub of a drum) at ambient temperature for at least one complete turn and unwound, without axial rotation. The sample shall then be rotated through 180° and the process repeated.

This cycle of operations shall be carried out three times in total.

The diameter of the test cylinder shall not be greater than

- for cables with plain aluminium sheaths:
 - $36(d + D) + 5\%$ for single-core cables;
 - $25(d + D) + 5\%$ for three-core cables;
- for cables with lead, lead-alloy, corrugated metal sheaths or with longitudinally applied metal tape or foils (overlapped or welded) bonded to the oversheath:
 - $25(d + D) + 5\%$ for single-core cables;
 - $20(d + D) + 5\%$ for three-core cables;
- for other cables:
 - $20(d + D) + 5\%$ for single-core cables;
 - $15(d + D) + 5\%$ for three-core cables;

where

d is the nominal diameter of the conductor, in millimetres (see Clause 6, item i));

D is the nominal overall diameter of the cable, in millimetres (see Clause 6, item j)).

NOTE A negative tolerance is not specified, but testing at diameters below the specified values should only be done by agreement with the manufacturer.

12.4.4 Partial discharge tests

The tests shall be performed in accordance with IEC 60885-3, the sensitivity being 5 pC or better.

The test voltage shall be raised gradually to and held at $1,75 U_0$ for 10 s and then slowly reduced to $1,5 U_0$ (see Table 4, column 5).

When performed at high temperature, the test shall be carried out on the assembly at a cable conductor temperature 5 K to 10 K above the maximum cable conductor temperature in normal operation. The conductor temperature shall be maintained within the stated temperature limits for at least 2 h.

The assembly shall be heated by conductor current only, until the cable reaches the required temperature.

NOTE If, for practical reasons, the test temperature cannot be reached, additional thermal insulation may be applied.

There shall be no detectable discharge exceeding the declared sensitivity from the test object at $1,5 U_0$.

12.4.5 Tan δ measurement

The sample shall be heated by conductor current only and the temperature of the conductor determined either by measuring its resistance or by temperature sensors on the surface of the screen/sheath, or by temperature sensors on the conductor of another sample of the same cable heated by the same means.

The sample shall be heated until the conductor reaches a temperature which shall be 5 K to 10 K above the maximum conductor temperature in normal operation.

NOTE If, for practical reasons, the test temperature cannot be reached, additional thermal insulation may be applied.

The tan δ shall then be measured at a power frequency voltage of U_0 at the temperature specified above (see Table 4, column 6).

The measured value shall not exceed the value given in Table 3.

12.4.6 Heating cycle voltage test

The cable shall have a U-bend with a diameter as specified in 12.4.3.

The assembly shall be heated by conductor current only, until the cable conductor reaches a steady temperature 5 K to 10 K above the maximum conductor temperature in normal operation.

NOTE 1 If, for practical reasons, the test temperature cannot be reached, additional thermal insulation may be applied.

The heating shall be applied for at least 8 h. The conductor temperature shall be maintained within the stated temperature limits for at least 2 h of each heating period. This shall be followed by at least 16 h of natural cooling to a conductor temperature less than or equal to 30 °C or within 10 K of ambient temperature, whichever is the higher. The conductor current during the last 2 h of each heating period shall be recorded.

The cycle of heating and cooling shall be carried out 20 times.

During the whole of the test period, a voltage of $2 U_0$ shall be applied to the assembly (see Table 4, column 7).

Interruption of the test is allowed provided 20 complete heating cycles in total under voltage are completed.

NOTE 2 Heating cycles with a conductor temperature higher than 10 K above the maximum conductor temperature in normal operation are considered valid.

12.4.7 Lightning impulse voltage test followed by a power frequency voltage test

The assembly shall be heated by conductor current only, until the cable conductor reaches a steady temperature 5 K to 10 K above the maximum conductor temperature in normal operation.

The conductor temperature shall be maintained within the stated temperature limits for at least 2 h.

NOTE If, for practical reasons, the test temperature cannot be reached, additional thermal insulation may be applied.

The lightning impulse voltage shall be applied according to the procedure given in IEC 60230.

The assembly shall withstand without failure or flashover 10 positive and 10 negative voltage impulses of the appropriate value given in Table 4, column 8.

After the lightning impulse voltage test, the assembly shall be subjected to a power frequency voltage test at $2,5 U_0$ for 15 min (see Table 4, column 9). At the discretion of the manufacturer, this test may be carried out either during the cooling period or at ambient temperature.

No breakdown of the insulation or flashover shall occur.

12.4.8 Examination

12.4.8.1 Cable and accessories

Examination of the cable by dissection of a sample and, whenever possible, of the accessories by dismantling, with normal or corrected vision without magnification, shall reveal no signs of deterioration (e.g. electrical degradation, leakage, corrosion or harmful shrinkage) which could affect the system in service operation.

12.4.8.2 Cables with a longitudinally applied metal tape or foil, bonded to the oversheath

A 1 m sample shall be taken from the cable length and subjected to the tests in 12.5.15.

12.4.9 Resistivity of semi-conducting screens

Measurement of resistivity of the cable semi-conducting screens shall be made on a separate sample.

The resistivity of extruded semi-conducting screens applied over the conductor and over the insulation shall be determined by measurements on test pieces taken from the core of a sample of cable as manufactured, and a sample of cable which has been subjected to the ageing treatment to test the compatibility of component materials specified in 12.5.4.

12.4.9.1 Procedure

The test procedure shall be in accordance with Annex D.

The measurements shall be made at a temperature within ± 2 K of the maximum conductor temperature in normal operation.

12.4.9.2 Requirements

The resistivity, both before and after ageing, shall not exceed the following values:

- conductor screen: 1 000 $\Omega \cdot \text{m}$;
- insulation screen: 500 $\Omega \cdot \text{m}$.

12.5 Non-electrical type tests on cable components and on complete cable

The tests are as follows:

- a) check of cable construction (see 12.5.1);
- b) tests for determining the mechanical properties of insulation before and after ageing (see 12.5.2);
- c) tests for determining the mechanical properties of oversheaths before and after ageing (see 12.5.3);
- d) ageing tests on pieces of complete cable to check compatibility of materials (see 12.5.4);
- e) loss of mass test on PVC oversheaths of type ST₂ (see 12.5.5);
- f) pressure test at high temperature on oversheaths (see 12.5.6);
- g) tests on PVC oversheaths (ST₁, ST₂) at low temperature (see 12.5.7);
- h) heat shock test for PVC oversheaths (ST₁ and ST₂) (see 12.5.8);
- i) ozone resistance test for EPR and HEPR insulations (see 12.5.9);
- j) hot set test for EPR, HEPR and XLPE insulations (see 12.5.10);
- k) measurement of density of HDPE insulation (see 12.5.11);
- l) measurement of carbon black content of black PE oversheaths (ST₃ and ST₇, see 12.5.12);
- m) test under fire conditions (see 12.5.13);
- n) water penetration test (see 12.5.14);
- o) tests on components of cables with a longitudinally applied metal tape or foil, bonded to the oversheath (see 12.5.15);
- p) shrinkage test for PE, HDPE and XLPE insulations (see 12.5.16);
- q) shrinkage test for PE oversheaths (ST₃ and ST₇) (see 12.5.17);
- r) determination of hardness of HEPR insulation (see 12.5.18);
- s) determination of the elastic modulus of HEPR insulation (see 12.5.19).

12.5.1 Check of cable construction

The examination of the conductor and measurements of insulation, oversheath and metal sheath thicknesses shall be carried out in accordance with, and shall comply with, the requirements given in 10.4, 10.6 and 10.7.

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

12.5.2.1 Sampling

Sampling and preparation of test pieces shall be carried out in accordance with 9.1 of IEC 60811-1-1:1993 and Amendment 1:2001.

12.5.2.2 Ageing treatment

The ageing treatment shall be carried out in accordance with 8.1 of IEC 60811-1-2:1985 and Amendment 1:1989 and Amendment 2:2000 under the conditions specified in Table 6.

12.5.2.3 Conditioning and mechanical tests

Conditioning and measurement of mechanical properties shall be carried out in accordance with 9.1 of IEC 60811-1-1:1985.

12.5.2.4 Requirements

The test results for unaged and aged test pieces shall comply with the requirements given in Table 6.

12.5.3 Tests for determining the mechanical properties of oversheaths before and after ageing

12.5.3.1 Sampling

Sampling and preparation of test pieces shall be carried out in accordance with 9.2 of IEC 60811-1-1:1993 and Amendment 1:2001.

12.5.3.2 Ageing treatment

The ageing treatment shall be carried out in accordance with 8.1 of IEC 60811-1-2:1985 and Amendment 1:1989 and Amendment 2:2000 under the conditions given in Table 7.

12.5.3.3 Conditioning and mechanical tests

Conditioning and the measurement of mechanical properties shall be carried out in accordance with 9.2 of IEC 60811-1-1:1993 and Amendment 1:2001.

12.5.3.4 Requirements

The test results for unaged and aged test pieces shall comply with the requirements given in Table 7.

12.5.4 Ageing tests on pieces of complete cable to check compatibility of materials

12.5.4.1 General

The ageing test on pieces of completed cable shall be carried out to check that the insulation, the extruded semi-conducting layers and the oversheath are not liable to deteriorate excessively in operation due to contact with other components in the cable.

The test is applicable to cables of all types.

12.5.4.2 Sampling

Samples for the test on insulation and oversheath shall be taken from the completed cable as described in 8.1.4 of IEC 60811-1-2:1985 and Amendment 1:1989 and Amendment 2:2000.

12.5.4.3 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 60811-1-2:1985 and Amendment 1:1989 and Amendment 2:2000, under the following conditions:

- temperature: (10 ± 2) K above the maximum conductor temperature of the cable in normal operation (see Table 1);
- duration: 7×24 h.

12.5.4.4 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 60811-1-2:1985 and Amendment 1:1989 and Amendment 2:2000.

12.5.4.5 Requirements

The variations between the median values of tensile strength and elongation at break after ageing and the corresponding values obtained without ageing (see 12.5.2 and 12.5.3) shall not exceed the values applying to the test after ageing in an air oven given in Table 6 for insulations and in Table 7 for oversheaths.

12.5.5 Loss of mass test on PVC oversheaths of type ST₂

12.5.5.1 Procedure

The loss of mass test for ST₂ oversheaths shall be carried out as described in 8.2 of IEC 60811-3-2:1985 and Amendment 1:1993 and Amendment 2:2003 under the conditions given in Table 9.

12.5.5.2 Requirements

The results shall comply with the requirements given in Table 9.

12.5.6 Pressure test at high temperature on oversheaths

12.5.6.1 Procedure

The pressure test at high temperature for ST₁, ST₂ and ST₇ oversheaths shall be carried out as described in 8.2 of IEC 60811-3-1:1985 and Amendment 1:1994 and Amendment 2:2001, employing the test conditions given in the test method and in Table 7.

12.5.6.2 Requirements

The results shall comply with the requirements given in 8.2 of IEC 60811-3-1:1985 and Amendment 1:1994 and Amendment 2:2001.

12.5.7 Test on PVC oversheaths (ST₁, ST₂) at low temperature

12.5.7.1 Procedure

The test at low temperature for ST₁ and ST₂ oversheaths shall be carried out as described in Clause 8 of IEC 60811-1-4:1985 and Amendment 1:1993 and Amendment 2:2001, employing the test temperature given in Table 9.

12.5.7.2 Requirements

The results of the test shall comply with the requirements given in Clause 8 of IEC 60811-1-4:1985 and Amendment 1:1993 and Amendment 2:2001.

12.5.8 Heat shock test for PVC oversheaths (ST₁ and ST₂)

12.5.8.1 Procedure

The heat shock test on ST₁ and ST₂ oversheaths shall be carried out as described in 9.2 of IEC 60811-3-1:1985 and Amendment 1:1994 and Amendment 2:2001, the test temperature and duration being in accordance with Table 9.

12.5.8.2 Requirements

The results of the test shall comply with the requirements given in 9.2 of IEC 60811-3-1:1985 and Amendment 1:1994 and Amendment 2:2001.

12.5.9 Ozone resistance test for EPR and HEPR insulations

12.5.9.1 Procedure

EPR and HEPR insulations shall be tested for resistance to ozone using the sampling and test procedure described in Clause 8 of IEC 60811-2-1:1998 and Amendment 1:2001. The ozone concentration and test duration shall be in accordance with Table 8.

12.5.9.2 Requirements

The results of the test shall comply with the requirements given in Clause 8 of IEC 60811-2-1:1998 and Amendment 1:2001.

12.5.10 Hot set test for EPR, HEPR and XLPE insulations

EPR, HEPR and XLPE insulations shall be subjected to the hot set test described in 10.9 and shall comply with its requirements.

12.5.11 Measurement of density of HDPE insulation

The density of HDPE insulation shall be measured in accordance with 10.11 and shall comply with its requirements.

12.5.12 Measurement of carbon black content of black PE oversheaths (ST₃ and ST₇)

12.5.12.1 Procedure

The carbon black content of ST₃ and ST₇ oversheaths shall be measured using the sampling and test procedure described in Clause 11 of IEC 60811-4-1:2004.

12.5.12.2 Requirements

The nominal value of the carbon black content shall be $(2,5 \pm 0,5) \%$.

NOTE Lower values are allowed for special application not exposed to UV.

12.5.13 Test under fire conditions

The test under fire condition in accordance with IEC 60332-1-2 shall be carried out on a sample of completed cable, if the manufacturer wishes to claim that the particular design of cable complies with the requirements.

The results shall comply with the requirements given in IEC 60332-1-2.

12.5.14 Water penetration test

The water penetration test shall be applied to those designs of cable where barriers to longitudinal water penetration have been included as declared in Clause 6, item c) and Clause 6, item f). The test is designed to meet the requirements for buried cables and is not intended to apply to cables which are constructed for use as submarine cables.

The apparatus, sampling, test procedure and requirements shall be in accordance with Annex E.

12.5.15 Tests on components of cables with a longitudinally applied metal tape or foil, bonded to the oversheath

The sample shall be subjected to the following tests:

- a) visual examination (see Clause F.1);
- b) adhesion strength of metal foil (see Clause F.2);
- c) peel strength of overlapped metal foil (see Clause F.3).

The apparatus, test procedure and requirements shall be in accordance with Annex F.

12.5.16 Shrinkage test for PE, HDPE and XLPE insulations

12.5.16.1 Procedure

The shrinkage test shall be carried out on insulations of PE, HDPE or XLPE using the sampling and test procedure described in Clause 10 of IEC 60811-1-3:1993 and Amendment 1:2001 and the conditions specified in Table 8.

12.5.16.2 Requirements

The results of the test shall comply with the requirements given in Table 8.

12.5.17 Shrinkage test for PE oversheaths (ST₃ and ST₇)

12.5.17.1 Procedure

The shrinkage test shall be carried out on PE oversheaths of ST₃ and ST₇ using the sampling and test procedure described in Clause 11 of IEC 60811-1-3:1993 and Amendment 1:2001 and the conditions specified in Table 7.

12.5.17.2 Requirements

The results of the test shall comply with the requirements given in Table 7.

12.5.18 Determination of hardness of HEPR insulation

12.5.18.1 Procedure

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

12.5.18.2 Requirements

The results of the test shall comply with Table 8.

12.5.19 Determination of the elastic modulus of HEPR insulation

12.5.19.1 Procedure

Sampling, preparation of the test pieces and the test procedure shall be carried out in accordance with Clause 9 of IEC 60811-1-1:1993 and Amendment 1:2001.

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 modulus at 150 % elongation.

The elastic modulus shall be the median value.

12.5.19.2 Requirements

The results of the test shall comply with the requirements of Table 8.

13 Prequalification test of the cable system

13.1 General and range of prequalification test approval

When a prequalification test has been successfully performed on a cable system, it qualifies the manufacturer as a supplier of cable systems of the same family with the same or lower voltage ratings, as long as the calculated nominal electrical stresses at the cable insulation screen are equal to or lower than for the tested cable system.

The prequalification test shall be performed on cable systems where the calculated nominal electrical stresses at the conductor screen will be higher than 8,0 kV/mm and/or at the insulation screen higher than 4,0 kV/mm. The prequalification test shall be performed except:

- if cable systems with the same construction and accessories of the same family have been prequalified for a higher rated voltage;
- or if the manufacturer can demonstrate good service experience with cable systems with equal or higher calculated electrical stresses on the conductor and insulation screens, in the main insulation part(s) and in boundaries of the accessories and of accessories of the same family;
- or if the manufacturer has fulfilled the requirements of an equivalent long term test following a national or customer specification on cable systems with the same construction and accessories of the same family.

When a prequalified cable system is changed by exchanging a cable and/or accessory with another one that is already prequalified in another cable system with the same or higher calculated nominal electrical stresses at the insulation screen of the subjected system, the current prequalification shall be extended with this or another cable and/or accessory when the requirements of 13.3 are all met.

When a prequalified cable system is changed by using another cable and/or accessory that is not part of a prequalified cable system, or is already prequalified in another cable system with lower calculated nominal electrical stresses at the insulation screen of the subjected system, the prequalification test on this new complete cable system shall be performed by meeting all requirements of 13.2.

A list of prequalification tests as well as extension of prequalification tests is given in Annex C.

NOTE 1 The prequalification test need only be carried out once unless there is substantial change in the cable system with respect to material, manufacturing process, design or design electrical stress levels.

NOTE 2 A substantial change is defined as that which might adversely affect the performance of the cable system. The supplier should provide a detailed case, including test evidence, if modifications are introduced, which are claimed no to constitute a substantial change.

NOTE 3 It is recommended to carry out a prequalification test using a cable of a large conductor cross-section in order to cover thermo-mechanical aspects.

A prequalification test certificate signed by the representative of a competent witnessing body, or a report by the manufacturer giving the test results and signed by the appropriate qualified officer, or a prequalification test certificate issued by an independent test laboratory shall be acceptable as evidence of prequalification testing.

13.2 Prequalification test on complete system

13.2.1 Summary of prequalification tests

The prequalification test shall comprise the electrical tests on the complete cable system with a minimum of 20 m of full sized cable including at least one of each type of accessory. The minimum length of free cable between accessories shall be 10 m. The sequence of tests shall be as follows:

- a) heating cycle voltage test (see 13.2.4);
- b) lightning impulse voltage test (see 13.2.5);
- c) examination of the cable system after completion of the tests above (see 13.2.6).

It could be the case that one or more of the accessories do not fulfil all the requirements of the prequalification tests in 13.2. After repair of the test assembly the prequalification tests may be continued on the remaining cable system (cable with the remaining accessories). If all the requirements of the tests in 13.2 are met by this remaining cable system, this remaining system is prequalified. The accessory or accessories that did not fulfil the requirements are excluded from this prequalification. However, the test may be continued for prequalification of the cable with the replaced accessory until all requirements of 13.2 are met. If the manufacturer decides to include the repaired accessory in the cable system prequalification, the beginning of the prequalification test of the complete system is considered to start after the repair.

13.2.2 Test voltage values

Prior to the prequalification test of the cable system, the insulation thickness of the cable shall be measured and the test voltage values adjusted, if necessary, as stated in 12.4.1.

13.2.3 Test arrangement

Cable and accessories shall be assembled in the manner specified by the manufacturer's instructions, with the grade and quantity of materials supplied, including lubricants, if any.

The test may be performed in a laboratory and not necessarily in a situation simulating the real installation conditions.

If a joint is designed for use both in flexible and rigid installations, one joint shall be installed a flexible configuration and another in a rigid configuration, see Figure 1. If the joint is designed only for use in rigid installations, the joint shall be installed rigidly fixed at both sides. If a joint is designed only for flexible installations, the joint shall be installed in a flexible configuration at both sides.

The test loop shall have a U-bend with a diameter specified in 12.4.3.

NOTE The example in Figure 1 is easier to realize than a full simulation of practical laying conditions. Thermo-mechanical aspects of the design will not be tested with this test set-up.

In special cases where thermo-mechanical aspects have to be considered, special test arrangements representative of installation design conditions should be considered. Ambient conditions may vary between installations and during the test and are not considered to have any major influence.

As an outdoor test facility may be used, the commonly specified limits on ambient temperature (20 ± 15) °C do not apply.

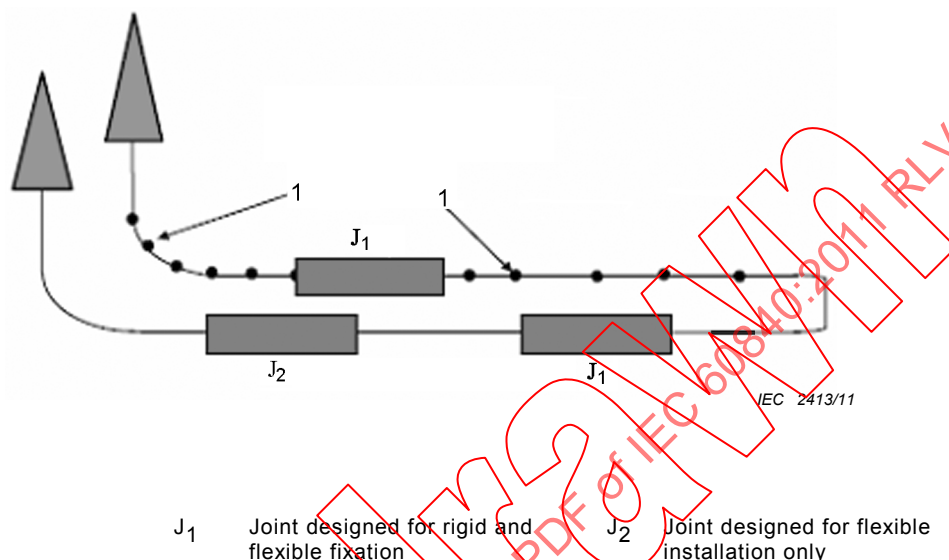


Figure 1 – Example of the test arrangement for the prequalification test

13.2.4 Heating cycle voltage test

The assembly shall be heated by conductor current only, until the cable reaches a temperature 0 K to 5 K above the maximum conductor temperature in normal operation. Variable ambient conditions may require adjustment of the conductor current during the test.

The heating arrangements shall be selected so that the cable conductor attains the temperature specified above, remote from the accessories. The surface temperature of the cable shall be recorded for information.

The heating shall be applied for at least 8 h. The conductor temperature shall be maintained within the stated temperature limits for at least 2 h of each heating period. This shall be followed by at least 16 h of natural cooling to a conductor temperature of less than or equal to 30 °C or within 10 K of ambient temperature, whichever is the higher.

NOTE 1 If, for practical reasons, the test temperature cannot be reached, additional thermal insulation may be applied.

The cycle of heating and cooling shall be carried out 180 times. During the whole of the test period, a voltage of $1,7 U_0$ shall be applied to the assembly.

No breakdown shall occur.

NOTE 2 Partial discharge measurements are recommended to provide an early warning of possible degradation and to enable the possibility of a repair before failure.

NOTE 3 Some cycles where the duration at the hot and/or cold temperature does not fully meet the requirement, are permissible, with a maximum of 10.

NOTE 4 The total number of cycles shall be carried out irrespective of eventual interruptions.

NOTE 5 Heating cycles with a conductor temperature higher than 5 K above the maximum conductor temperature in normal operation are considered valid.

13.2.5 Lightning impulse voltage test

The test shall be performed on one or more cable samples, with a minimum of total active length of 10 m, cut from the assembly, with the cable conductor temperature 0 K to 5 K above the maximum conductor temperature in normal operation. The conductor temperature shall be maintained within the stated temperature limits for at least 2 h.

NOTE 1 As an alternative, the test may be carried out on the whole assembly.

NOTE 2 If, for practical reasons, the test temperature cannot be reached, additional thermal insulation may be applied.

The impulse voltage shall be applied according to the procedure given in IEC 60230.

The test assembly shall withstand without failure 10 positive and 10 negative voltage impulses of the appropriate value given in Table 4, column 8.

13.2.6 Examination

The examination of the cable system (cable and accessories) and the requirements shall be as stated in 12.4.8.

13.3 Tests for the extension of the prequalification of a cable system

13.3.1 Summary of the extension of prequalification test

The extension of prequalification tests shall comprise the electrical part of the tests on the complete cable system as specified in 13.3.2 and the non-electrical tests on the cable as specified in 12.5.

13.3.2 Electrical part of the extension of prequalification tests on complete cable system

13.3.2.1 General

The tests listed in 13.3.2.3 shall be performed on one or more samples of complete cable of the already prequalified cable system, depending on the number of accessories involved. The sample of the cable system shall contain at least one accessory of each type that need the extension of the prequalification. The test may be performed in a laboratory and not necessarily in a situation simulating the real installation conditions.

The minimum length of cable between accessories shall be 5 m. The minimum total cable length shall be 20 m.

Cable and accessories shall be assembled in the manner specified by the manufacturer's instructions, with the grade and quantity of materials supplied, including lubricants, if any.

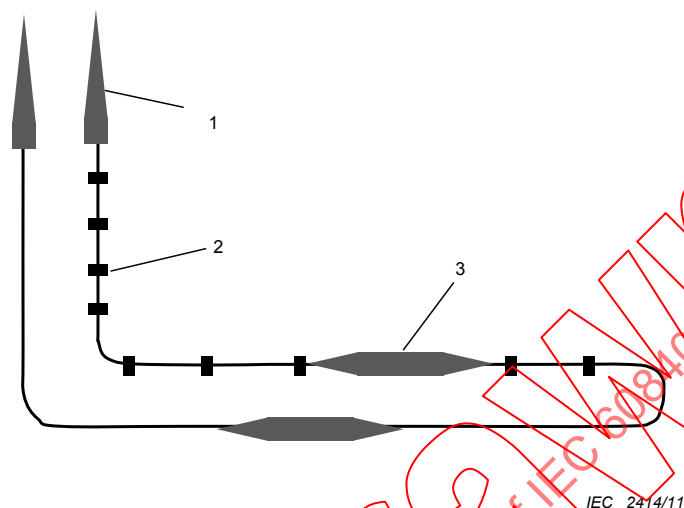
If the prequalification of a joint is to be extended for use both in flexible and in rigid installations, one joint shall be installed in a flexible configuration and the other one in a rigid configuration, see Figure 2.

If the cable is part of the extension of prequalification, the test loop shall have a U-bend with a diameter specified in 12.4.3.

With the exception of the provisions of 13.3.2.2, all the tests listed in 13.3.2.3 shall be applied successively to the same sample. The accessories shall be installed after the bending test on the cable.

Measurement of the resistivity of semi-conducting screens described in 12.4.9 shall be made on a separate sample.

Measurement of the resistivity of semi-conducting screens is not required if the extension of the prequalification is only for accessories.



Key

- 1 termination
- 2 cleat
- 3 joint

Figure 2 – Example of extension of prequalification test arrangement for the prequalification of a system with another joint, designed for rigid as well as flexible installation

13.3.2.2 Test voltage values

Prior to the electrical extension of prequalification tests, the insulation thickness of the cable shall be measured and the test voltage values adjusted, if necessary, as stated in 12.4.1.

13.3.2.3 Sequence of the electrical part of the extension of prequalification tests

The normal sequence of the electrical part of the extension of prequalification tests shall be as follows:

- a) bending test (see 12.4.3) without final partial discharge test (see 12.4.4) followed by installation of the accessories that are part of the tests for the extension of the prequalification;
- b) a partial discharge test (see 12.4.4) is applied after the bending test and the installation of the accessories to check the quality of the installed accessories;
- c) heating cycle test without voltage (see 13.3.2.4);
- d) $\tan \delta$ measurement (see 12.4.5);

NOTE 1 This test may be carried out on a different cable sample with special test terminations from that used for the remainder of the sequence of tests.

- e) heating cycle voltage test (see 12.4.6);
- f) partial discharge test (see 12.4.4) at ambient temperature and at high temperature. This test shall be carried out after the final cycle of item e) above or, alternatively, after the lightning impulse voltage test in item g) below;
- g) lightning impulse voltage test followed by a power frequency voltage test (see 12.4.7);

- h) partial discharge tests, if not previously carried out in item e) above;
- i) tests of outer protection for joints (see Annex G);

NOTE 2 These tests may be applied to a joint which has passed the test in item c), heating cycle voltage test, or to a separate joint which has passed at least three thermal cycles (see Annex G).

NOTE 3 If the cable and joint are not to be subjected to wet conditions in service (i.e. not directly buried in earth or not intermittently or continuously immersed in water), the tests in Clause G.3 and G.4.2 may be omitted.

- j) examination of the cable system with cable and accessories shall be carried out after completion of the tests above (see 12.4.8);
- k) the resistivity of semi-conducting screens (see 12.4.9) shall be measured on a separate sample.

The test voltage values shall be in accordance with the values given in the appropriate column of Table 4 with the eventual adjustments of 13.3.2.2.

13.3.2.4 Heating cycle test without voltage

The assembly shall be heated by conductor current only, until the cable conductor reaches a temperature 0 K to 5 K above the maximum conductor temperature in normal operation.

The heating shall be applied for at least 8 h. The conductor temperature shall be maintained within the stated temperature limits for at least 2 h of each heating period. This shall be followed by at least 16 h of natural cooling to a conductor temperature less than or equal to 30 °C or within 10 K of ambient temperature, whichever is the higher. The conductor current during the last 2 h of each heating period shall be recorded.

The cycle of heating and cooling shall be carried out 60 times.

NOTE Heating cycles with a conductor temperature higher than 5 K above the maximum conductor temperature in normal operation are considered valid.

14 Type tests on cables

14.1 General

The tests specified in this clause are intended to demonstrate the satisfactory performance of cables alone.

This test procedure shall be performed on cables where the calculated nominal electrical stress at the conductor screen is not higher than 8,0 kV/mm and at the insulation screen not higher than 4,0 kV/mm. In other cases the type tests on the cable system according to Clause 12 shall apply.

A list of type tests on cables is given in Annex C.

14.2 Range of type approval

When type tests have been successfully performed on one or more cables of specific cross-section(s), and of the same rated voltage and construction, the type approval shall be considered as valid for cables within the scope of this standard with other cross-sections, rated voltages and constructions provided that all the conditions of a) to e) are met.

NOTE 1 Type tests which have been successfully performed according to the previous edition of this standard are valid.

- a) The voltage group is not higher than that of the tested cable(s).

NOTE 2 In this context, cables of the same rated voltage group are those of rated voltages having a common value of U_m , highest voltage for equipment, and the same test voltage levels (see Table 4, columns 1 and 2).

- b) The conductor cross-section is not larger than that of the tested cable.
- c) The cable has the same or similar construction to that of the tested cable(s).

NOTE 3 Cables of similar construction are those of the same type and manufacturing process of insulation and semi-conducting screens. Repetition of the electrical type tests is not necessary on account of the differences in the conductor type or material or of the protective layers applied over the screened cores, unless these are likely to have a significant effect on the results of the test. In some instances, it may be appropriate to repeat one or more of the type tests (e.g. bending test, heating cycle test and/or compatibility test).

- d) The calculated nominal electrical stress at the cable conductor screen does not exceed the nominal electrical stress at the conductor screen of the tested cable(s) by more than 10 %.
- e) The calculated nominal electrical stress at the cable insulation screen does not exceed the nominal electrical stress at the insulation screen of the tested cable(s).

The type tests on cable components (see 12.5) only need to be carried out on samples from cables of different voltage ratings and/or conductor cross-sectional areas if different materials and/or different manufacturing processes have been used to produce them. However, repetition of the ageing tests on pieces of completed cable to check compatibility of materials (see 12.5.4) may be required if the combination of materials applied over the screened core is different from that of the cable on which type tests have been carried out previously.

A type test certificate signed by the representative of a competent witnessing body, or a report by the manufacturer giving the test results and signed by the appropriate qualified officer, or a type test certificate issued by an independent test laboratory shall be acceptable as evidence of type testing.

14.3 Summary of type tests

The type tests shall comprise the electrical tests on the completed cable as specified in 12.4.1, and 14.4 and the appropriate non-electrical tests on cable components and completed cable specified in 12.5.

The non-electrical tests on cable components and completed cable are summarized in Table 5, indicating which tests are applicable to each insulation and oversheath material. The tests under fire conditions are only if the manufacturer wishes to claim compliance with this test as a special feature of the design of the cable

14.4 Electrical type tests on completed cables

The tests a) to f) shall be performed in sequence on a sample of completed cable at least 10 m in length excluding the test accessories:

- a) bending test (see 12.4.3) followed by installation of the test terminations and a partial discharge test (see 12.4.4);
- b) $\tan \delta$ measurement (see 12.4.5);

NOTE This test may be carried out on a different sample from that used for the remainder of the sequence of tests.

- c) heating cycle voltage test (see 12.4.6), followed by partial discharge measurement at ambient temperature (see 12.4.4), which shall be carried out after the final cycle or, alternatively, after the lightning impulse voltage test (see item d) below);
- d) lightning impulse voltage test followed by a power frequency voltage test (see 12.4.7);
- e) partial discharge test at ambient temperature (see 12.4.4), if not previously carried out in c) above;
- f) examination of the cable on completion of the above tests (see 12.4.8);

- g) the resistivity of semi-conducting screens (see 12.4.9) shall be measured on a separate sample.

Test voltages shall be in accordance with the values given in the appropriate column of Table 4.

15 Type tests on accessories

15.1 General

The tests specified in this clause are intended to demonstrate the satisfactory performance of accessories alone.

This test procedure shall be performed on accessories for cables where the calculated nominal electrical stress at the conductor screen is not higher than 8,0 kV/mm and at the insulation screen not higher than 4,0 kV/mm. In other cases the type tests on the cable system according to Clause 12 shall apply.

A list of type tests on accessories is given in Annex C.

NOTE Tests on terminations referring to environmental conditions are not specified in this standard.

15.2 Range of type approval

When type tests have been successfully performed on one or more accessories with one or more cable(s) of specific cross-section(s), and of the same rated voltage and construction, the type approval shall be considered as valid for accessories within the scope of this standard with other rated voltages, constructions and with other cables, provided that all the conditions of a) to d) are met.

NOTE 1 Type tests which have been successfully performed according to the previous edition of this standard are valid.

- a) The voltage group is not higher than that of the tested accessory(ies).

NOTE 2 In this context, accessories of the same rated voltage group are those of rated voltages having a common value of U_m , highest voltage for equipment, and the same test voltage levels (see Table 4, columns 1 and 2).

- b) The cable with another conductor cross-section, rated voltage and construction is within the range of type approval as stated in 14.2. When the calculated nominal electrical stress at the cable insulation screen does not exceed 2,5 kV/mm, the type approval shall be considered as valid for accessories on all cables in this range.

- c) Accessories have the same or a similar construction as that of the tested accessory(ies).

NOTE 3 Accessories of similar construction are those of the same type and manufacturing process of insulation and semi-conducting screens. Repetition of the electrical type tests is not necessary on account of the differences in the connector type or material or of the protective layers applied over the main insulation part of the accessory, unless these are likely to have a significant effect on the results of the test. In some instances, it may be appropriate to repeat one or more of the type tests (e.g. partial discharge test).

- d) The calculated nominal electrical stresses within the main insulation parts of the accessory and at the cable and accessory interfaces do not exceed those of the tested accessory(ies).

A type test certificate signed by the representative of a competent witnessing body, or a report by the manufacturer giving the test results and signed by the appropriate qualified officer, or a type test certificate issued by an independent test laboratory, shall be acceptable as evidence of type testing.

15.3 Summary of type tests

Accessories shall comply with the tests specified in 15.4.1 and 15.4.2.

The minimum length of free cable between accessories shall be 5 m.

One sample of each accessory type shall be tested.

The accessories shall be installed before the first partial discharge test.

The accessories shall be assembled on the cable in the manner specified by the manufacturer's instructions, with the grade and quantity of materials supplied, including lubricants, if any.

The external surface of accessories shall be dry and clean, but neither the cables nor the accessories shall be subjected to any form of conditioning not specified in the manufacturer's instructions which might modify the electrical, thermal or mechanical performance.

During tests a) to e) of 15.4.2, it is necessary to test joints with their outer protection fitted. If it can be shown that the outer protection does not influence the performance of the joint insulation, e.g. there are no thermo-mechanical or compatibility effects, the protection need not be fitted.

15.4 Electrical type tests on accessories

15.4.1 Test voltage values

Prior to the electrical type tests of the accessories, the insulation thickness of the cable used shall be measured and the test voltage values adjusted, if necessary, as stated in 12.4.1.

15.4.2 Tests and sequence of tests

Accessories shall be subjected to the following sequence:

- a) partial discharge test at ambient temperature (see 12.4.4);
- b) heating cycle voltage test (see 12.4.6);
NOTE 1 The cable may have a U-bend with the diameter as specified in 12.4.3.
- c) partial discharge tests (see 12.4.4);
 - at ambient temperature, and
 - at high temperature;

The tests shall be carried out after the final cycle of item b) above or, alternatively, after the lightning impulse voltage test in item d) below.

- d) lightning impulse voltage test followed by a power frequency voltage test (see 12.4.7);
- e) partial discharge tests, if not previously carried out in item c) above;
- f) tests of outer protection for joints (see Annex G);

NOTE 2 These tests may be applied to a joint which has passed the test in item b), heating cycle voltage test, or to a separate joint which has passed at least three thermal cycles (see Annex G).

NOTE 3 If the joint is not to be subjected to wet conditions in service (i.e. not directly buried in earth or not intermittently or continuously immersed in water), the tests in item f) may be omitted.

- g) examination of the accessories after completion of the above tests (see 12.4.8.1).

Test voltages shall be in accordance with the values given in the appropriate column of Table 4.

16 Electrical tests after installation

16.1 General

Tests on new installations are carried out when the installation of the cable system has been completed.

A d.c. oversheath test according to 16.2 and/or an a.c. insulation test according to 16.3 is recommended.

For installations where only the oversheath test according to 16.2 is carried out, quality assurance procedures during installation of accessories may, by agreement between the purchaser and contractor, replace the insulation test according to 16.3.

16.2 DC voltage test of the oversheath

The voltage level and duration specified in Clause 5 of IEC 60229:2007 shall be applied between each metal sheath or metal screen and the ground.

For the test to be effective, it is necessary that the ground makes good contact with all of the outer surface of the oversheath. A conductive layer on the oversheath can assist in this respect.

16.3 AC voltage test of the insulation

The a.c. test voltage to be applied shall be subject to agreement between the purchaser and the contractor. The waveform shall be substantially sinusoidal and the frequency shall be between 20 Hz and 300 Hz. A voltage according to Table 4, column 10, shall be applied for 1 h.

Alternatively, a voltage of U_0 may be applied for 24 h.

NOTE For installations which have been in use, lower voltages than given in Table 4, column 10 and/or shorter durations may be used. Values should be negotiated, taking into account the age, environment, history of breakdowns and the purpose of carrying out the test.

Table 1 – Insulating compounds for cables

Insulating compound	Maximum conductor temperature °C	
	Normal operation	Short-circuit (maximum duration 5 s)
Low density thermoplastic polyethylene (PE)	70	130 ^a
High density thermoplastic polyethylene (HDPE)	80	160 ^a
Cross-linked polyethylene (XLPE)	90	250
Ethylene-propylene rubber (EPR)	90	250
High modulus or hard grade ethylene-propylene rubber (HEPR)	90	250

^a For PE and HDPE, short-circuit temperatures up to 20 °C in excess of those shown may be acceptable with suitable semi-conducting layers over the conductor and the insulation and by agreement between manufacturer and purchaser.

Table 2 – Oversheathing compounds for cables

Oversheathing compound	Abbreviated designation	Maximum conductor temperature in normal operation °C
Polyvinyl chloride (PVC)	ST ₁	80
	ST ₂	90
Polyethylene (PE)	ST ₃	80
	ST ₇	90

Table 3 – Tan δ requirements for insulating compounds for cables

Designation of compound (see 4.2)	PE	HDPE	EPR/ HEPR	XLPE
Maximum tan δ	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴	50	10 ^a

^a For cables produced with an XLPE compound containing special additives, the maximum tan δ is 50 × 10⁻⁴.

Table 4 – Test voltages

1	2	3	4 ^a	5 ^a	6 ^a	7 ^a	8 ^a	9 ^a	10 ^b
Rated voltage	Highest voltage for equipment	Value of U_0 for determination of test voltages	Voltage test of 9.3	Partial discharge test of 9.2 and 12.4.4	Tan δ measurement of 12.4.5	Heating cycle voltage test of 12.4.6	Lightning impulse voltage test of 10.12, 12.4.7 and 13.2.5	Voltage test of 12.4.7	Voltage test after installation of 16.3
U	U_m	U_0	$2,5 U_0$	$1,5 U_0$	U_0	$2 U_0$		$2,5 U_0$	
kV	kV	kV	kV	kV	kV	kV	kV	kV	kV
45 to 47	52	26	65	39	26	52	250	65	52
60 to 69	72,5	36	90	54	36	72	325	90	72
110 to 115	123	64	160	96	64	128	550	160	128
132 to 138	145	76	190	114	76	152	650	190	132
150 to 161	170	87	218	131	87	174	750	218	150

^a If necessary, these test voltages shall be adjusted as stated in 12.4.1.

^b If necessary these test voltages shall be adjusted as stated in 16.3.

Table 5 – Non-electrical type tests for insulating and oversheathing compounds for cables

	Insulation					Oversheath			
Designation of compound (see 4.2 and 4.4)	PE	HDPE	EPR	HEPR	XLPE	ST ₁	ST ₂	ST ₃	ST ₇
Checks on construction Water penetration test ^a	Applicable irrespective of insulation and oversheathing materials								
Mechanical properties (Tensile strength and elongation at break)									
a) Without ageing	x	x	x	x	x	x	x	x	x
b) After ageing in air oven	x	x	x	x	x	x	x	x	x
c) After ageing in air bomb	—	—	x	x	—	—	—	—	—
d) After ageing of the completed cable (compatibility test)	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Pressure test at high temperature	—	—	—	—	—	x	x	—	x
Behaviour at low temperature									
a) Cold elongation test	—	—	—	—	—	x	x	—	—
b) Cold impact test	—	—	—	—	—	x	x	—	—
Loss of mass in air oven	—	—	—	—	—	—	x	—	—
Heat shock test	—	—	—	—	—	x	x	—	—
Ozone resistance test	—	—	x	x	—	—	—	—	—
Hot set test	—	—	x	x	x	—	—	—	—
Measurement of density	—	x	—	—	—	—	—	—	—
Carbon black content ^b	—	—	—	—	—	—	—	x	x
Shrinkage test	x	x	—	—	x	—	—	x	x
Determination of hardness	—	—	—	x	—	—	—	—	—
Determination of elastic modulus	—	—	—	x	—	—	—	—	—

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

^a To be applied to those designs of cable where the manufacturer claims that barriers to longitudinal water penetration have been included.

^b For black oversheaths only.

Table 6 – Test requirements for mechanical characteristics of insulating compounds for cables (before and after ageing)

Designation of compound (see 4.2)	Unit	PE	HDPE	XLPE	EPR	HEPR
Maximum conductor temperature in normal operation	°C	70	80	90	90	90
<i>Without ageing</i> (9.1 of IEC 60811-1-1) ^a						
Minimum tensile strength	N/mm ²	10,0	12,5	12,5	4,2	8,5
Minimum elongation at break	%	300	350	200	200	200
<i>After ageing in air oven</i> (8.1 of IEC 60811-1-2) ^a						
Treatment: temperature	°C	100	110	135	135	135
tolerance	K	±2	±2	±3	±3	±3
duration	h	240	240	168	168	168
Tensile strength:						
a) minimum value after ageing	N/mm ²	–	–	–	–	–
b) maximum variation ^b	%	–	–	±25	±30	±30
Elongation at break:						
a) minimum value after ageing	%	300	350	–	–	–
b) maximum variation ^b	%	–	–	±25	±30	±30
<i>After ageing in air bomb at (55 ± 2) N/cm²</i> (8.2 of IEC 60811-1-2) ^a						
Treatment: temperature	°C	–	–	–	127	127
tolerance	K	–	–	–	±1	±1
duration	h	–	–	–	40	40
Maximum variation ^b of:						
a) tensile strength	%	–	–	–	±30	±30
b) elongation at break	%	–	–	–	±30	±30

^a All documents cited in this table refer to the dated editions that are listed in the normative references clause.

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

**Table 7 – Test requirements mechanical characteristics of
oversheathing compounds for cables (before and after ageing)**

Designation of compound (see 4.4)	Unit	ST ₁	ST ₂	ST ₃	ST ₇
<i>Without ageing</i> (9.2 of IEC 60811-1-1) ^a					
Minimum tensile strength	N/mm ²	12,5	12,5	10,0	12,5
Minimum elongation at break	%	150	150	300	300
<i>After ageing in air oven</i> (8.1 of IEC 60811-1-2) ^a					
Treatment: temperature	°C	100	100	100	110
tolerance	K	±2	±2	±2	±2
duration	h	168	168	240	240
Tensile strength:					
a) minimum value after ageing	N/mm ²	12,5	12,5	–	–
b) maximum variation ^b	%	±25	±25	–	–
Elongation at break:					
a) minimum value after ageing	%	150	150	300	300
b) maximum variation ^b	%	±25	±25	–	–
<i>Pressure test at high temperature</i> (8.2 of IEC 60811-3-1) ^a					
Test temperature	°C	80	90	–	110
Tolerance	K	±2	±2	–	±2
<i>Shrinkage test</i> (Clause 11 of IEC 60811-1-3) ^a					
Test temperature	°C	–	–	80	80
Tolerance	K	–	–	±2	±2
Duration	h	–	–	5	5
Number of heating cycles		–	–	5	5
Maximum shrinkage allowed	%	–	–	3,0	3,0
^a All documents cited in this table refer to the dated editions that are listed in the normative references clause.					
^b Variation: difference between the median value obtained after treatment and the median value obtained without treatment, expressed as a percentage of the latter.					

Table 8 – Test requirements for particular characteristics of insulating compounds for cables

Designation of compound (see 4.2)	Unit	PE	HDPE	XLPE	EPR	HEPR
<i>Ozone resistance test</i> (Clause 8 of IEC 60811-2-1) ^a						
Ozone concentration (by volume)	%	–	–	–	0,025 to 0,030	0,025 to 0,030
Test duration without cracks	h	–	–	–	24	24
<i>Hot set test</i> (Clause 9 of IEC 60811-2-1) ^a						
Treatment: air temperature	°C	–	–	200	250	250
tolerance	K	–	–	±3	±3	±3
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
<i>Shrinkage test</i> (Clause 10 of IEC 60811-1-3) ^a						
Distance <i>L</i> between marks	mm	200	200	200	–	–
Temperature	°C	100	115	130	–	–
Tolerance	K	±2	±2	±3	–	–
Duration	h	6	6	6	–	–
Maximum permissible shrinkage	%	4,5	4,5	4,5	–	–
<i>Density</i> (Clause 8 of IEC 60811-1-3) ^a						
Minimum density	g/cm ³	–	0,94	–	–	–
<i>Determination of hardness</i> (see Annex H)						
IRHD ^b , minimum		–	–	–	–	80
<i>Determination of elastic modulus</i> (see 12.5.15)						
Modulus at 150 % elongation, minimum	N/mm ²	–	–	–	–	4,5

^a All documents cited in this table refer to the dated editions that are listed in the normative references clause.

^b IRHD: international rubber hardness degree.

Table 9 – Test requirements for particular characteristics of PVC oversheathing for cables

Designation of compound (see 4.4)	Unit	ST ₁	ST ₂
<i>Loss of mass in air oven</i> (8.2 of IEC 60811-3-2) ^a			
Treatment: temperature	°C	–	100
tolerance	K	–	±2
duration	h	–	168
Maximum permissible loss of mass	mg/cm ²	–	1,5
<i>Behaviour at low temperature^b</i> (Clause 8 of IEC 60811-1-4) ^a			
Tests to be carried out without previous ageing:			
a) Cold elongation test on dumb-bells			
Test temperature	°C	–15	–15
Tolerance	K	±2	±2
b) Cold impact test			
Test temperature	°C	–15	–15
Tolerance	K	±2	±2
<i>Heat shock test</i> (9.2 of IEC 60811-3-1) ^a			
Treatment: test temperature	°C	150	150
tolerance	K	±3	±3
test duration	h	1	1
^a All documents cited in this table refer to the dated editions that are listed in the normative references clause.			
^b Due to climatic conditions, national standards may require the use of a lower test temperature.			

Annex A (informative)

Determination of the cable conductor temperature

A.1 Purpose

For some tests, it is necessary to raise the cable conductor to a given temperature, typically 5 K to 10 K above the maximum temperature in normal operation, while the cable is energized, either at power frequency or under impulse conditions. It is therefore not possible to have access to the conductor to enable direct measurement of temperature.

In addition, the conductor temperature should be maintained within a restricted range (5 K) whereas the ambient temperature may vary over a wider range.

Although preliminary calibration on the cable under test or calculations may be satisfactory in the first place, the variation of ambient conditions throughout the duration of the test may lead to deviations of the temperature of the conductor outside range.

Therefore, methods should be used in which the conductor temperature can be monitored and controlled throughout the duration of the test.

Guidance is given hereafter on commonly used methods.

A.2 Calibration of the temperature of the main test loop

A.2.1 General

The purpose of the calibration is to determine the conductor temperature by direct measurement for a given current, within the temperature range required for the test.

The cable used for calibration (hereafter called reference cable) should be taken from the same length as the cable used for the main test loop.

A.2.2 Installation of cable and temperature sensors

The calibration should be performed on a minimum cable length of 5 m, taken from the same cable as tested. The length should be such that the longitudinal heat transfer to the cable ends does not affect the temperature in the centre 2 m of cable by more than 2 K.

Two temperature sensors should be attached to the middle of the reference cable: one on the conductor (TC_{1c}), and one on the external surface or directly under the external surface (TC_{1s}).

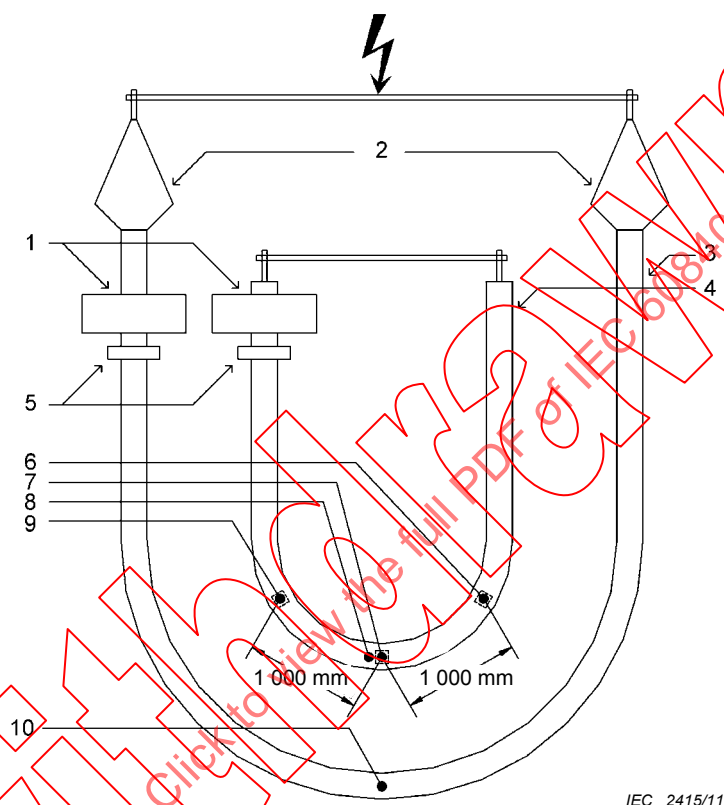
Two other temperature sensors, TC_{2c} and TC_{3c} , should be installed on the conductor of the reference cable (see Figure A.1), each one about 1 m from the middle.

The temperature sensors should be attached to the conductor by mechanical means since they may move due to vibrations of the cable during heating. Care should be taken to maintain good thermal contact during the tests and to prevent leakage of heat to the ambient. It is recommended to mount the temperature sensor(s) as shown in Figure A.2 between two strands of a stranded conductor or between the (solid) conductor and the conductor screen. To enable access to the conductor in the middle of the reference cable, a small hatch should be made by careful removal of the layers above the conductor. After installing the temperature sensor(s),

the layers that have been removed may be put back. This may restore the thermal behaviour of the reference cable.

NOTE To prove a negligible heat transfer towards the cable ends, the difference between the readings of TC_{1C} , TC_{2C} and TC_{3C} should be less than 2 K.

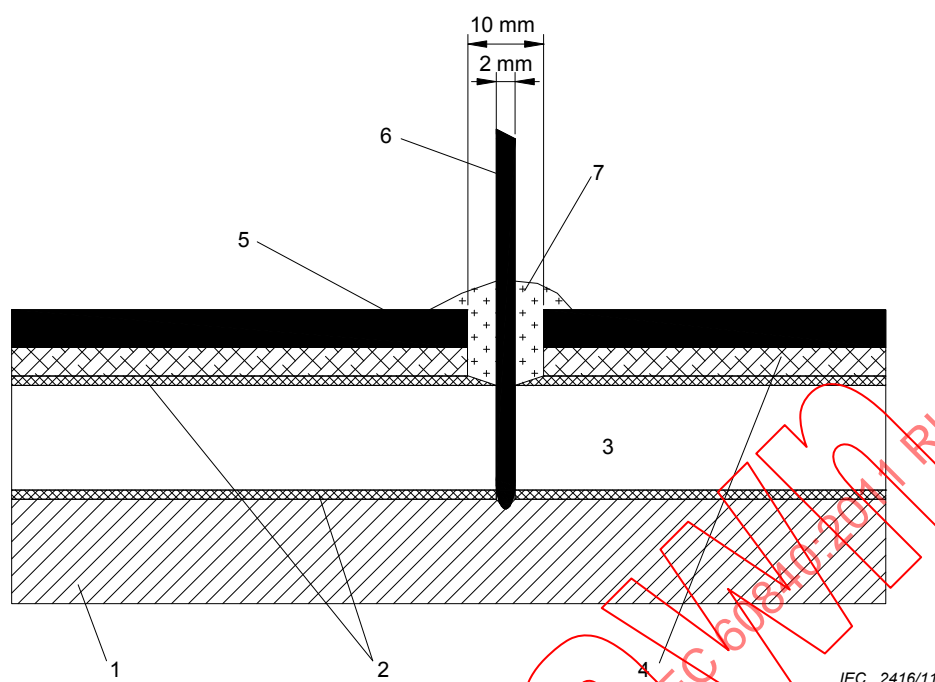
If the actual main test loop includes several individual cable lengths installed close to each other, these lengths will be subjected to thermal proximity effect. The calibration should therefore be carried out taking into account the actual test arrangement and measurements being performed on the hottest cable length (usually the middle length).



Key

- | | | | |
|---|--------------------------------|----|-----------------------|
| 1 | current inducing transformers | 6 | TC_{3C} (conductor) |
| 2 | Terminations | 7 | TC_{1C} (conductor) |
| 3 | cable under test | 8 | TC_{1S} (sheath) |
| 4 | reference cable (≥ 5 m) | 9 | TC_{2C} (conductor) |
| 5 | current measuring transformers | 10 | TC_S (sheath) |

Figure A.1 – Typical test set-up for the reference loop and the main test loop

**Key**

- | | | | |
|---|-------------------------|---|--------------------------------------|
| 1 | conductor | 5 | cable oversheath |
| 2 | semi-conducting screens | 6 | temperature sensor |
| 3 | Insulation | 7 | flexible thermal insulating compound |
| 4 | metal sheath | | |

Figure A.2 – Example of an arrangement of the temperature sensors on the conductor of the reference loop

A.2.3 Calibration method

The calibration should be carried out in a draught-free situation at a temperature of $(20 \pm 15) ^\circ\text{C}$.

Temperature recorders should be used to measure the conductor, oversheath and ambient temperatures simultaneously.

The cable should be heated until the conductor temperature, indicated by temperature sensors TC_{1c} of Figure A.1, have stabilized and reached the following temperature: between 5 K and 10 K above the maximum conductor temperature of the cable in normal operation, as given in Table 1.

When stabilization has been reached, the following should be noted:

- conductor temperature: average value at positions 1, 2 and 3;
- oversheath temperature at position TC_{1s} ;
- ambient temperature;
- heating current.

A.3 Heating for the test

A.3.1 Method 1 – Test using a reference cable

In this method, a reference cable identical to the cable used for the test is heated with the same current value as the main test loop.

The installation of cable and temperature sensors for both loops should be as given in Clause A.2.

The test arrangement should be such that

- the reference cable carries the same current as the main test loop at any time,
- it is installed in such a way that mutual heating effects are taken into account throughout the test.

The heating current of both loops should be adjusted such that the conductor temperature is kept within the specified limits.

A temperature sensor (TC_s) should be mounted on or under the external surface of the main test loop at the hottest spot, usually in the middle of it, in the same way as temperature sensor TC_{1s} is mounted on the hottest spot of the reference cable.

NOTE 1 The temperature measured with the temperature sensors on or under the oversheath of the main test loop (TC_s) and on the reference loop (TC_{1s}) are used to check whether the oversheath of both loops has the same temperature.

The temperature measured with temperature sensor TC_{1C} on the conductor of the reference loop may be considered as to be representative for the conductor temperature of the energized test loop.

NOTE 2 The temperature of the conductor of the main test loop may be slightly higher than that of the reference loop because of dielectric losses. If necessary, a correction should be made.

All temperature sensors should be connected to a recorder to enable temperature monitoring. The heating current of each loop should also be recorded to prove that the two currents are of the same value throughout the duration of the test. The difference between the heating currents should be kept within $\pm 1\%$.

The reference cable may be connected in series with the test cable if the temperature is measured via an optical fibre link or equivalent.

A.3.2 Method 2 – Test using conductor temperature calculations and measurement of the surface temperature

A.3.2.1 Calibration of the test cable conductor temperature

The purpose of the calibration is to determine the conductor temperature by direct measurement for a given current, within the temperature range required for the test.

The cable used for calibration should be identical to that to be used for the test, and the way of heating should be identical.

The installation of cable and temperature sensors for the calibration should be as given in Clause A.2.

The calibration should be carried out in accordance with A.2.3 for the reference cable.

A.3.2.2 Test based on measurement of the external temperature

During calibration and during the test of the main loop, the cable conductor temperature of the main test loop should be calculated in accordance with IEC 60853-2, based on the measured external temperature of the oversheath (TC_s). The measurement should be carried out with a temperature sensor at the hottest spot, attached to or under the external surface, in the same way as for the reference cable.

NOTE As an alternative, IEC 60287-1-1 may be used if demonstrated that asymptotic transient temperature is reached within the specified time.

The heating current should be adjusted to obtain the required value of the calculated conductor temperature, based on the measured external temperature of the oversheath.

Withdrawing
IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60840:2011 RLV

Annex B (normative)

Rounding of numbers

When values are to be rounded to a specified number of decimal places, for example in calculating an average value from several measurements or in deriving a minimum value by applying a percentage tolerance to a given nominal value, the procedure shall be as follows.

If the figure in the last place to be retained is followed, before rounding, by 0, 1, 2, 3 or 4, it shall remain unchanged (rounding down).

If the figure in the last place 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
2,453	≈	2,45	rounded to two decimal places
2,453	≈	2,5	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 (informative)

List of type, prequalification and extension of prequalification tests for cable systems, cables and accessories

Type tests for cable systems, cables and accessories are covered by Clauses 12, 14 and 15, respectively.

Table C.1 gives a summary and references for type testing of cable systems, cables and accessories.

Prequalification tests of cable systems with a calculated nominal conductor electric stress above 8,0 kV/mm or a calculated nominal insulation electric stress above 4,0 kV/mm are covered by 13.1 and 13.2.

Extension of the prequalification tests of cable systems with a calculated nominal conductor electric stress above 8,0 kV/mm or a calculated nominal insulation electric stress above 4,0 kV/mm are covered by 13.1 and 13.3.

Table C.2 gives a summary and references for prequalification testing of these cable systems.

Table C.3 gives a summary and references for the extension of prequalification testing of these cable systems.

Table C.1 – Type tests on cable systems, on cables and on accessories

Item	Test	Clauses		
		Cable systems	Cables	Accessories
a	General	12.1	14.1	15.1
b	Range of type approval	12.2	14.2	15.2
c	Electrical type tests	12.4	14.4	15.4
d	Test voltage values	12.4.1	12.4.1	12.4.1
e	Bending test	12.4.3	12.4.3	–
	Partial discharge test at ambient temperature	12.4.4	12.4.4	12.4.4
f	Tan δ measurement	12.4.5	12.4.5	–
g	Heating cycle voltage test	12.4.6	12.4.6	12.4.6
h	Partial discharge test at high temperature	12.4.4	–	12.4.4
	Partial discharge test at ambient temperature (after final cycle or after lightning impulse voltage test in item i)	12.4.4	12.4.4	12.4.4
i	Lightning impulse voltage test followed by power frequency voltage test	12.4.7	12.4.7	12.4.7
j	Partial discharge test at high temperature (if not carried out after item g) above)	12.4.4	–	12.4.4
	Partial discharge test at ambient temperature (if not carried out after item g) above)	12.4.4	12.4.4	12.4.4
k	Tests of outer protection for joints	Annex G	–	Annex G
l	Examination	12.4.8	12.4.8	12.4.8.1
m	Resistivity of semi-conducting screens	12.4.9	12.4.9	–
n	Non-electrical type tests on cable components and on completed cable	12.5	12.5	–

Table C.2 – Prequalification tests on cable systems with a calculated nominal conductor electric stress above 8,0 kV/mm or a calculated nominal insulation electric stress above 4,0 kV/mm

Item	Test	Clauses
		Cable systems
a	General and range of prequalification test approval	13.1
b	Prequalification test on complete system	13.2
c	Summary of prequalification tests	13.2.1
d	Test voltage values	13.2.2
e	Test arrangement	13.2.3
f	Heating cycle voltage test	13.2.4
g	Lightning impulse voltage test	13.2.5
h	Examination	13.2.6

Table C.3 – Extension of prequalification tests on cable systems with a calculated nominal conductor electric stress above 8,0 kV/mm or a calculated nominal insulation electric stress above 4,0 kV/mm

Item	Test	Clauses
		Cable systems
a	Tests for the extension of the prequalification of a cable system	13.3
b	Summary of the extension of the prequalification test	13.3.1
c	Electrical part of the extension of prequalification tests on complete cables system	13.3.2
d	General	13.3.2.1
e	Test voltage values	13.3.2.2
f	Sequence of the electrical part of the extension of prequalification tests	13.3.2.3
g	Heating cycle test without voltage	13.3.2.4

Annex D (normative)

Method of measuring resistivity of semi-conducting screens

Each test piece shall be prepared from a 150 mm sample of completed cable.

The conductor screen test piece shall be prepared by cutting a sample of core in half longitudinally and removing the conductor and separator, if any (see Figure D.1a). The insulation screen test piece shall be prepared by removing all the coverings from a sample of core (see Figure D.1b).

The procedure for determining the volume resistivity of the screens shall be as follows.

Four silver-painted electrodes A, B, C and D (see Figures D.1a and D.1b) shall be applied to the semi-conducting surfaces. The two potential electrodes, B and C, shall be 50 mm apart and the two current electrodes, A and D, shall be each placed at least 25 mm beyond the potential electrodes.

Connections shall be made to the electrodes by means of suitable clips. In making connections to the conductor screen electrodes, it shall be ensured that the clips are insulated from the insulation screen on the outer surface of the test sample.

The assembly shall be placed in an oven preheated to the specified temperature and, after an interval of at least 30 min, the resistance between the electrodes shall be measured by means of a circuit, the power of which shall not exceed 100 mW.

After the electrical measurements, the diameters over the conductor screen and insulation and the thickness of the conductor screen and insulation screen shall be measured at ambient temperature, each being the average of six measurements made on the sample shown in Figure D.1b.

The volume resistivity ρ in ohm metres shall be calculated as follows:

a) conductor screen:

$$\rho_c = \frac{R_c \times \pi \times (D_c - T_c) \times T_c}{2L_c}$$

where

ρ_c is the volume resistivity, in ohm metres ($\Omega \cdot m$);

R_c is the measured resistance, in ohms (Ω);

L_c is the distance between potential electrodes, in metres (m);

D_c is the diameter over the conductor screen, in metres (m);

T_c is the average thickness of conductor screen, in metres (m).

b) Insulation screen:

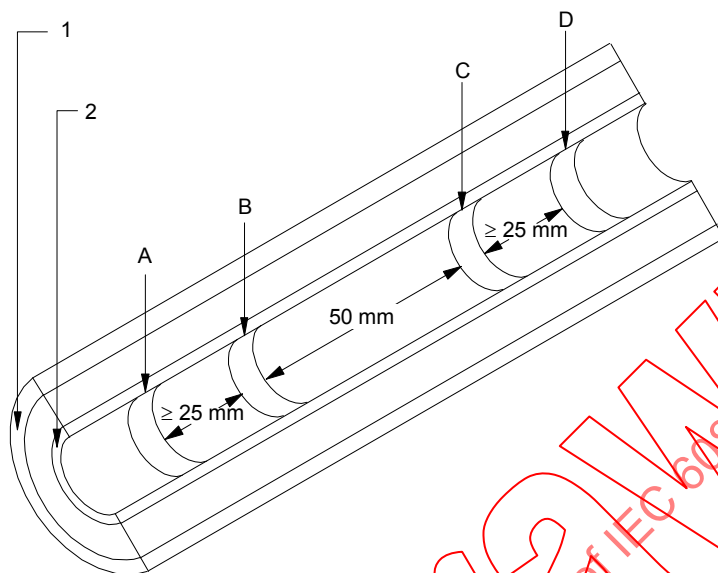
$$\rho_i = \frac{R_i \times \pi \times (D_i - T_i) \times T_i}{L_i}$$

where

ρ_i is the volume resistivity, in ohm metres ($\Omega \cdot m$);

R_i is the measured resistance, in ohms (Ω);

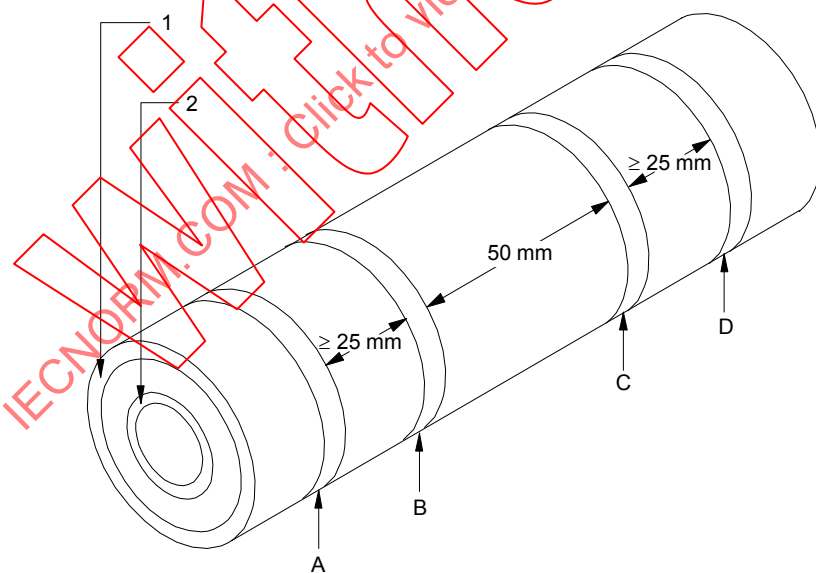
- L_i is the distance between potential electrodes, in metres (m);
- D_i is the diameter over the insulation screen, in metres (m);
- T_i is the average thickness of insulation screen, in metres (m).



IEC 2417/11

Key

- | | | | |
|---|-------------------|------|----------------------|
| 1 | Insulation screen | B, C | potential electrodes |
| 2 | conductor screen | A, D | current electrodes |

Figure D.1a – Measurement of the volume resistivity of the conductor screen

IEC 2418/11

Key

- | | | | |
|---|-------------------|------|----------------------|
| 1 | insulation screen | B, C | potential electrodes |
| 2 | conductor screen | A, D | current electrodes |

Figure D.1b – Measurement of the volume resistivity of the insulation screen**Figure D.1 – Preparation of samples for measurement of resistivity of conductor and insulation screens**

Annex E (normative)

Water penetration test

E.1 Test piece

A sample of completed cable at least 6 m in length which has not previously been subjected to any of the tests described in 12.4 or 14.4 shall be subjected to the bending test described in 12.4.3.

A 6 m length of cable shall be cut from the length which has been subjected to the bending test and placed horizontally. A ring approximately 50 mm wide shall be removed from the centre of the length. This ring shall comprise all the layers external to the insulation screen. Where the conductor is also claimed to contain a longitudinal water barrier, the ring shall comprise all layers external to the conductor.

If the cable contains intermittent barriers to longitudinal water penetration, then the sample shall contain at least two of these barriers, the ring being removed from between the barriers. In this case, the average distance between the barriers in such cables should be known.

The surfaces shall be cut so that the interfaces intended to be longitudinally watertight shall be readily exposed to water. The interfaces not intended to be longitudinally watertight shall be sealed with a suitable material or the outer coverings removed.

Arrange a suitable device (see Figure E.1) to allow a tube having a diameter of at least 10 mm to be placed vertically over the exposed ring and sealed to the surface of the oversheath. The seals where the cable exits the apparatus shall not exert mechanical stress on the cable.

NOTE The response of certain barriers to longitudinal penetration can be dependent on the composition of the water (e.g. pH, ion concentration). Normal tap water should be used for the test unless otherwise specified.

E.2 Test

The tube shall be filled within 5 min with tap water at a temperature of $(20 \pm 10) ^\circ\text{C}$ so that the height of the water in the tube is 1 m above the cable centre (see Figure E.1).

The sample shall be allowed to stand for 24 h.

The sample shall then be subjected to 10 heating cycles. The conductor shall be heated by a suitable method until it has reached a steady temperature 5 K to 10 K above the maximum conductor temperature in normal operation; it shall not, however, reach the boiling point of water.

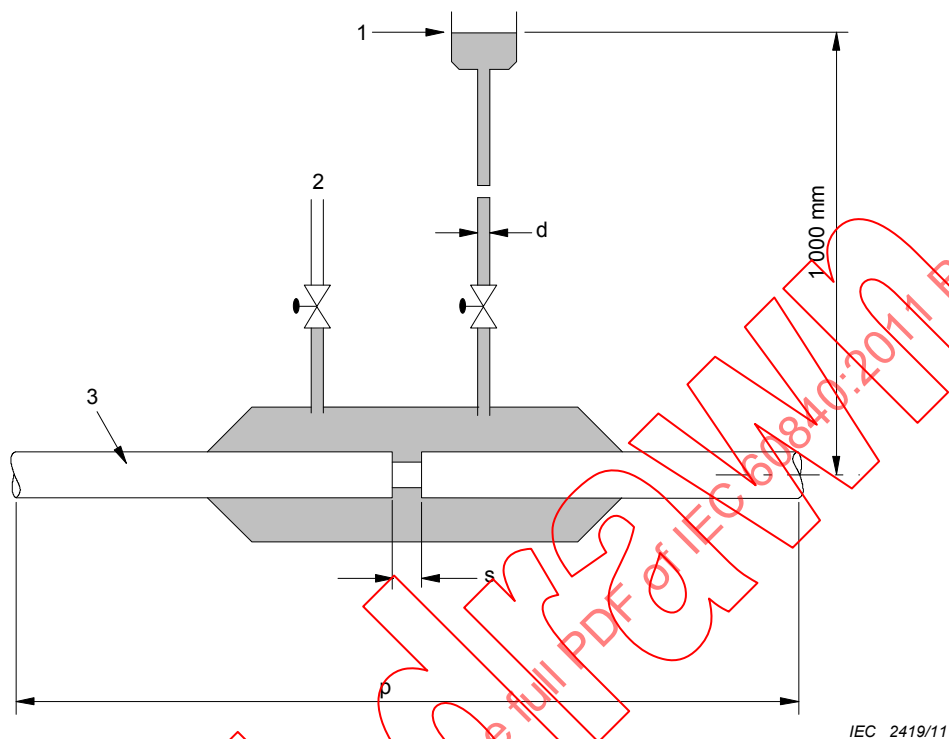
The heating shall be applied for at least 8 h. The conductor temperature shall be maintained within the stated temperature limits for at least 2 h of each heating period. This shall be followed by at least 16 h of natural cooling.

The water head shall be maintained at 1 m.

NOTE No voltage being applied throughout the test, it is advisable to connect a dummy cable in series with the cable to be tested, the temperature being measured directly on the conductor of this cable.

E.3 Requirements

During the period of testing, no water shall emerge from the ends of the test piece.



Key

1	water header tank	d	Ø10 mm minimum (inner)
2	vent	s	50 mm approximately
3	cable	p	length = 6 000 mm

Figure E.1 – Schematic diagram of apparatus for water penetration test

Annex F (normative)

Tests on components of cables with a longitudinally applied metal tape or foil, bonded to the oversheath

F.1 Visual inspection

The cable shall be dissected and visually examined. Examination of the samples with normal or corrected vision without magnification shall reveal no cracks or separation of the metal foil of laminated protective coverings or damage to other parts of the cable.

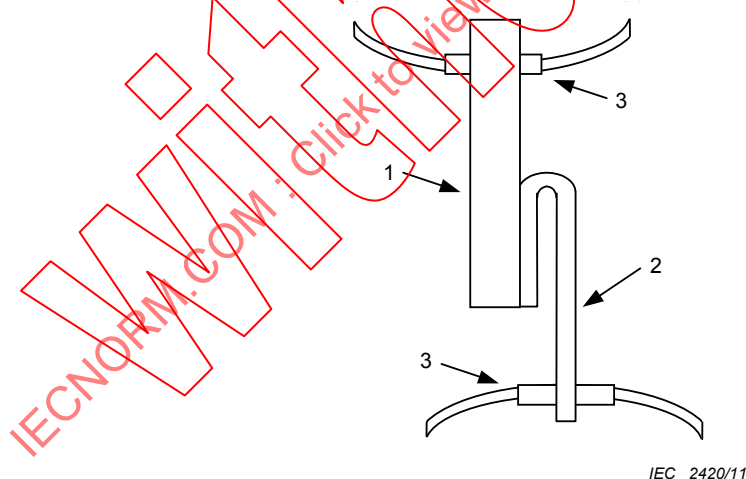
F.2 Adhesion strength of metal foil

F.2.1 Procedure

The test specimen shall be taken from the cable covering where the metal foil is adhered to the oversheath.

The length and width of the test specimen shall be 200 mm and 10 mm, respectively.

One end of the test specimen shall be peeled between 50 mm and 120 mm and inserted in a tensile testing machine by clamping the free end of the oversheath or the insulation screen in one grip. The free end of the metal foil shall be turned back and clamped in the other grip as shown in Figure F.1.



Key

- | | | |
|-----------------|---|-----------|
| 1 oversheath | 2 metal foil or laminated metal foil | 3 grip |
|-----------------|---|-----------|

Figure F.1 – Adhesion of metal foil

The specimen shall be maintained approximately vertical in the plane of the grips during the test by holding the specimen.

After adjusting the continuous recording device, the metal foil shall be stripped from the specimen at an angle of approximately 180° and the separation continued for a sufficient distance to indicate the adhesion strength value. At least one half of the remaining bonded area shall be peeled with a speed of approximately 50 mm/min.

F.2.2 Requirements

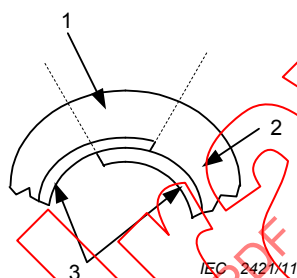
The adhesion strength shall then be calculated by dividing the peel force, in newtons, by the width of the specimen, in millimetres. At least five specimens shall be submitted to the test and the minimum value of the adhesion strength shall not be less than 0,5 N/mm.

NOTE When the adhesion strength is greater than the tensile strength of the metal foil so that the latter breaks before peeling, the test should be terminated and the break point should be recorded.

F.3 Peel strength of overlapped metal foil

F.3.1 Procedure

A sample specimen 200 mm in length shall be taken from the cable including the overlapped portion of the metal foil. The test specimen shall be prepared by cutting only the overlapped portion from this sample as shown in Figure F.2.

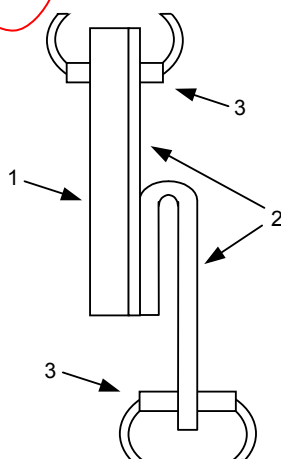


Key

- 1 specimen 2 oversheath 3 metal foil or laminated metal foil

Figure F.2 – Example of overlapped metal foil

The test shall be conducted in the same manner as described in Clause F.2. The arrangement of the test specimen is shown in Figure F.3.



Key

- 1 oversheath 2 metal foil or laminated metal foil 3 grip

Figure F.3 – Peel strength of overlapped metal foil

F.3.2 Requirements

The minimum value of the peel strength shall not be less than 0,5 N/mm.

NOTE When the peel strength is greater than the tensile strength of the metal foil so that the latter breaks before peeling, the test should be terminated and the break point should be recorded.

IECNORM.COM - Click to view the full PDF of IEC 60840:2011 RLV

Withdrawn

Annex G (normative)

Tests of outer protection for joints

G.1 General

This annex specifies the procedure to be adopted for type approval testing of joint outer protection of all types, used in buried joints or sheath interrupters employed on insulated sheath power cable systems and, where employed, the associated sheath sectionalising insulation with screen interruption.

The manufacturer of the joint shall provide a drawing in which all water-protection barriers are clearly identified.

G.2 Range of approval

Where approval is required for joint outer protection embodying entries for items such as bonding leads, the outer protection tested shall include these design features.

A successful test on the joint outer protection for a sheath sectionalising insulation accessory will give approval to such protection for a similar accessory without sheath sectionalising insulation, but not the converse.

Where approval is granted for a design of joint outer protection, then all joint outer protections offered by the same manufacturer, embodying the same basic design principles, employing the same materials and within the diameter range tested, at equal or lower test voltages, shall be deemed to be approved.

The tests in Clauses G.3 and G.4 shall be applied successively to a joint which has passed the heating cycle voltage test (see 12.4.6) or to a separate joint which has undergone at least three thermal cycles without voltage, as specified in 12.4.2, item g), NOTE 2.

G.3 Water immersion and heat cycling

The test assembly shall be immersed in water to a depth of not less than 1 m at the highest point of the outer protection. Where desired, this may be achieved by using a header tank connected to a sealed-off vessel containing the test assembly.

A total of 20 heating/cooling cycles shall be applied by raising the water temperature to within 15 K to 20 K below the maximum temperature of the cable conductor in normal operation. In each cycle the water shall be raised to the specified temperature, maintained at that level for at least 5 h and then be permitted to cool to within 10 K above ambient temperature. The test temperature may be achieved by mixing the water with water of higher or lower temperature. The minimum duration of each cycle of heating and cooling shall be 12 h and the duration for raising the water temperature to the specified temperature shall be as much as possible the same as the duration for cooling the water to within 30 °C or 10 K above ambient temperature, whichever is the higher.

G.4 Voltage tests

G.4.1 General

On completion of the heating cycles and with the test assembly still immersed, voltage tests shall be carried out as follows.

G.4.2 Assemblies embodying accessories without sheath sectionalising insulation

A test voltage of 25 kV d.c. shall be applied for 1 min between the metal screen/sheath of the power cable and the earthed exterior of the joint outer protection.

G.4.3 Assemblies embodying sheath sectionalising insulation

G.4.3.1 DC voltage tests

A test voltage of 25 kV d.c. shall be applied for 1 min between the metal screens/sheaths of the power cable, at either end of the accessory, and also between the metal screens/sheaths and the earthed exterior of the joint outer protection.

G.4.3.2 Impulse voltage tests

To test each part to earth, a test voltage in accordance with Table G.1 shall be applied between the metal screens/sheaths and the exterior of the assembly whilst immersed. If it is not practicable to carry out the impulse test on the assembly whilst immersed, it may be removed from the water and impulse tested with a minimum of delay or it may be maintained wet by wrapping with a wet fabric, or a conductive coating may be applied over the entire exterior surface of the test assembly.

For the test between the metal screens/sheaths, the assembly shall be removed from the water before the impulse test.

The testing procedure shall be performed in accordance with IEC 60230, the joint being at ambient temperature.

Table G.1 – Impulse voltage tests

Rated lightning impulse voltage for main insulation ^a	Impulse level			
	Between parts		Each part to earth	
	Bonding leads ≤3 m	Bonding leads >3 m and ≤10 m ^b	Bonding leads ≤3 m	Bonding leads >3 m and ≤10 m ^b
kV	kV	kV	kV	kV
250 to 325	60	60	30	30
>325 to 750	60	75	30	37,5
^a See Table 4, column 8.				
^b If sheath voltage limiters are placed adjacent to the joint, the voltages for bonding leads ≤3 m are used.				

No breakdown shall occur during any of the above tests.

G.5 Examination of test assembly

On completion of the tests described in Clause G.4, the test assembly shall be examined.

Joint outer protection boxes filled with removable compounds shall be regarded as satisfactory if there is no visible evidence of either internal voids or internal displacement of compound by water ingress, or of compound loss via the various seals or box walls.

For joint outer protections employing alternative designs and materials, there shall be no evidence of water ingress or internal corrosion.

Annex H (normative)

Determination of hardness of HEPR insulations

H.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.

H.2 Test procedure

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

H.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 indenter 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' at a distance apart depending on the curvature of the surface (see Figure H.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 in ISO 48 for thin and small test pieces shall be used.

H.2.2 Surfaces of small radius of curvature

On surfaces with too small a radius of curvature for the procedures described in H.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 indenter and so that the indenter is vertically above the axis of the test piece. Suitable procedures are as follows:

- a) by resting the test piece in a groove or trough in a metal jig (see Figure H.2a);
- b) by resting the ends of the conductor of the test piece in V-blocks (see Figure H.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 in ISO 48 for thin and small test pieces shall be used.

H.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 $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ and the test pieces shall be maintained at this temperature for at least 3 h immediately before testing.

H.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, reported to the nearest whole number in international rubber hardness degrees (IRHD).

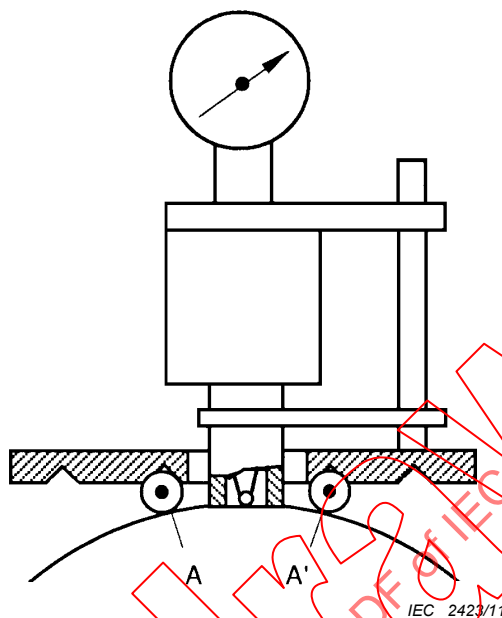


Figure H.1 – Test on surfaces of large radius of curvature

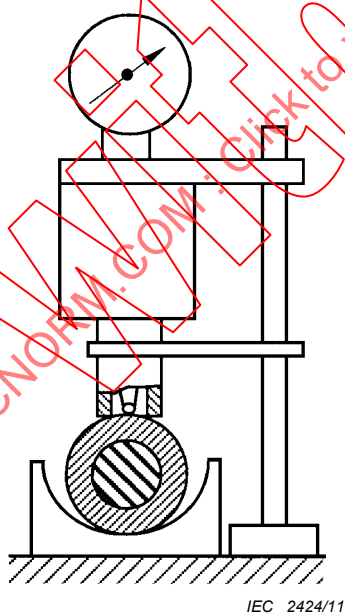


Figure H.2a – Test piece in groove

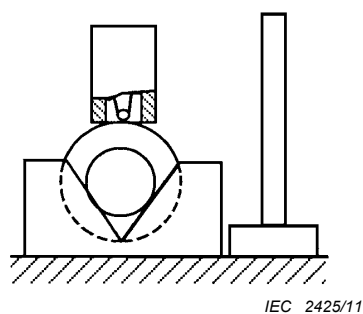


Figure H.2b – Test piece in V-blocks

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

Bibliography

IEC 60287 (all parts), *Electric cables – Calculation of the current rating*

IEC 60853-2, *Calculation of the cyclic and emergency current rating of cables – Part 2: Cyclic rating of cables greater than 18/30 (36) kV and emergency ratings for cables of all voltages*

IEC 61443, *Short-circuit temperature limits of electric cables with rated voltages above 30 kV ($U_m = 36$ kV)*

Electra No. 128, *Guide to the protection of specially bonded cable systems against sheath overvoltages*, January 1990, pp 46-62

Electra No. 141, *Guidelines for tests on high voltage cables with extruded insulation and laminated protective coverings*, April 1992, pp 53-61

Electra No. 157, CIGRE Technical Brochure: *Accessories for HV extruded cables*, December 1994, pp 84-89

Electra No. 173, *After laying tests on high-voltage extruded insulation cable systems*, August 1997, pp 32-41

Electra No. 205, *Experiences with AC tests after installation on the main insulation of polymeric (E)HV cable systems*, December 2002, pp 26-36

Electra No. 227, *Revision of qualification procedures for extruded high voltage AC underground cable systems*, August 2006, pp 31-37

CIGRE Technical Brochure 303: *Revision of qualification procedures for extruded (extra) high voltage ac underground cables*, CIGRE Working Group B1-06; 2006

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	72
INTRODUCTION	74
1 Domaine d'application	75
2 Références normatives	75
3 Termes et définitions	77
3.1 Définitions de valeurs dimensionnelles (épaisseurs, sections, etc.)	77
3.2 Définitions relatives aux essais	77
3.3 Autres définitions	78
4 Désignations des tensions et des matériaux	78
4.1 Tensions assignées	78
4.2 Mélanges isolants pour câbles	78
4.3 Ecrans et gaines métalliques pour câbles	78
4.4 Mélanges pour gaines extérieures de câbles	78
5 Précautions contre l'entrée d'eau dans les câbles	79
6 Caractéristiques du câble	79
7 Caractéristiques des accessoires	80
8 Conditions d'essai	80
8.1 Température ambiante	80
8.2 Fréquence et forme d'onde des tensions d'essai à fréquence industrielle	80
8.3 Forme d'onde des tensions d'essai en choc de foudre	81
8.4 Relations entre tensions d'essai et tensions assignées	81
8.5 Détermination de la température de l'âme du câble	81
9 Essais individuels des câbles et de l'isolation principale des accessoires préfabriqués	81
9.1 Généralités	81
9.2 Essai de décharges partielles	82
9.3 Essai de tension	82
9.4 Essai électrique sur la gaine extérieure du câble	82
10 Essais sur prélèvements des câbles	82
10.1 Généralités	82
10.2 Fréquence des essais	83
10.3 Répétition des essais	83
10.4 Examen de l'âme	83
10.5 Mesure de la résistance électrique de l'âme et de l'écran métallique	83
10.6 Mesure de l'épaisseur de l'enveloppe isolante et de celle de la gaine extérieure du câble	83
10.6.1 Généralités	83
10.6.2 Exigences relatives à l'enveloppe isolante	84
10.6.3 Exigences relatives à la gaine extérieure du câble	84
10.7 Mesure de l'épaisseur de la gaine métallique	84
10.7.1 Gaine de plomb ou d'alliage de plomb	84
10.7.2 Gaine lisse ou ondulée en aluminium	85
10.8 Mesure des diamètres	85
10.9 Essai d'allongement à chaud des enveloppes isolantes en PR, EPR et HEPR	85
10.9.1 Mode opératoire	85

10.9.2	Exigences.....	86
10.10	Mesure de la capacité.....	86
10.11	Mesure de la masse volumique des enveloppes isolantes en PEHD	86
10.11.1	Mode opératoire.....	86
10.11.2	Exigences	86
10.12	Essai au choc de foudre	86
10.13	Essai de pénétration d'eau	86
10.14	Essais sur les composants de câbles avec un ruban ou une feuille métallique posé(e) en long et contrecollé(e) à la gaine extérieure.....	86
11	Essais sur prélèvements des accessoires.....	87
11.1	Essais des composants	87
11.2	Essais sur accessoires complets	87
12	Essais de type des systèmes de câbles.....	87
12.1	Généralités.....	87
12.2	Etendue de l'acceptation de type	87
12.3	Résumé des essais de type.....	88
12.4	Essais électriques sur systèmes de câble complet	89
12.4.1	Valeurs des tensions d'essai	89
12.4.2	Essais et séquence d'essais	89
12.4.3	Essai d'enroulement	90
12.4.4	Essais de décharges partielles	90
12.4.5	Mesure de $\tan \delta$	91
12.4.6	Essai de cycles de chauffage sous tension	91
12.4.7	Essais aux chocs de foudre suivi d'un essai sous tension du réseau	92
12.4.8	Examen.....	92
12.4.9	Résistivité des écrans semi-conducteurs	92
12.5	Essais de type non électriques sur les constituants du câble et sur câble complet	93
12.5.1	Vérification de la constitution du câble	93
12.5.2	Détermination des propriétés mécaniques des enveloppes isolantes avant et après vieillissement	94
12.5.3	Détermination des propriétés mécaniques des gaines extérieures avant et après vieillissement	94
12.5.4	Essais de vieillissement sur tronçons de câbles complets pour vérifier la compatibilité des matériaux.....	94
12.5.5	Essai de perte de masse pour les gaines extérieures en PVC du type ST ₂	95
12.5.6	Essai de pression à température élevée sur les gaines extérieures	95
12.5.7	Essais à basse température pour les gaines extérieures en PVC (ST ₁ et ST ₂)	96
12.5.8	Essai de choc thermique pour les gaines extérieures en PVC (ST ₁ et ST ₂)	96
12.5.9	Essai de résistance à l'ozone des enveloppes isolantes en EPR et en HEPR	96
12.5.10	Essai d'allongement à chaud pour les enveloppes isolantes en EPR, en HEPR et en PR	96
12.5.11	Mesure de la masse volumique des enveloppes isolantes en PEHD	96
12.5.12	Mesure du taux de noir de carbone des gaines extérieures en PE de couleur noire (ST ₃ and ST ₇)	96
12.5.13	Essai des câbles soumis au feu	97

12.5.14	Essai de pénétration d'eau	97
12.5.15	Essais sur les composants de câbles avec ruban ou feuille métallique posé(e) en long et contrecollé(e) à la gaine extérieure	97
12.5.16	Essai de rétraction des enveloppes isolantes en PE, en PEHD et en PR.....	97
12.5.17	Essai de rétraction des gaines extérieures (ST ₃ et ST ₇)	97
12.5.18	Détermination de la dureté de l'enveloppe isolante en HEPR	98
12.5.19	Détermination du module d'élasticité de l'enveloppe isolante en HEPR.....	98
13	Essai de préqualification sur le système de câble	98
13.1	Généralités et domaine d'acceptation de l'essai de préqualification.....	98
13.2	Essai de préqualification sur système de câble complet	99
13.2.1	Résumé des essais de préqualification	99
13.2.2	Valeurs des tensions d'essai	99
13.2.3	Montage d'essai	99
13.2.4	Essai de cycles de chauffage sous tension.....	100
13.2.5	Essai à la tension de choc de foudre	101
13.2.6	Examen	101
13.3	Essais d'extension de préqualification d'un système de câble	101
13.3.1	Résumé de l'extension de préqualification	101
13.3.2	Partie électrique des essais d'extension de préqualification sur un système de câble complet	101
14	Essai de type des câbles	104
14.1	Généralités.....	104
14.2	Etendue de l'acceptation de l'essai de type	104
14.3	Résumé des essais de type.....	105
14.4	Essai de type sur câble complet.....	105
15	Essais de type des accessoires.....	105
15.1	Généralités.....	105
15.2	Etendue de l'acceptation de l'essai de type	105
15.3	Résumé des essais de type.....	106
15.4	Essais de type électriques des accessoires.....	107
15.4.1	Valeurs des tensions d'essais.....	107
15.4.2	Essais et séquence d'essais.....	107
16	Essais électriques après pose	107
16.1	Généralités.....	107
16.2	Essai sous tension continue de la gaine extérieure	107
16.3	Essai sous tension alternative de l'enveloppe isolante	108
Annexe A (informative)	Détermination de la température de l'âme du câble	115
Annexe B (normative)	Arrondissement des nombres	120
Annexe C (informative)	Liste des essais de type, des essais de préqualification et d'extension de préqualification pour des systèmes de câbles, câbles et accessoires	121
Annexe D (normative)	Méthode de mesure de la résistivité des écrans semi- conducteurs.....	124
Annexe E (normative)	Essai de pénétration d'eau.....	126
Annexe F (normative)	Essais des composants de câbles comportant un ruban ou une feuille métallique appliqué(e) longitudinalement et contrecollé(e) à la gaine extérieure	128
Annexe G (normative)	Essais de la protection externe des jonctions.....	131
Annexe H (normative)	Détermination de la dureté des enveloppes isolantes en HEPR.....	134

Bibliographie.....	137
Figure 1 – Exemple de montage d'essai pour l'essai de préqualification	100
Figure 2 – Exemple d'extension de préqualification d'un système pour la préqualification d'un système avec une autre jonction, prévue pour une installation rigide aussi bien qu'une installation souple	102
Figure A.1 – Montage typique de la boucle de référence et de la boucle principale d'essai	116
Figure A.2 – Exemple de mise en place des capteurs de température sur l'âme de la boucle de référence	117
Figure D.1 – Préparation des échantillons pour la mesure de la résistivité des écrans sur âme et sur enveloppe isolante	125
Figure E.1 – Schéma de principe de l'appareillage pour l'essai de pénétration d'eau	127
Figure F.1 – Adhérence de la bande métallique	128
Figure F.2 – Exemple de bande métallique avec recouvrement.....	129
Figure F.3 – Force de décollement au recouvrement de la bande métallique	130
Figure H.1 – Essai des surfaces de grands rayons de courbure	135
Figure H.2 – Essai des surfaces de petit rayon de courbure.....	136
Tableau 1 – Mélanges isolants pour câbles.....	108
Tableau 2 – Mélanges de gaines extérieures pour câbles	108
Tableau 3 – Exigences pour $\tan \delta$ pour les mélanges isolants pour câbles	108
Tableau 4 – Tensions d'essai.....	109
Tableau 5 – Essais de type non électriques pour mélanges pour enveloppes isolantes et pour gaines extérieures de câbles.....	110
Tableau 6 – Exigences d'essai pour les caractéristiques mécaniques des mélanges pour enveloppes isolantes de câbles (avant et après vieillissement)	111
Tableau 7 – Exigences d'essai pour les caractéristiques mécaniques des mélanges pour gaine extérieure de câbles (avant et après vieillissement).....	112
Tableau 8 – Exigences d'essai pour les caractéristiques particulières des mélanges pour enveloppes isolantes de câbles	113
Tableau 9 – Exigences d'essai pour les caractéristiques particulières des mélanges à base de PVC pour gaines extérieures de câbles	114
Tableau C.1 – Essais de type sur des systèmes de câbles	122
Tableau C.2 – Essais de préqualification pour des systèmes de câbles avec un gradient calculé nominal sur âme supérieur à 8,0 kV/mm ou avec un gradient calculé nominal sur enveloppe supérieur à 4,0 kV/mm	122
Tableau C.3 – Essais d'extension de préqualification pour des systèmes de câbles avec un gradient calculé nominal sur âme supérieur à 8,0 kV/mm ou avec un gradient calculé nominal sur enveloppe isolante supérieur à 4,0 kV/mm	123
Tableau G.1 – Essais aux ondes de choc	132

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**CÂBLES D'ÉNERGIE À ISOLATION EXTRUDÉE ET
LEURS ACCESSOIRES POUR DES TENSIONS ASSIGNÉES
SUPÉRIEURES À 30 kV ($U_m = 36$ kV) ET JUSQU'À 150 kV ($U_m = 170$ kV) –
MÉTHODES ET EXIGENCES D'ESSAI**

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 brevet. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 60840 a été établie par le Comité d'études 20 de la CEI: Câbles électriques.

Cette quatrième édition de la CEI 60840 annule et remplace la troisième édition, parue en 2004, et constitue une révision technique majeure.

La modification technique principale par rapport à l'édition précédente est la suivante:

- introduction d'une procédure d'essai de préqualification pour les câbles avec de hautes tensions électriques comme un système de câble incluant des accessoires.

NOTE Voir l'Introduction pour un historique plus complet sur les événements qui conduisaient à la publication de cette quatrième édition.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
20/1267/FDIS	20/1277A/RVD

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

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

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

INTRODUCTION

La première édition de la CEI 60840 publiée en 1988 traitait seulement des câbles. Les accessoires furent ajoutés à la deuxième édition, publiée en février 1999, qui couvrait séparément les méthodes d'essais et les exigences d'essais pour

- a) les câbles seuls,
- b) les câbles avec les accessoires (système de câbles).

Certains pays ont suggéré qu'une meilleure distinction devrait être faite entre système, câbles, et accessoires, plus particulièrement pour les tensions les plus basses du domaine d'application, par exemple 45 kV. Cela a été pris en considération dans la troisième révision et est maintenue dans celle-ci et qui donne les exigences d'acceptation de type et l'étendue de celle-ci pour

- a) les systèmes de câble,
- b) les câbles seuls,
- c) les accessoires seuls.

Les fabricants et utilisateurs sont invités à choisir l'option la plus appropriée pour l'acceptation de type.

Lors de sa réunion en novembre 2004, le TC 20 a décidé de préparer une nouvelle révision majeure de la CEI 60840 et a conclu que la présente édition devrait incorporer les recommandations d'essais des câbles extrudés HT et THT que préparait le GT B1.06 du comité technique B1. Ces recommandations exposées dans la Brochure Thématique No 303 du CIGRE, ont paru avant la réunion du TC 20 en octobre 2006. La brochure intitulée « Révision des procédures de qualification des câbles extrudés souterrains haute et très haute tension » a donc été prise en compte par le TC20 qui en a introduit d'importantes parties dans cette norme. Les câbles présentant des gradients élevés au niveau du semi-conducteur sur âme et/ou sur enveloppe doivent maintenant passer une procédure d'essai de préqualification (simplifiée par rapport à celle de la CEI 62067), en tant que système de câble, en incluant les accessoires.

En outre les changements significatifs suivants ont été apportés à cette norme:

- a) Les numérotations des articles de cette norme et de la CEI 62067 (qui a été révisée en même temps que cette norme-ci) ont été coordonnées entre elles de manière à avoir autant de similitudes que possible afin de rendre la lecture plus facile pour les utilisateurs des deux normes
- b) Lors de l'essai de prélèvement, l'essai de tension à fréquence industrielle n'est plus requis après l'essai aux chocs de foudre.

Une liste des références CIGRE appropriées est donnée dans la bibliographie.

CÂBLES D'ÉNERGIE À ISOLATION EXTRUDÉE ET LEURS ACCESSOIRES POUR DES TENSIONS ASSIGNÉES SUPÉRIEURES À 30 kV ($U_m = 36$ kV) ET JUSQU'À 150 kV ($U_m = 170$ kV) – MÉTHODES ET EXIGENCES D'ESSAI

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale spécifie les méthodes et les exigences d'essai applicables aux systèmes de câbles d'énergie, câbles seuls et accessoires seuls, pour installations fixes, pour des tensions assignées supérieures à 30 kV ($U_m = 36$ kV) et jusqu'à 150 kV ($U_m = 170$ kV) compris.

Les exigences sont applicables aux câbles unipolaires, aux câbles tripolaires à écran individuel et à leurs accessoires, pour des conditions habituelles d'installation et de fonctionnement, mais ne le sont pas à des câbles spéciaux et à leurs accessoires, comme les câbles sous-marins, pour lesquels il peut être nécessaire d'apporter des modifications aux essais normaux ou d'élaborer des conditions d'essai particulières.

Les jonctions assurant le raccordement des câbles à isolant extrudé aux câbles isolés au papier ne sont pas couvertes par la présente norme.

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).

NOTE La série CEI 60811 subit actuellement une révision, qui mènera à une restructuration de ses parties. On en donnera une description, aussi bien qu'une table de correspondance entre les parties actuelles et planifiées dans IEC 60811-100.

CEI 60060-1, *Techniques des essais à haute tension – Partie 1: Définitions et prescriptions générales relatives aux essais*

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

CEI 60228, *Ames des câbles isolés*

CEI 60229:2007, *Câbles électriques – Essais sur les gaines extérieures extrudées avec fonction spéciale de protection*

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

CEI 60287-1-1:2006, *Câbles électriques – Calcul du courant admissible – Partie 1-1: Equations de l'intensité du courant admissible (facteur de charge 100 %) et calcul des pertes – Généralités*

CEI 60332-1-2, *Essais des câbles électriques et à fibres optiques soumis au feu – Partie 1-2: Essai de propagation verticale de la flamme sur conducteur ou câble isolé – Procédure pour flamme à prémélange de 1 kW*

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*

Amendement 1 (2001)

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

Amendement 1 (1989)

Amendement 2 (2000)

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

Amendement 1 (2001)

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

Amendement 1 (1993)

Amendement 2 (2001)

CEI 60811-2-1:1998, *Méthodes d'essais communes pour matériaux d'isolation et de gainage des câbles électriques et optiques – 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*

Amendement 1 (2001)

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

Amendement 1 (1994)

Amendement 2 (2001)

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

Amendement 1 (1993)

Amendement 2 (2003)

CEI 60811-4-1:2004, *Méthodes d'essais communes pour les matériaux d'isolation et de gainage des câbles électriques –Partie 4-1: Méthodes spécifiques pour les mélanges polyéthylène et polypropylène – Résistance aux craquelures sous contraintes dues à l'environnement – Mesure de l'indice de fluidité à chaud – Mesure dans le polyéthylène du taux de noir de carbone et/ou des charges minérales par méthode de combustion directe – Mesure du taux de noir de carbone par analyse thermogravimétrique – Evaluation de la dispersion du noir de carbone dans le polyéthylène au moyen d'un microscope*

CEI 60885-3, *Méthodes d'essais électriques pour les câbles électriques – Troisième partie: Méthodes d'essais pour mesures de décharges partielles sur longueurs de câbles de puissance extrudés*

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

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et 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, en tenant compte des tolérances spécifiées.

3.1.2

valeur médiane

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

3.2 Définitions relatives aux essais

3.2.1

essais individuels

essais effectués par le fabricant sur chacun des composants fabriqués (longueur de câble ou accessoire) afin de vérifier qu'il 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 ou sur accessoire, 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 système de câble visé par la présente norme, afin de démontrer que ses caractéristiques répondent aux applications prévues

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

3.2.4

essai de préqualification

essai effectué avant la livraison sur une base commerciale d'un type de système de câble visé par la présente norme, afin de démontrer que ses performances à long terme sont satisfaisantes.

3.2.5

essai d'extension de préqualification

essai effectué avant la livraison sur une base commerciale d'un type de système de câble visé par la présente norme, afin de démontrer que ses performances à long terme sont satisfaisantes, en tenant compte d'un système de câble déjà préqualifié

3.2.6

essais électriques après pose

essais effectués pour vérifier l'intégrité du système de câble après la pose

3.3 Autres définitions

3.3.1

système de câble

câble équipé de ses accessoires y compris les composants utilisés pour la gestion des contraintes thermomécaniques du système mais limités à ceux utilisés pour les extrémités et les jonctions

3.3.2

gradient électrique nominal

gradient électrique calculé à U_0 avec les dimensions nominales

4 Désignations des tensions et des matériaux

4.1 Tensions assignées

Dans cette norme, les symboles U_0 , U et U_m sont utilisés pour désigner les tensions assignées des câbles et des accessoires, ces symboles ayant la signification donnée dans la CEI 60183.

4.2 Mélanges isolants pour câbles

La présente norme s'applique aux câbles isolés au moyen des mélanges énumérés dans le Tableau 1, qui spécifie également pour les câbles, avec chaque type de mélange isolant, les températures maximales de service de l'âme servant de base aux conditions d'essai spécifiées.

4.3 Ecrans et gaines métalliques pour câbles

Cette norme s'applique aux diverses conceptions en usage. Elle prend en compte les constructions qui procurent une étanchéité radiale à l'eau et les autres constructions.

Les constructions qui procurent une étanchéité radiale à l'eau comprennent principalement

- les gaines métalliques,
- les feuilles ou rubans métalliques posés en long et contrecollés à la gaine extérieure,
- les écrans composites, incluant une nappe de fils en complément soit d'une gaine soit d'un ruban ou d'une feuille métallique contrecollé à la gaine extérieure et jouant le rôle d'une barrière d'étanchéité radiale à l'eau (voir Article 5),

et d'autres constructions telles que

- des feuilles ou rubans métalliques non collés à la gaine extérieure,
- une nappe de fils métalliques seulement.

NOTE Dans tous les cas l'écran ou la gaine métallique doit être capable de transporter la totalité du courant de défaut.

4.4 Mélanges pour gaines extérieures de câbles

Les essais sont spécifiés pour quatre types de gaines extérieures comme suit:

- ST_1 et ST_2 à base de chlorure de polyvinyle (PVC);
- ST_3 et ST_7 à base de polyéthylène (PE).

Le choix du type de gaine extérieure dépend de la conception du câble et de ses contraintes mécaniques et thermiques en fonctionnement.

Les températures maximales de service de l'âme pour les différents matériaux de gaine prévus par la présente norme sont données dans le Tableau 2.

NOTE Pour certaines applications la gaine extérieure peut être recouverte d'une couche fonctionnelle (par exemple, semi-conductrice)

5 Précautions contre l'entrée d'eau dans les câbles

Lorsque les systèmes de câbles sont installés dans le sol, dans des galeries facilement inondables ou dans l'eau, une barrière d'étanchéité radiale est recommandée.

NOTE Actuellement, il n'existe pas d'essai de pénétration radiale de l'eau.

Des barrières d'étanchéité longitudinale peuvent également être appliquées afin d'éviter le remplacement de grandes longueurs de câble en cas de détérioration en présence d'eau.

Un essai de pénétration longitudinale de l'eau est donné en 12.5.14.

6 Caractéristiques du câble

Dans le but de réaliser et d'enregistrer les essais du système de câble ou les essais du câble décrits dans cette norme, le câble doit être identifié. Les caractéristiques suivantes doivent être connues ou annoncées:

- a) Le nom du fabricant, le type, la désignation et la date de fabrication ou le code de la date.
- b) La tension assignée: les valeurs de U_0 , U , U_m doivent être indiquées (voir 4.1 et 8.4).
- c) Le type d'âme, son matériau constitutif et sa section nominale, exprimée en millimètres carrés; la constitution de l'âme; la présence éventuelles et la nature des dispositions prises pour réduire l'effet de peau; la présence éventuelle et la nature des dispositions prises pour assurer une étanchéité longitudinale; si la section nominale n'est pas conforme à la CEI 60228, la résistance en courant continu doit être ramenée à une longueur de 1 km et à 20 °C.
- d) Le matériau et l'épaisseur nominale de l'enveloppe isolante (t_n) (voir 4.2). Si l'enveloppe isolante est en PR, la présence d'additifs spéciaux doit être déclarée si la plus forte valeur de $\tan \delta$ selon le Tableau 3 est valable.
- e) Le procédé de fabrication pour le système d'isolation.
- f) La présence éventuelle et la nature des dispositions prises pour assurer l'étanchéité au niveau de l'écran.
- g) Le matériau et la constitution de l'écran métallique, par exemple le nombre et le diamètre des fils. (La résistance en courant continu de l'écran métallique doit être déclarée.) Le matériau, la constitution et l'épaisseur nominale de la gaine métallique, du ruban ou de la feuille métallique posé(e) en long et contrecollé(e) à la gaine extérieure, selon la constitution de l'écran.
- h) Le matériau et l'épaisseur nominale de la gaine extérieure.
- i) Le diamètre nominal sur âme (d).
- j) Le diamètre nominal sur câble complet (D).
- k) Le diamètre nominal intérieur (d_{ii}) et le diamètre nominal extérieur calculé (D_{io}) de l'enveloppe isolante.
- l) La capacité linéique (capacité rapportée au 1 km) nominale entre l'âme et l'écran ou la gaine métallique.
- m) Le gradient électrique nominal calculé au semi-conducteur sur âme (E_i) et sur enveloppe isolante (E_o):

$$E_i = \frac{2U_0}{d_{ij} \times \ln(D_{io} / d_{ij})}$$

$$E_o = \frac{2U_0}{D_{io} \times \ln(D_{io} / d_{ij})}$$

où

$$D_{io} = d_{ij} + 2t_n;$$

d_{ij} est le diamètre intérieur nominal déclaré de l'enveloppe isolante;

D_{io} est le diamètre nominal calculé sur l'enveloppe isolante;

t_n est l'épaisseur nominale déclarée de l'enveloppe isolante.

La valeur de U_0 est donnée dans le Tableau 4.

7 Caractéristiques des accessoires

Dans le but de réaliser et d'enregistrer les essais décrits dans cette norme, l'accessoire doit être identifié.

Les caractéristiques suivantes doivent être connues ou annoncées:

- a) les câbles utilisés pour essayer les accessoires doivent être identifiés conformément à l'Article 6;
- b) les raccords de connexion d'âme utilisés dans les accessoires doivent être correctement identifiés, lorsque c'est applicable, en ce qui concerne
 - la technique de montage,
 - les outils, matrices et matériels nécessaires,
 - la préparation des surfaces de contact,
 - les types, numéro de référence et toute autre caractérisation du raccord de connexion,
 - les détails de l'acceptation de type du raccord de connexion, le cas échéant;
- c) les accessoires à essayer doivent être correctement identifiés en ce qui concerne
 - le nom du fabricant,
 - le type, désignation, date de fabrication ou code de date,
 - la tension assignée (voir 6 b) ci-dessus),
 - les instructions de montage (référence et date).

8 Conditions d'essai

8.1 Température ambiante

Sauf spécification contraire précisée pour chaque essai particulier, les essais doivent être effectués à une température ambiante de $(20 \pm 15) ^\circ\text{C}$.

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

La fréquence des tensions alternatives d'essai doit être comprise entre 49 Hz et 61 Hz, sauf spécification contraire indiquée dans la présente norme. La forme d'onde de ces tensions doit être pratiquement sinusoïdale. Les valeurs indiquées sont des valeurs efficaces.

8.3 Forme d'onde des tensions d'essai en choc de foudre

Comme spécifiée dans la CEI 60230, le choc de foudre normalisé doit avoir un front d'onde d'une durée comprise entre 1 μ s et 5 μ s. Conformément à la CEI 60060-1, le choc de foudre normalisé doit avoir une durée jusqu'à mi-valeur de 50 μ s $\pm$ 10 μ s.

8.4 Relations entre tensions d'essai et tensions assignées

Lorsque les tensions d'essai sont spécifiées dans cette norme comme étant des multiples de la tension assignée U_0 , la valeur de U_0 pour la détermination des tensions d'essai doit être conforme au Tableau 4.

Pour les câbles et les accessoires dont la tension assignée ne figure pas dans le tableau, la valeur de U_0 pour la détermination des tensions d'essai peut être la même que pour la tension assignée donnée la plus proche, à condition que la valeur de U_m pour le câble et l'accessoire ne soit pas supérieure à la valeur correspondante du tableau. Dans le cas contraire, et en particulier si la tension assignée n'est pas proche d'une des valeurs du tableau, la valeur de U_0 sur laquelle sont basées les tensions d'essai doit être égale à la valeur assignée, à savoir U , divisée par $\sqrt{3}$.

Les tensions d'essai figurant dans cette norme sont fondées sur l'hypothèse que les câbles et les accessoires sont utilisés sur des réseaux de la catégorie A ou B, telle que définie dans la CEI 60183.

8.5 Détermination de la température de l'âme du câble

Il est recommandé que l'une des méthodes décrites à l'Annexe A soit utilisée pour déterminer la température réelle de l'âme.

9 Essais individuels des câbles et de l'isolation principale des accessoires préfabriqués

9.1 Généralités

Les essais suivants doivent être effectués sur toutes les longueurs de câble:

- a) essai de décharges partielles (voir 9.2);
- b) essai de tension (voir 9.3);
- c) essai électrique sur la gaine extérieure, s'il est prescrit (voir 9.4).

L'ordre de succession des essais est laissé à la discrétion du fabricant.

L'isolation principale des accessoires préfabriqués doit être soumise aux essais individuels de décharges partielles (voir 9.2) et de tension (voir 9.3), selon l'une des variantes 1), 2) ou 3) ci-dessous:

- 1) sur les accessoires montés sur câble;
- 2) en utilisant un accessoire hôte dans lequel le composant à éprouver est inséré en substitution du composant correspondant de l'accessoire hôte;
- 3) en utilisant un dispositif de simulation de l'accessoire, dans lequel on reproduit l'environnement électrique d'un composant de l'isolation principale.

Dans les cas 2) et 3), la tension d'essai doit être choisie de façon à obtenir des champs électriques au moins égaux à ceux qui seraient appliqués au composant dans un accessoire complet soumis aux tensions d'essai spécifiées en 9.2 et 9.3.

NOTE L'isolation principale des accessoires préfabriqués est constituée des composants qui sont en contact direct avec l'enveloppe isolante du câble et qui sont nécessaires et essentiels au contrôle de la répartition du champ électrique dans l'accessoire. Des exemples sont des composants isolants en élastomère ou en résine époxyde, prémoulés ou coulés, pouvant être utilisés individuellement ou en combinaison de façon à assurer la reconstitution d'enveloppe isolante et d'écran des accessoires.

9.2 Essai de décharges partielles

L'essai de décharges partielles doit être réalisé conformément à la CEI 60885-3 pour les câbles, excepté que la sensibilité telle que définie dans la CEI 60885-3 doit être de 10 pC ou mieux. L'essai des accessoires suit les mêmes principes mais la sensibilité doit être de 5 pC ou mieux.

La tension d'essai doit être augmentée progressivement et maintenue à $1,75 U_0$ pendant 10 s puis ramenée lentement à $1,5 U_0$ (voir Tableau 4, colonne 5).

Il ne doit pas y avoir de décharge détectable supérieure à la sensibilité déclarée provenant de l'objet en essai à $1,5 U_0$.

9.3 Essai de tension

L'essai de tension doit être effectué à la température ambiante en appliquant une tension d'essai alternative à fréquence industrielle.

La tension d'essai doit être augmentée progressivement jusqu'à $2,5 U_0$ (voir Tableau 4, colonne 4) puis maintenue à cette valeur pendant 30 min entre l'âme et l'écran ou la gaine métallique.

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

9.4 Essai électrique sur la gaine extérieure du câble

Si cela est exigé dans un contrat ou une commande particulière, la gaine extérieure doit être soumise à l'essai électrique individuel spécifié à l'Article 3 de la CEI 60229:2007.

10 Essais sur prélèvements des câbles

10.1 Généralités

Les essais suivants doivent être effectués sur des échantillons qui, pour les essais des points b) et g), peuvent être des longueurs complètes de câble sur touret, représentatives de lots:

- a) examen de l'âme (voir 10.4);
- b) mesure de la résistance électrique de l'âme et de l'écran métallique (voir 10.5);
- c) mesure de l'épaisseur de l'enveloppe isolante et de celle de la gaine extérieure (voir 10.6);
- d) mesure de l'épaisseur de la gaine métallique (voir 10.7);
- e) mesure des diamètres, si cela est prescrit (voir 10.8);
- f) essai d'allongement à chaud des enveloppes isolantes en PR, en EPR et en HEPR (voir 10.9);
- g) mesure de la capacité (voir 10.10);
- h) mesure de la masse volumique des enveloppes isolantes en PEHD (voir 10.11);
- i) essai au choc de foudre pour un câble dont le gradient nominal au niveau du semi-conducteur sur âme calculé selon Article 6, point m) est supérieur à 8,0 kV/mm (voir 10.12);

- j) essai de pénétration d'eau, s'il s'applique (voir 10.13);
- k) essais sur les composants de câbles avec ruban ou feuille métallique posé(e) en long et contrecollé(e) à la gaine extérieure (voir 10.14).

10.2 Fréquence des essais

Les essais sur prélèvements des points a) à h) et k) en 10.1 doivent être effectués sur une longueur de câble prise dans chaque lot de fabrication de câbles de même type et de même section, le nombre de longueurs étant toutefois limité à 10 %, arrondi à l'unité entière la plus proche, du nombre total de longueurs stipulées dans tout contrat.

Les essais des points i) et j) en 10.1 doivent être effectués à la fréquence indiquée dans les procédures agréées de contrôle de la qualité. En l'absence de telles procédures, un essai doit être réalisé pour les contrats portant sur une longueur de câble supérieure à 20 km.

10.3 Répétition des essais

Si l'un des échantillons choisis ne satisfait pas à l'un des essais énumérés en 10.1, de nouveaux échantillons doivent être prélevés sur deux autres longueurs de câble du même lot et être soumis aux essais dans lesquels l'échantillon d'origine s'est montré défectueux. Si ces deux longueurs sont satisfaisantes, l'ensemble des autres câbles du lot dont ils ont été extraits sont considérés comme conformes aux exigences de cette norme. Si l'une ou l'autre des longueurs est défectueuse, le lot de câbles doit être considéré comme non conforme.

10.4 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.

10.5 Mesure de la résistance électrique de l'âme et de l'écran métallique

La longueur de câble complète, 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 d'au moins 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 de l'âme ou de l'écran métallique en courant continu doit être ramenée à une température de 20 °C et à une longueur de 1 km au moyen des formules et des facteurs indiqués dans la CEI 60228. Les coefficients de température et formules de correction pour les matériaux d'écran autres que le cuivre et l'aluminium doivent être repris du Tableau 1 et du 2.1.1 de la CEI 60287-1-1:2006.

La résistance de l'âme en courant continu à 20 °C ne doit pas être supérieure à la valeur maximale correspondante indiquée dans la CEI 60228 ou à la valeur déclarée.

La résistance de l'écran métallique en courant continu à 20 °C ne doit pas être supérieure à la valeur déclarée

10.6 Mesure de l'épaisseur de l'enveloppe isolante et de celle de la gaine extérieure du câble

10.6.1 Généralités

La méthode d'essai doit être conforme à celle qui est décrite dans l'Article 8 de la CEI 60811-1-1:1993 et l'Amendement 1:2001.

Chaque longueur de câble choisie pour l'essai est représentée par un échantillon de câble prélevé à une extrémité, après élimination, si nécessaire, des parties éventuellement endommagées.

10.6.2 Exigences relatives à l'enveloppe isolante

La plus faible épaisseur mesurée ne doit pas être inférieure à 90 % de l'épaisseur nominale:

$$t_{\min} \geq 0,90 t_n$$

en outre:

$$\frac{t_{\max} - t_{\min}}{t_{\max}} \leq 0,15$$

où

$t_{\max}$ est l'épaisseur maximale, en millimètres;

$t_{\min}$ est l'épaisseur minimale, en millimètres;

t_n est l'épaisseur nominale, en millimètres.

NOTE $t_{\max}$ et $t_{\min}$ sont les valeurs mesurées dans une seule et même coupe de l'enveloppe isolante.

L'épaisseur des écrans semi-conducteurs sur âme et l'épaisseur sur enveloppe isolante ne doivent pas être comprises dans l'épaisseur de l'enveloppe isolante.

10.6.3 Exigences relatives à la gaine extérieure du câble

La plus petite épaisseur mesurée ne doit pas être inférieure à 85 % de l'épaisseur nominale, diminuée de 0,1 mm c'est-à-dire

$$t_{\min} \geq 0,85 t_n - 0,1$$

où

$t_{\min}$ est l'épaisseur minimale, en millimètres;

t_n est l'épaisseur nominale, en millimètres.

De plus, pour les gaines appliquées sur une surface pratiquement lisse, la moyenne des valeurs mesurées, arrondie à 0,1 mm près selon l'Annexe B, ne doit pas être inférieure à l'épaisseur nominale.

Cette dernière exigence ne concerne pas les gaines appliquées sur une surface irrégulière, par exemple sur des écrans métalliques constitués de fils et/ou de rubans ou sur des gaines métalliques ondulées.

10.7 Mesure de l'épaisseur de la gaine métallique

Lorsque le câble comporte une gaine métallique de plomb, d'alliage de plomb ou d'aluminium, les essais suivants s'appliquent.

10.7.1 Gaine de plomb ou d'alliage de plomb

L'épaisseur minimale de la gaine ne doit pas être inférieure à 95 % de l'épaisseur nominale, diminuée de 0,1 mm, c'est-à-dire

$$t_{\min} \geq 0,95 t_n - 0,1$$

La mesure de l'épaisseur de la gaine doit être effectuée selon l'une des méthodes suivantes, au choix du fabricant.

10.7.1.1 Méthode «à plat»

La mesure doit être effectuée à l'aide d'un micromètre à faces planes, de touches de diamètre de 4 mm à 8 mm et d'une précision de $\pm 0,01$ mm.

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

10.7.1.2 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 de 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 $\pm 0,01$ 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.

10.7.2 Gaine lisse ou ondulée en aluminium

Pour une gaine lisse en aluminium, l'épaisseur minimale de la gaine ne doit pas être inférieure à 90 % de l'épaisseur nominale, diminuée de 0,1 mm, c'est-à-dire

$$t_{\min} \geq 0,9 t_n - 0,1$$

Pour une gaine ondulée en aluminium l'épaisseur minimale de la gaine métallique ne doit pas être inférieure à 85 % de l'épaisseur nominale, diminuée de 0,1 mm, c'est-à-dire

$$t_{\min} \geq 0,85 t_n - 0,1$$

Les mesures doivent être effectuées à l'aide d'un micromètre ayant des touches sphériques d'un rayon de 3 mm environ. La précision doit être de $\pm 0,01$ mm.

Les mesures doivent être effectuées sur un anneau de gaine de 50 mm de largeur environ, soigneusement prélevé sur le câble complet. 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.

10.8 Mesure des diamètres

Lorsque l'acheteur demande que le diamètre du conducteur et/ou le diamètre extérieur du câble soient mesurés, les mesures doivent être effectuées conformément à 8.3 de la CEI 60811-1-1 et à l'Amendement 1:2001.

10.9 Essai d'allongement à chaud des enveloppes isolantes en PR, EPR et HEPR

10.9.1 Mode opératoire

L'échantillonnage et la méthode d'essai doivent être conformes à l'Article 9 de la CEI 60811-2-1:1998 et l'Amendement 1:2001, les conditions d'essai étant données au Tableau 8.

Les échantillons doivent être prélevés dans la partie de l'enveloppe isolante où le degré de réticulation est considéré le plus faible pour le procédé de réticulation utilisé.

10.9.2 Exigences

Les résultats de l'essai doivent satisfaire aux exigences du Tableau 8.

10.10 Mesure de la capacité

La capacité de l'échantillon doit être mesurée entre l'âme et l'écran ou la gaine métallique à la température ambiante, et la température ambiante doit être enregistrée en même temps que les valeurs mesurées.

La valeur mesurée, ramenée à une longueur de 1 km, ne doit pas dépasser de plus de 8 % la valeur nominale déclarée par le fabricant.

10.11 Mesure de la masse volumique des enveloppes isolantes en PEHD

10.11.1 Mode opératoire

La masse volumique du PEHD doit être mesurée en utilisant l'échantillonnage et le mode opératoire indiqués à l'Article 8 de la CEI 60811-1-3:1993 et Amendement 1:2001.

10.11.2 Exigences

Les résultats de l'essai doivent satisfaire aux exigences du Tableau 8.

10.12 Essai au choc de foudre

Cet essai est requis seulement pour les câbles qui ont un gradient nominal sur âme calculé supérieur à 8 kV/mm.

L'essai doit être effectué sur un câble complet d'au moins 10 m de longueur, en excluant les accessoires, l'âme étant à une température comprise entre 5 K et 10 K au-dessus de la température maximale de l'âme en service normal.

Le montage doit être chauffé par circulation de courant dans l'âme jusqu'à ce que le câble atteigne la température requise.

NOTE Si, pour des raisons pratiques, la température d'essai ne peut être atteinte, un calorifugeage supplémentaire peut être appliqué.

La tension de choc doit être appliquée conformément au mode opératoire indiqué dans la CEI 60230.

Le câble doit résister sans perforation à 10 chocs positifs et à 10 chocs négatifs de tension de valeur appropriée, indiquée au Tableau 4, colonne 8.

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

10.13 Essai de pénétration d'eau

Au cas où cet essai est demandé, des échantillons de câble complet doivent être prélevés et l'essai doit être réalisé conformément aux exigences de 12.5.14.

10.14 Essais sur les composants de câbles avec un ruban ou une feuille métallique posé(e) en long et contrecollé(e) à la gaine extérieure

Pour des câbles avec ruban ou feuille métallique posé(e) en long et contrecollé(e) à la gaine extérieure, un échantillon de 1 m doit être prélevé sur le câble complet et soumis aux essais et exigences de 12.5.15.

11 Essais sur prélèvements des accessoires

11.1 Essais des composants

Les caractéristiques de chaque composant doivent être vérifiées selon les spécifications du fabricant d'accessoires, soit par un rapport d'essai du fournisseur d'un composant, soit par des essais internes.

Le fabricant d'un accessoire doit présenter une liste des essais à effectuer sur chaque composant, et indiquer la fréquence de chaque essai.

Les composants doivent être inspectés en référence à leur plan. Aucune déviation en dehors des tolérances annoncées n'est admise.

NOTE Comme les composants diffèrent d'un fournisseur à l'autre, il n'est pas possible de définir pour ceux-ci des essais sur prélèvement communs dans cette norme.

11.2 Essais sur accessoires complets

Lorsque l'isolation principale ne peut pas être essayée indépendamment (voir 9.1), les essais électriques suivants doivent être effectués par le fabricant sur un accessoire complètement monté:

- a) essai de décharges partielles (voir 9.2);
- b) essai de tension (voir 9.3).

La séquence d'essais est laissée à l'appréciation du fabricant.

NOTE À titre d'exemple d'isolations principales qui ne peuvent pas être essayées individuellement, on cite les isolations rétractables à chaud et les isolations rubanées ou moulées sur place.

Un accessoire de chaque type doit être essayé si le contrat comporte la fourniture de plus de 50 accessoires.

Si un accessoire ne satisfait pas à l'un des deux essais ci-dessus, deux autres accessoires de même type doivent être prélevés et soumis aux mêmes essais. Si les deux accessoires satisfont à l'essai, l'ensemble des accessoires du même type du contrat doit être considéré comme conforme aux exigences de la présente norme. Si l'un d'eux est défectueux, ce type d'accessoire du contrat doit être considéré comme non conforme.

12 Essais de type des systèmes de câbles

12.1 Généralités

Les essais spécifiés dans cet article ont pour but de démontrer le comportement satisfaisant des systèmes de câble.

Les références des paragraphes à considérer pendant un essai de type d'un système de câble sont données dans un tableau de l'Annexe C.

NOTE Les essais ayant trait au comportement environnemental des extrémités ne sont pas compris dans cette norme.

12.2 Etendue de l'acceptation de type

Lorsque les essais de type ont été réalisés avec succès sur un ou des système(s) de câble de section, de tension assignée et de constitution spécifiques, l'acceptation de type doit être considérée comme valable pour les systèmes de câbles du domaine d'application de la

présente norme avec d'autres sections, tensions assignées et constitutions si toutes les conditions de a) à f) sont remplies:

NOTE 1 Les essais de type qui ont été réalisés conformément à la précédente édition de cette norme restent valables.

a) le groupe de tension n'est pas supérieur à celui du ou des système(s) de câble essayé(s);

NOTE 2 Dans ce contexte, les systèmes de câbles du même groupe de tension assignée sont ceux qui ont des tensions assignées ayant une même valeur de U_m , tension la plus élevée pour le matériel, et les mêmes valeurs de tension d'essai (voir Tableau 4, colonne 1 et 2).

b) la section d'âme n'est pas supérieure à celle du câble essayé;

c) le câble et les accessoires ont la même constitution ou une constitution similaire à celle du(es) système(s) de câble(s) essayé(s);

NOTE 3 Des câbles et des accessoires sont considérés comme étant de constitution similaire si la nature et le procédé de fabrication de l'enveloppe isolante et des écrans semi-conducteurs sont les mêmes. Il n'est pas nécessaire de répéter les essais de type électriques en raison de différences dans le type ou le matériau de l'âme ou le type ou le matériau du raccord de connexion ou des couches protectrices appliquées sur les conducteurs isolés ou sur l'isolation principale de l'accessoire, à moins que ces différences ne soient susceptibles d'avoir un effet significatif sur les résultats d'essai. Dans certains cas, il peut être opportun de reprendre un ou plusieurs des essais de type (par exemple l'essai d'enroulement, l'essai de cycles de chauffage et/ou l'essai de compatibilité).

d) la valeur calculée du gradient nominal de tension et de choc sur l'écran sur âme, calculée en utilisant les dimensions nominales du câble, ne dépasse pas de plus de 10 % les gradients respectifs calculés du ou des systèmes de câbles essayés;

e) la valeur calculée du gradient nominal de tension et de choc sur l'enveloppe isolante calculée en utilisant les dimensions nominales du câble, ne dépasse pas les gradients respectifs calculés du ou des systèmes de câbles essayés;

f) les valeurs calculées du gradient nominal de tension et de choc dans l'isolation principale de l'accessoire et aux interfaces entre câble et accessoire ne sont pas supérieures à celles, calculées, du ou des systèmes de câbles essayés

Les essais de type des constituants du câble (voir 12.5) n'ont pas à être effectués sur des échantillons de câble de différentes tensions assignées et/ou sections d'âme, à moins que des matériaux et/ou des procédés de production différents n'aient été utilisés pour leur fabrication. Cependant, il peut être nécessaire de répéter les essais de vieillissement sur câble complet pour vérifier la compatibilité des matériaux (voir 12.5.4) si la combinaison des matériaux appliqués au-dessus du conducteur isolé est différente de celle du câble qui a subi les essais de type antérieurement.

Un certificat d'essai de type, signé par le représentant d'un organisme de contrôle compétent, ou un rapport établi par le fabricant donnant les résultats des essais et signé par le responsable habilité, ou un certificat d'essai de type établi par un laboratoire d'essais indépendant constituent des preuves acceptables de l'exécution des essais de type.

12.3 Résumé des essais de type

Les essais de type doivent comprendre les essais électriques effectués sur le système de câble complet, spécifiés en 12.4, et les essais non électriques appropriés sur les constituants de câble et sur câble complet, spécifiés en 12.5.

Les essais non électriques sur les constituants de câble et sur câble complet sont résumés au Tableau 5, qui indique les essais applicables à chaque type de matériau d'enveloppe isolante et de gaine extérieure. L'essai de câbles soumis au feu n'est exigé que dans le cas où le fabricant souhaite obtenir la conformité à cet essai comme caractéristique particulière du type du câble.

Les essais énumérés en 12.4.2 doivent être effectués sur un ou plusieurs échantillons de câble complet en fonction du nombre d'accessoires concernés, d'au moins 10 m de longueur, accessoires non compris.

La longueur de câble minimale entre accessoires doit être de 5 m.

Les accessoires doivent être montés après que le câble a subi l'essai d'enroulement. Un accessoire de chaque type doit être essayé.

Les câbles et les accessoires doivent être montés conformément aux instructions du fabricant, avec les qualités et les quantités de matériaux compris dans la fourniture, lubrifiants éventuels inclus.

La surface externe des accessoires doit être sèche et propre, mais ni les câbles ni les accessoires ne doivent être soumis à un conditionnement qui ne soit pas spécifié dans les instructions du fabricant, susceptible de modifier les caractéristiques électriques, thermiques ou mécaniques.

Pendant les essais des points c) à g) de 12.4.2, la jonction doit être munie de sa protection externe. S'il peut être démontré que cette protection n'exerce pas d'influence sur le comportement de l'enveloppe isolante de la jonction, par exemple qu'il n'y a pas d'effet thermomécanique ou de compatibilité, la protection peut être omise.

La mesure de la résistivité des écrans semi-conducteurs décrite en 12.4.9 doit être réalisée sur un échantillon séparé.

12.4 Essais électriques sur systèmes de câble complet

12.4.1 Valeurs des tensions d'essai

Avant de procéder aux essais électriques de type, l'épaisseur de l'enveloppe isolante doit être mesurée selon la méthode spécifiée en 8.1 de la CEI 60811-1-1:1993 et Amendement 1:2001, sur un tronçon représentatif de la longueur de câble à essayer, afin de vérifier que cette épaisseur n'est pas excessive en regard de la valeur nominale.

Si l'épaisseur moyenne de l'enveloppe isolante ne dépasse pas la valeur nominale de plus de 5 %, les tensions d'essai doivent être les valeurs spécifiées au Tableau 4 pour la tension assignée du câble.

Si l'épaisseur moyenne de l'enveloppe isolante dépasse la valeur nominale de plus de 5 %, sans toutefois excéder 15 %, la tension d'essai doit être ajustée de manière que le gradient électrique sur l'écran sur âme soit égal à celui qu'on obtiendrait si l'épaisseur moyenne de l'enveloppe isolante était égale à la valeur nominale et si les tensions d'essai avaient les valeurs normales spécifiées pour la tension assignée du câble.

L'épaisseur moyenne d'enveloppe isolante de la longueur de câble utilisée pour les essais électriques de type ne doit pas être supérieure à la valeur nominale de plus de 15 %.

12.4.2 Essais et séquence d'essais

Les essais de a) à h) doivent se dérouler selon la séquence suivante:

- a) essai d'enroulement du câble (voir 12.4.3) suivi de l'installation des accessoires et d'un essai de décharges partielles à la température ambiante (voir 12.4.4);
- b) mesure de $\tan \delta$ (voir 12.4.5);

NOTE 1 Cet essai peut être effectué sur un échantillon différent de câble, muni d'extrémités d'essai spéciales différentes de celles utilisées pour le reste de la séquence d'essais.

- c) essai de cycles de chauffage sous tension (voir 12.4.6);
- d) essais de décharges partielles (voir 12.4.4):

– à la température ambiante, et

- à température élevée.

Les essais doivent être effectués après le dernier cycle du point c) ci-dessus ou, en variante, après l'essai aux chocs de foudre du point e) ci-dessous.

- e) essai aux chocs de foudre, suivi d'un essai de tenue sous tension à fréquence industrielle (voir 12.4.7);
- f) essais de décharges partielles, s'ils n'ont pas été réalisés au point d) ci-dessus;
- g) essais de la protection externe des jonctions (voir Annexe G);

NOTE 2 Ces essais peuvent être réalisés sur une jonction qui a satisfait à l'essai du point c), essai de cycles de chauffage sous tension, ou sur une jonction distincte qui a subi avec succès au moins trois cycles thermiques (voir Annexe G).

NOTE 3 Si le câble et la jonction ne sont pas soumis à des conditions humides en service (c'est-à-dire non enterrés directement dans le sol, ou sans immersion intermittente ou permanente dans l'eau), les essais de l'Article G.3 et G.4.2 peuvent être omis.

- h) examen du système de câble comprenant le câble et les accessoires doit être effectué après la réalisation de l'ensemble des essais ci-dessus (voir 12.4.8);
- i) la mesure de la résistivité des écrans semi-conducteurs (voir 12.4.9) doit être réalisée sur un échantillon séparé.

Les tensions d'essai doivent être en accord avec les valeurs figurant dans la colonne appropriée du Tableau 4.

12.4.3 Essai d'enroulement

L'échantillon de câble 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, et déroulé sans rotation axiale. On doit ensuite faire faire à l'échantillon une rotation de 180 ° et répéter le processus.

Ce cycle d'opérations doit être effectué trois fois en tout.

Le diamètre du cylindre d'essai ne doit pas être supérieur à ce qui suit

- pour les câbles sous gaine lisse en aluminium:
 - $36 (d + D) + 5 \%$ pour les câbles monopolaires;
 - $25 (d + D) + 5 \%$ pour les câbles tripolaires;
- pour les câbles à gaine en plomb, en alliage de plomb, à gaine métallique ondulée ou comportant un ruban ou une bande de métal appliquée longitudinalement (avec recouvrement ou soudée) et collée à la gaine extérieure:
 - $25 (d + D) + 5 \%$ pour les câbles monopolaires;
 - $20 (d + D) + 5 \%$ pour les câbles tripolaires;
- pour les autres câbles:
 - $20 (d + D) + 5 \%$ pour les câbles monopolaires;
 - $15 (d + D) + 5 \%$ pour les câbles tripolaires;

où

d est le diamètre nominal de l'âme, en millimètres (voir Article 6, point i));

D est le diamètre nominal extérieur du câble, en millimètres (voir Article 6, point j)).

NOTE Une tolérance négative n'est pas spécifiée, mais des essais avec des diamètres en dessous des valeurs spécifiées peuvent être effectués avec l'agrément du fabricant.

12.4.4 Essais de décharges partielles

Les essais doivent être effectués conformément à la CEI 60885-3, la sensibilité étant de 5 pC ou mieux.

La tension d'essai doit être augmentée progressivement et maintenue à $1,75 U_0$ pendant 10 s puis ramenée lentement à $1,5 U_0$ (voir Tableau 4, colonne 5).

A température élevée, l'essai doit être effectué sur le montage, l'âme du câble étant à une température comprise entre 5 K et 10 K au-dessus de la température maximale de l'âme en service normal. La température de l'âme doit être maintenue entre les limites de température indiquées pendant au moins 2 h.

Le montage doit être chauffé par circulation de courant dans l'âme uniquement, jusqu'à ce que celle-ci atteigne la température requise.

NOTE Si, pour des raisons pratiques, la température d'essai ne peut être atteinte, un calorifugeage supplémentaire peut être appliqué.

Il ne doit pas y avoir de décharge détectable, supérieure à la sensibilité déclarée, provenant de l'objet en essai à $1,5 U_0$.

12.4.5 Mesure de $\tan \delta$

L'échantillon doit être chauffé par circulation de courant dans l'âme uniquement, et la température de l'âme déterminée soit en mesurant sa résistance, soit par des capteurs de température placés à la surface de l'écran ou de la gaine, soit encore par des capteurs de température placés sur l'âme d'un autre échantillon du même câble chauffé par la même méthode.

L'échantillon doit être chauffé jusqu'à ce que l'âme atteigne une température comprise entre 5 K et 10 K au-dessus de la température maximale de l'âme en service normal.

NOTE Si, pour des raisons pratiques, la température d'essai ne peut être atteinte, un calorifugeage supplémentaire peut être appliqué.

La $\tan \delta$ doit être mesurée sous la tension U_0 à fréquence industrielle et à la température spécifiée ci-dessus (voir Tableau 4, colonne 6).

La valeur mesurée ne doit pas être supérieure à la valeur donnée dans le Tableau 3.

12.4.6 Essai de cycles de chauffage sous tension

Le câble doit être courbé en forme de U selon le diamètre spécifié en 12.4.3.

Le montage doit être chauffé par circulation de courant dans l'âme, jusqu'à ce que celle-ci atteigne une température qui se maintienne entre 5 K et 10 K au-dessus de la température maximale de l'âme en service normal.

NOTE 1 Si, pour des raisons pratiques, la température d'essai ne peut pas être atteinte, un calorifugeage supplémentaire peut être appliqué.

Le chauffage doit être appliqué pendant au moins 8 h. La température de l'âme doit être maintenue entre les limites de température indiquées pendant au moins 2 h au cours de chaque période de chauffage. On laisse ensuite le montage refroidir naturellement pendant au moins 16 h jusqu'à ce que l'âme atteigne soit une température de 30 °C, soit une température inférieure à la température ambiante majorée de 10 K, quelle que soit la température la plus élevée. On doit enregistrer le courant dans l'âme pendant les deux dernières heures de chaque période de chauffage.

Les cycles de chauffage et de refroidissement doivent être réalisés 20 fois au total.

Pendant toute la période d'essai, une tension de $2 U_0$ doit être appliquée au montage (voir Tableau 4, colonne 7).

Une interruption de l'essai est admise pour autant que l'échantillon subisse un total de 20 cycles de chauffage sous tension.

NOTE 2 Des cycles de chauffage à une température de l'âme supérieure de plus de 10 K au-dessus de la température maximale en service normal sont considérés comme valides.

12.4.7 Essais aux chocs de foudre suivi d'un essai sous tension du réseau

Le montage doit être chauffé par circulation de courant dans l'âme, jusqu'à ce que celle-ci atteigne une température qui se maintienne entre 5 K et 10 K au-dessus de la température maximale de l'âme en service normal.

La température de l'âme doit être maintenue entre les limites de température indiquées pendant au moins 2 h.

NOTE Si, pour des raisons pratiques, la température d'essai ne peut pas être atteinte, un calorifugeage supplémentaire peut être appliqué

La tension de choc doit être appliquée conformément au mode opératoire indiqué dans la CEI 60230.

Le montage doit résister sans claquage ou contournement à 10 chocs positifs et à 10 chocs négatifs de tension de valeur appropriée, indiquée au Tableau 4, colonne 8.

Après l'essai aux chocs de foudre, le montage doit être soumis à un essai de tension à fréquence industrielle à $2,5 U_0$ pendant 15 min (voir Tableau 4, colonne 9). Au choix du fabricant, l'essai peut être effectué soit pendant la période de refroidissement soit à la température ambiante.

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

12.4.8 Examen

12.4.8.1 Système de câble et accessoires

L'examen en vision normale ou corrigée sans grossissement du câble disséqué et, si possible, des accessoires après démontage ne doit révéler aucun signe de détérioration (par exemple dégradation électrique, écoulement, corrosion ou rétraction nuisible), susceptible d'affecter le système en exploitation.

12.4.8.2 Câbles avec un ruban ou une feuille métallique posé(e) en long et contrecollé(e) à la gaine extérieure

Un échantillon de câble d'1 m de long doit être prélevé du câble et soumis aux essais de 12.5.15.

12.4.9 Résistivité des écrans semi-conducteurs

La mesure de la résistivité des écrans semi-conducteurs du câble doit être réalisée sur un échantillon séparé.

La résistivité des écrans semi-conducteurs extrudés, appliqués sur âme et sur enveloppe isolante, doit être déterminée par des mesures sur des éprouvettes prélevées sur le conducteur d'un échantillon de câble après fabrication, et sur un échantillon de câble ayant subi l'essai de vieillissement spécifié en 12.5.4, destiné à vérifier la compatibilité des matériaux constitutifs.

12.4.9.1 Mode opératoire

La procédure d'essai doit être conforme à la description donnée à l'Annexe D.

Les mesures doivent être effectuées à la température maximale de l'âme en service normal, à ± 2 K près.

12.4.9.2 Exigences

Avant et après vieillissement, la résistivité ne doit pas être supérieure aux valeurs suivantes:

- écran sur âme: 1 000 $\Omega \cdot m$;
- écran sur enveloppe isolante 500 $\Omega \cdot m$.

12.5 Essais de type non électriques sur les constituants du câble et sur câble complet

Les essais sont les suivants:

- a) vérification de la constitution du câble (voir 12.5.1);
- b) détermination des propriétés mécaniques des enveloppes isolantes avant et après vieillissement (voir 12.5.2);
- c) détermination des propriétés mécaniques des gaines extérieures avant et après vieillissement (voir 12.5.3);
- d) essais de vieillissement sur tronçons de câbles complets pour vérifier la compatibilité des matériaux (voir 12.5.4);
- e) essai de perte de masse pour les gaines extérieures en PVC du type ST₂ (voir 12.5.5);
- f) essai de pression à température élevée sur les gaines extérieures (voir 12.5.6);
- g) essai à basse température pour les gaines extérieures en PVC (ST₁ et ST₂) (voir 12.5.7);
- h) essai de choc thermique pour les gaines extérieures en PVC (ST₁ et ST₂) (voir 12.5.8);
- i) essai de résistance à l'ozone des enveloppes isolantes en EPR et en HEPR (voir 12.5.9);
- j) essai d'allongement à chaud pour les enveloppes en EPR, en HEPR et en PR (voir 12.5.10);
- k) mesure de la masse volumique des enveloppes isolantes en PEHD (voir 12.5.11);
- l) mesure du taux de noir des gaines extérieures en PE de couleur noire (ST₃ et ST₇) (voir 12.5.12);
- m) essai des câbles soumis au feu (voir 12.5.13);
- n) essai de pénétration d'eau (voir 12.5.14);
- o) essais sur les composants de câbles avec ruban ou feuille métallique posé(e) en long et contrecollé(e) à la gaine extérieure (voir 12.5.15);
- p) essai de rétraction des enveloppes isolantes en PE, PEHD et PR (voir 12.5.16);
- q) essai de rétraction des gaines extérieures en PE (ST₃ et ST₇) (voir 12.5.17);
- r) détermination de la dureté de l'enveloppe isolante en HEPR (voir 12.5.18);
- s) détermination du module d'élasticité de l'enveloppe isolante en HEPR (voir 12.5.19).

12.5.1 Vérification de la constitution du câble

L'examen de l'âme et les mesures des épaisseurs de l'enveloppe isolante, de la gaine extérieure et de la gaine métallique doivent être effectués conformément à 10.4, 10.6 et 10.7 et satisfaire aux exigences qui y sont données.

12.5.2 Détermination des propriétés mécaniques des enveloppes isolantes avant et après vieillissement

12.5.2.1 Echantillonnage

L'échantillonnage et la préparation des éprouvettes doivent être effectués conformément à 9.1 de la CEI 60811-1-1:1993 et Amendement 1:2001.

12.5.2.2 Vieillissement thermique

Le traitement de vieillissement doit être effectué conformément à 8.1 de la CEI 60811-1-2:1985 et Amendement 1:1989 et Amendement 2:2000, selon les conditions indiquées au Tableau 6.

12.5.2.3 Conditionnement et essais mécaniques

Le conditionnement et la mesure des propriétés mécaniques doivent être effectués conformément à 9.1 de la CEI 60811-1-1:1985.

12.5.2.4 Exigences

Les résultats des essais sur les éprouvettes vieilles et non vieilles doivent satisfaire aux exigences du Tableau 6.

12.5.3 Détermination des propriétés mécaniques des gaines extérieures avant et après vieillissement

12.5.3.1 Echantillonnage

L'échantillonnage et la préparation des éprouvettes doivent être effectués conformément à 9.2 de la CEI 60811-1-1:1993 et Amendement 1:2001.

12.5.3.2 Vieillissement thermique

Le traitement de vieillissement doit être effectué conformément à 8.1 de la CEI 60811-1-2:1985 et Amendement 1:1989 et Amendement 2:2000, selon les conditions indiquées au Tableau 7.

12.5.3.3 Conditionnement et essais mécaniques

Le conditionnement et la mesure des propriétés mécaniques doivent être effectués conformément à 9.2 de la CEI 60811-1-1:1993 et Amendement 1:2001.

12.5.3.4 Exigences

Les résultats des essais sur les éprouvettes non vieilles et vieilles doivent satisfaire aux exigences du Tableau 7.

12.5.4 Essais de vieillissement sur tronçons de câbles complets pour vérifier la compatibilité des matériaux

12.5.4.1 Généralités

L'essai de vieillissement sur tronçons de câbles complets doit être effectué pour vérifier que l'enveloppe isolante, les couches semi-conductrices extrudées et la gaine extérieure ne sont pas susceptibles de se détériorer en service de manière exagérée du fait du contact avec les autres constituants du câble.

L'essai s'applique à tous les modèles de câbles.

12.5.4.2 Echantillonnage

Les échantillons destinés à l'essai sur l'enveloppe isolante et sur la gaine extérieure doivent être prélevés sur le câble complet comme indiqué en 8.1.4 de la CEI 60811-1-2:1985 et Amendement 1:1989 et Amendement 2:2000.

12.5.4.3 Vieillissement thermique

Le vieillissement des tronçons de câble doit être effectué dans une étuve à air, conformément à 8.1.4 de la CEI 60811-1-2:1985 et Amendement 1:1989 et Amendement 2:2000, dans les conditions suivantes:

- température: (10 ± 2) K au-dessus de la température maximale de l'âme du câble en service normal (voir Tableau 1);
- durée: 7×24 h.

12.5.4.4 Essais mécaniques

Les éprouvettes d'enveloppe isolante et de gaine extérieure provenant des échantillons préalablement vieillis doivent être préparées et soumises aux essais mécaniques comme indiqué en 8.1.4 de la CEI 60811-1-2:1985 et Amendement 1:1989 et Amendement 2:2000.

12.5.4.5 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 avant vieillissement (voir 12.5.2 et 12.5.3) ne doivent pas excéder les valeurs imposées après vieillissement en étuve à air spécifiées au Tableau 6 pour les enveloppes isolantes et au Tableau 7 pour les gaines extérieures.

12.5.5 Essai de perte de masse pour les gaines extérieures en PVC du type ST₂

12.5.5.1 Mode opératoire

L'essai de perte de masse pour les gaines extérieures du type ST₂ doit être réalisé conformément à 8.2 de la CEI 60811-3-2:1985 et Amendement 1:1993 et Amendement 2:2003, dans les conditions indiquées au Tableau 9.

12.5.5.2 Exigences

Les résultats doivent satisfaire aux exigences indiquées au Tableau 9.

12.5.6 Essai de pression à température élevée sur les gaines extérieures

12.5.6.1 Mode opératoire

L'essai de pression à température élevée sur les gaines extérieures de type ST₁, ST₂ et ST₇ doit être effectué conformément à 8.2 de la CEI 60811-3-1:1985 et Amendement 1:1994 et Amendement 2:2001, selon les conditions d'essai indiquées dans la méthode d'essai et dans le Tableau 7.

12.5.6.2 Exigences

Les résultats des essais doivent satisfaire aux exigences indiquées en 8.2 de la CEI 60811-3-1:1985 et Amendement 1:1994 et Amendement 2:2001.

12.5.7 Essais à basse température pour les gaines extérieures en PVC (ST₁ et ST₂)

12.5.7.1 Mode opératoire

Les essais à basse température pour les gaines extérieures de type ST₁ et ST₂ doivent être effectués conformément à l'Article 8 de la CEI 60811-1-4:1985 et Amendement 1:1993 et Amendement 2:2001, selon les températures d'essai étant indiquées au Tableau 9.

12.5.7.2 Exigences

Les résultats des essais doivent satisfaire aux exigences de l'Article 8 de la CEI 60811-1-4:1985 et Amendement 1:1993 et Amendement 2:2001.

12.5.8 Essai de choc thermique pour les gaines extérieures en PVC (ST₁ et ST₂)

12.5.8.1 Mode opératoire

L'essai de choc thermique sur les gaines extérieures de type ST₁ et ST₂ doit être effectué conformément à 9.2 de la CEI 60811-3-1:1985 et Amendement 1:1994 et Amendement 2:2001, la température d'essai et la durée de chauffage étant conformes au Tableau 9.

12.5.8.2 Exigences

Les résultats de l'essai doivent satisfaire aux exigences de 9.2 de la CEI 60811-3-1:1985 et Amendement 1:1994 et Amendement 2:2001.

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

12.5.9.1 Procédure

Les enveloppes isolantes en EPR et en HEPR doivent faire l'objet d'un essai de résistance à l'ozone selon l'échantillonnage et le mode opératoire spécifiés à l'Article 8 de la CEI 60811-2-1:1998 et Amendement 1:2001. La concentration en ozone et la durée de l'essai sont indiquées au Tableau 8.

12.5.9.2 Exigences

Les résultats de l'essai doivent satisfaire aux exigences de l'Article 8 de la CEI 60811-2-1:1998 et Amendement 1:2001.

12.5.10 Essai d'allongement à chaud pour les enveloppes isolantes en EPR, en HEPR et en PR

Les enveloppes isolantes en EPR, en HEPR et en PR doivent être soumises à l'essai d'allongement à chaud décrit en 10.9 et doivent satisfaire aux exigences qui y sont données.

12.5.11 Mesure de la masse volumique des enveloppes isolantes en PEHD

La masse volumique des enveloppes isolantes en PEHD doit être mesurée conformément aux indications de 10.11 et doit satisfaire aux exigences qui y sont données.

12.5.12 Mesure du taux de noir de carbone des gaines extérieures en PE de couleur noire (ST₃ and ST₇)

12.5.12.1 Procédure

Le taux de noir de carbone des gaines extérieures de type ST₃ et ST₇ doit être mesuré en utilisant l'échantillonnage et le mode opératoire spécifiés à l'Article 11 de la CEI 60811-4-1:2004.

12.5.12.2 Exigences

Le taux de noir de carbone nominal doit être de $(2,5 \pm 0,5) \%$.

NOTE De plus faibles valeurs sont permises pour des applications spéciales sans exposition aux UV

12.5.13 Essai des câbles soumis au feu

L'essai de comportement en présence de feu doit être conforme à la CEI 60332-1-2. Il doit être effectué sur un échantillon de câble complet, lorsque le fabricant souhaite apporter la preuve que ce type de câble de constitution particulière satisfait aux exigences.

Les résultats doivent être conformes aux exigences de la CEI 60332-1-2.

12.5.14 Essai de pénétration d'eau

L'essai de pénétration d'eau doit être appliqué aux technologies de câbles comportant des barrières empêchant la pénétration longitudinale de l'eau comme indiqué en Article 6, point c) et en 6 f). L'essai est conçu pour être appliqué aux câbles enterrés et n'est pas destiné aux câbles prévus pour un usage sous-marin.

L'appareillage, l'échantillonnage, la méthode d'essai et les exigences doivent être conformes à l'Annexe E.

12.5.15 Essais sur les composants de câbles avec ruban ou feuille métallique posé(e) en long et contrecollé(e) à la gaine extérieure

L'échantillon doit être soumis aux essais ci-dessous:

- a) examen visuel (voir Article F.1);
- b) force d'adhérence de la bande métallique (voir Article F.2);
- c) force de décollement au recouvrement de la bande métallique (voir Article F.3).

L'appareillage, la méthode d'essai et les exigences doivent être conformes à l'Annexe F.

12.5.16 Essai de rétraction des enveloppes isolantes en PE, en PEHD et en PR

12.5.16.1 Procédure

L'essai de rétraction doit être effectué sur les enveloppes isolantes en PE, en PEHD ou en PR, selon l'échantillonnage et le mode opératoire indiqués à l'Article 10 de la CEI 60811-1-3:1993 et Amendement 1:2001, et les conditions d'essai précisées au Tableau 8.

12.5.16.2 Exigences

Les résultats doivent satisfaire aux exigences du Tableau 8.

12.5.17 Essai de rétraction des gaines extérieures (ST₃ et ST₇)

12.5.17.1 Procédure

L'essai de rétraction doit être exécuté sur les gaines extérieures selon l'échantillonnage et le mode opératoire indiqués à l'Article 11 de la CEI 60811-1-3:1993 et Amendement 1:2001 en PE conformément aux conditions spécifiées au Tableau 7.

12.5.17.2 Exigences

Les résultats doivent satisfaire aux exigences du Tableau 7.

12.5.18 Détermination de la dureté de l'enveloppe isolante en HEPR

12.5.18.1 Procédure

L'échantillonnage et la procédure d'essai doivent être conformes à l'Annexe H.

12.5.18.2 Exigences

Les résultats de l'essai doivent satisfaire aux exigences du Tableau 8.

12.5.19 Détermination du module d'élasticité de l'enveloppe isolante en HEPR

12.5.19.1 Mode opératoire

L'échantillonnage, la préparation des éprouvettes et le mode opératoire doivent être conformes à l'Article 9 de la CEI 60811-1-1:1993 et Amendement 1:2001.

Les charges nécessaires pour obtenir 150 % d'allongement doivent être mesurées. Les contraintes correspondantes doivent être calculées en divisant les charges mesurées par la section des éprouvettes non étirées. Les rapports entre contraintes et déformations sont déterminés pour obtenir les modules d'élasticité correspondant à l'allongement de 150 %.

La valeur médiane doit constituer le module d'élasticité correspondant.

12.5.19.2 Exigences

Les résultats de l'essai doivent satisfaire aux exigences du Tableau 8.

13 Essai de préqualification sur le système de câble

13.1 Généralités et domaine d'acceptation de l'essai de préqualification

Lorsqu'un essai de préqualification a été réalisé avec succès sur un système de câble, il qualifie le fabricant en tant que fournisseur de systèmes de câble de la même gamme de tensions assignées inférieures ou égales, à condition que les gradients électriques calculés à l'écran sur enveloppe isolante n'excèdent pas ceux du système de câble essayé.

L'essai de préqualification doit être réalisé sur les systèmes de câble pour lesquels le gradient nominal sur âme calculé est supérieur à 8,0 kV/mm et/ou le gradient nominal sur enveloppe calculé est supérieur à 4,0 kV/mm. L'essai de préqualification doit être réalisé sauf dans les cas suivants:

- si des systèmes de câble de même construction et avec des accessoires d'une même famille ont été préqualifiés pour une tension plus élevée;
- ou si le fabricant peut apporter la preuve d'une expérience satisfaisante en service avec des systèmes de câbles qui ont des gradients égaux ou plus élevés sur l'écran sur âme et enveloppe isolante, dans les parties principales de l'isolation et aux interfaces des accessoires, les accessoires étant de la même famille;
- ou si le fabricant a passé avec succès les exigences d'un essai de longue durée équivalent selon une spécification nationale ou selon la spécification d'un client sur un système de câble de même construction avec des accessoires de la même famille.

Lorsque la modification d'un système de câble préqualifié porte sur le remplacement du câble et/ou d'un accessoire par un autre qui est déjà préqualifié dans un autre système de câble avec des gradients électriques sur enveloppe supérieurs ou égaux, la préqualification doit être étendu au système comprenant l'un ou l'autre câble et/ou accessoire s'il répond à toutes les exigences du 13.3.

Lorsque la modification d'un système de câble porte sur le remplacement du câble et/ou d'un accessoire qui ne font pas partie d'un système de câble préqualifié ou qui sont déjà préqualifiés dans un autre système de câble avec des gradients électriques sur enveloppe plus faibles, l'essai de préqualification de ce nouveau système complet de câble doit être effectué et toutes les exigences du 13.2 doivent être satisfaites.

Une liste des essais de préqualification ou d'extension de préqualification est donnée à l'Annexe C.

NOTE 1 L'essai de préqualification n'est réalisé qu'une fois, sauf si une modification majeure est apportée au système de câble en ce qui concerne les matériaux, le procédé de fabrication, le dimensionnement et les niveaux de gradient électrique retenus pour le dimensionnement.

NOTE 2 Une modification majeure est définie comme un changement susceptible d'avoir un effet néfaste sur les performances du système de câble. Il convient que le fournisseur fournisse un dossier détaillé y compris des preuves d'essai si des modifications sont introduites qui démontent qu'elles ne constituent pas une modification majeure.

NOTE 3 Il est recommandé de réaliser l'essai de préqualification en utilisant un câble de forte section d'âme afin d'appréhender les aspects thermomécaniques.

Un certificat d'essai de préqualification signé par le représentant d'un organisme de contrôle compétent, ou un rapport établi par le fabricant donnant les résultats des essais et signé par le responsable habilité, ou un certificat d'essai de préqualification établi par un laboratoire d'essais indépendant, constituent des preuves acceptables de l'exécution de l'essai de préqualification.

13.2 Essai de préqualification sur système de câble complet

13.2.1 Résumé des essais de préqualification

L'essai de préqualification doit comprendre les essais électriques sur le système de câble complet et porter sur une longueur minimale de câble complet de 20 m muni d'au moins un accessoire de chaque type. La longueur minimale de câble entre accessoire doit être de 10 m. La séquence normale d'essai doit être la suivante:

- a) essai de cycles de chauffage sous tension (voir 13.2.4);
- b) essai à la tension de choc de foudre (voir 13.2.5);
- c) examen du système de câble après la réalisation des essais ci-dessus (voir 13.2.6).

Il est possible qu'un ou plusieurs accessoires ne satisfassent pas toutes les exigences des essais de préqualification de 13.2. Après réparation de la boucle d'essai, les essais de préqualification peuvent être poursuivis sur le restant du système de câble (le câble avec le restant des accessoires). Si le système de câble restant répond à toutes les exigences de 13.2, ce système de câble restant est préqualifié. Le ou les accessoires qui ne répondent pas à toutes les exigences sont exclus de cette préqualification. Cependant, l'essai de préqualification peut être poursuivi sur le câble avec le ou les accessoires remplacés jusqu'à ce qu'ils répondent à toutes les exigences en 13.2. Si le fabricant décide d'inclure l'accessoire réparé dans la préqualification du système, l'essai de préqualification du système complet est considéré comme démarrant après la réparation.

13.2.2 Valeurs des tensions d'essai

Avant de procéder aux essais de préqualification, l'épaisseur de l'enveloppe isolante doit être mesurée et, si nécessaire, les valeurs des tensions d'essai doivent être ajustées comme indiqué en 12.4.1

13.2.3 Montage d'essai

Les accessoires doivent être montés conformément aux instructions du fabricant avec les qualités et les quantités de matériaux compris dans la fourniture, lubrifiants éventuels inclus.

L'essai peut être réalisé dans un laboratoire et pas nécessairement dans une configuration qui simule les conditions réelles d'installation.

Si une jonction est conçue aussi bien pour des installations souples que pour des installations rigides, une première jonction doit être installée dans une configuration souple et une deuxième jonction dans une configuration rigide comme indiqué à la Figure 1. Si la jonction est conçue pour des installations rigides seulement, la jonction doit être installée en étant rigidement fixée de part et d'autre. Au cas où la jonction est conçue uniquement pour des installations souples, la jonction doit être installée dans une configuration souple des deux côtés.

Le câble doit être courbé en forme de U selon le diamètre spécifié en 12.4.3.

NOTE L'exemple de la Figure 1 est plus aisé à réaliser qu'une simulation des conditions pratiques complètes d'installation. Les aspects thermomécaniques ne seront pas essayés avec ce montage d'essai.

Dans des cas spéciaux où les aspects thermomécaniques doivent être pris en compte, il convient de considérer des montages spéciaux qui représentent les conditions réelles d'installation. Les conditions ambiantes peuvent varier entre installations d'essais et au cours de l'essai, mais on considère qu'elles n'ont pas d'influence majeure.

Comme une aire d'essai extérieure peut être utilisée, les limites communément spécifiées de la température ambiante de $(20 \pm 15) ^\circ\text{C}$ ne s'appliquent pas.

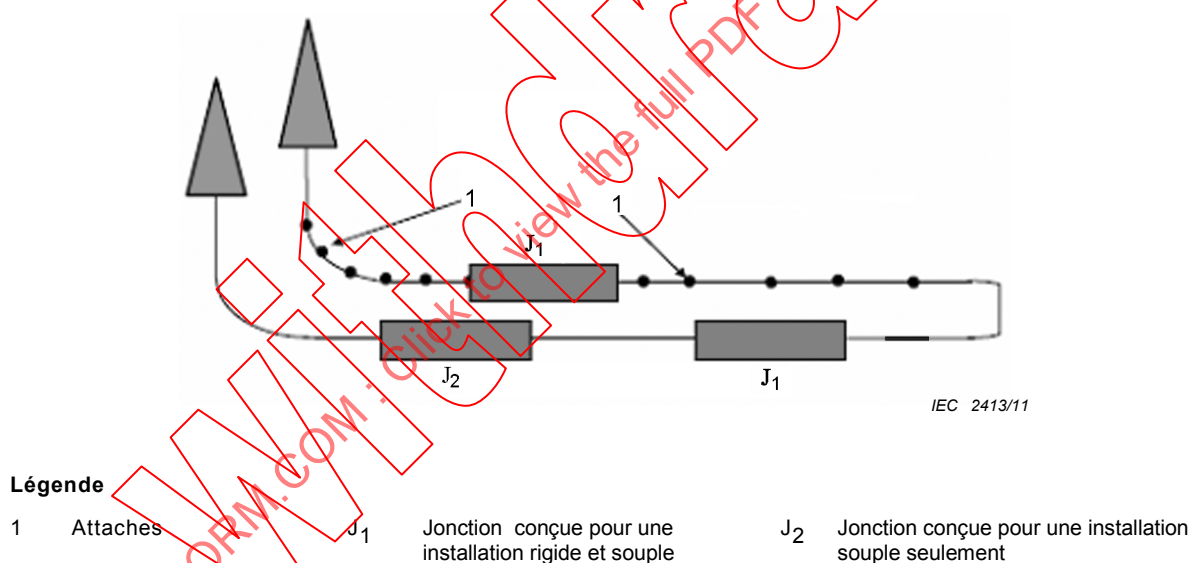


Figure 1 – Exemple de montage d'essai pour l'essai de préqualification

13.2.4 Essai de cycles de chauffage sous tension

Le montage doit être chauffé par circulation de courant dans l'âme uniquement, jusqu'à ce que celle-ci atteigne une température comprise entre 0 K et 5 K au-dessus de la température maximale de l'âme en service normal. Les conditions ambiantes variables peuvent impliquer un ajustement du courant dans l'âme au cours de l'essai.

Les dispositions concernant le chauffage doivent être choisies de façon telle que l'âme du câble atteigne la température spécifiée ci-dessus en dehors des accessoires. La température à la surface du câble doit être enregistrée pour information.

Le chauffage doit être appliqué pendant au moins 8 h. La température de l'âme doit être maintenue entre les limites de température indiquées pendant au moins 2 h au cours de chaque période de chauffage. On laisse ensuite le montage refroidir naturellement pendant au moins 16 h jusqu'à ce que l'âme atteigne soit une température de 30 °C soit une

température inférieure à la température ambiante majorée de 10 K, quelle que soit la température la plus élevée.

NOTE 1 Si pour des raisons pratiques la température d'essai ne peut être atteinte, une isolation thermique additionnelle peut être appliquée.

Les cycles de chauffage et de refroidissement doivent être réalisés 180 fois. Une tension de $1,7 U_0$ doit être appliquée au montage pendant toute la durée d'essai.

Il ne doit pas se produire de claquage.

NOTE 2 Il est recommandé de procéder à des mesures de décharges partielles pour être prévenu d'une éventuelle dégradation et permettre de procéder à une réparation avant de subir un claquage.

NOTE 3 Quelques cycles où la durée à haute ou/et basse température ne remplit pas totalement les exigences d'essai sont permis, avec un maximum de 10.

NOTE 4 Le nombre total de cycles doit être exécuté quel que soit le nombre d'interruptions.

NOTE 5 Des cycles de température de plus de 5 K au-dessus de la température maximale en service normal sont considérée comme valables.

13.2.5 Essai à la tension de choc de foudre

L'essai doit être réalisé sur un ou plusieurs échantillons de câble, représentant une longueur totale active d'au moins 10 m, prélevés sur le montage d'essai, à une température de l'âme comprise entre 0 K et 5 K au-dessus de la température maximale de l'âme en service normal. La température de l'âme doit être maintenue entre les limites de température indiquées pendant au moins 2 h.

NOTE 1 En variante, l'essai peut être réalisé sur le montage d'essai complet.

NOTE 2 Si, pour des raisons pratiques, la température d'essai ne peut être atteinte, un calorifugeage additionnel peut être appliqué.

La tension de choc doit être appliquée conformément au mode opératoire indiqué dans la CEI 60230.

Le montage d'essai doit résister sans claquage à 10 chocs positifs et à 10 chocs négatifs de tension de valeur appropriée, indiquée au Tableau 4, colonne 8.

13.2.6 Examen

Pour l'examen du système de câble comprenant le câble et les accessoires et les exigences requises, voir 12.4.8.

13.3 Essais d'extension de préqualification d'un système de câble

13.3.1 Résumé de l'extension de préqualification

Les essais d'extension de préqualification doivent comprendre les essais électriques effectués sur le système de câble complet, spécifiés en 13.3.2 et les essais non électriques sur le câble spécifiés en 12.5.

13.3.2 Partie électrique des essais d'extension de préqualification sur un système de câble complet

13.3.2.1 Généralités

Les essais énumérés en 13.3.2.3 doivent être exécutés sur une ou plusieurs longueurs d'essai d'un câble complet qui a déjà été préqualifié sur un système de câble, en fonction du nombre d'accessoires prévus lors de l'essai. La boucle d'essai du système de câble doit comprendre au moins un accessoire de chaque type proposé pour extension de

préqualification. L'essai peut être exécuté dans un laboratoire et pas nécessairement dans une situation qui simule des conditions réelles d'installation.

La longueur de câble minimale entre accessoires doit être de 5 m. La longueur totale minimale de câble doit être de 20 m.

Les câbles et les accessoires doivent être montés conformément aux instructions du fabricant avec les qualités et les quantités de matériaux compris dans la fourniture, lubrifiants éventuels inclus.

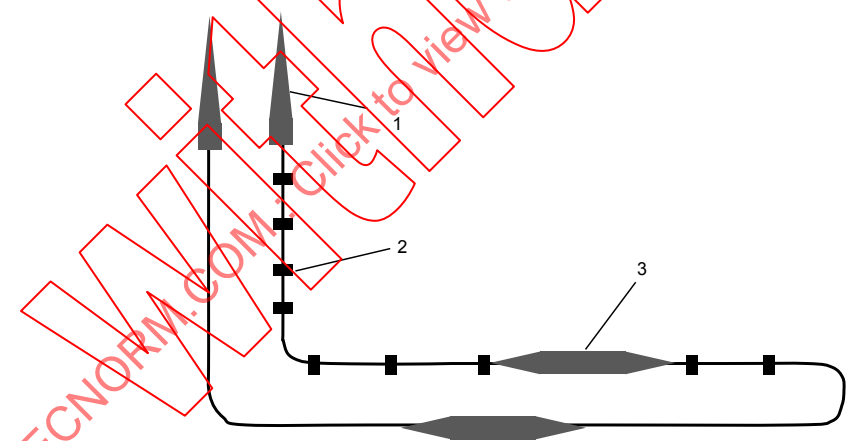
Si l'extension de préqualification est prévue sur une jonction utilisée aussi bien dans des installations souples que dans des installations rigides, une première jonction doit être installée dans une configuration souple et une deuxième jonction dans une configuration rigide, comme indiqué à la Figure 2.

Si le câble fait partie de l'extension de préqualification, le câble doit être courbé en forme de U selon le diamètre spécifié selon 12.4.3.

Tous les essais de la liste du 13.3.2.3 doivent être exécutés successivement sur le même échantillon, sous réserve des exceptions prévues en 3.3.2.2. Les accessoires doivent être montés après l'essai d'enroulement du câble.

La mesure de la résistivité des écrans semi-conducteurs décrite en 12.4.9 doit être exécutée sur un échantillon séparé.

Les mesures de résistivité des écrans semi-conducteurs peuvent être omises si l'extension de préqualification est uniquement destinée aux accessoires.



IEC 2414/11

Légende

- 1 extrémité
- 2 fixation
- 3 jonction

Figure 2 – Dispositif d'essai d'extension de préqualification d'un système pour la préqualification d'un système avec une autre jonction, prévue pour une installation rigide aussi bien qu'une installation souple

13.3.2.2 Valeurs des tensions d'essai

Avant de procéder aux essais d'extension de préqualification, l'épaisseur de l'enveloppe isolante doit être mesurée et, si nécessaire, les valeurs des tensions d'essai doivent être ajustées comme indiqué en 12.4.1.

13.3.2.3 Séquence de la partie électrique de l'extension de préqualification

Les essais doivent normalement se dérouler selon la séquence suivante:

- a) essai d'enroulement du câble (voir 12.4.3) mais sans essai de décharges partielles à la fin (voir 12.4.4) suivi de l'installation des accessoires qui font partie de l'essai pour l'extension de préqualification;
- b) un essai de décharges partielles (voir 12.4.4), exécuté après l'essai d'enroulement et l'essai d'installation des accessoires pour évaluer la qualité du montage des accessoires;
- c) essai de cycles de chauffage sans application de tension (voir 13.3.2.4);
- d) mesure de $\tan \delta$ (voir 12.4.5);

NOTE 1 Cet essai peut être effectué sur un échantillon différent de câble, muni d'extrémités d'essai spéciales différentes de celles utilisées pour le reste de la séquence d'essais.

- e) essai de cycles de chauffage sous tension (voir 12.4.6);
- f) essais de décharges partielles (voir 12.4.4) à la température ambiante, et à température élevée. Les essais doivent être effectués après le dernier cycle du point e) ci-dessus ou, en variante, après l'essai au choc de foudre du point g) ci-après;
- g) essai au choc de foudre, suivi d'un essai de tenue sous tension à fréquence industrielle (voir 12.4.7);
- h) essais de décharges partielles, s'ils n'ont pas été réalisés au point e) ci-dessus;
- i) essais de la protection externe des jonctions (voir Annexe G);

NOTE 2 Ces essais peuvent être réalisés sur une jonction qui a satisfait à l'essai du point c), essai de cycles de chauffage sous tension, ou sur une jonction distincte qui a subi avec succès au moins trois cycles thermiques (voir Annexe G).

NOTE 3 Si le câble et la jonction ne sont pas soumis à des conditions humides en service (c'est-à-dire non enterrés directement dans le sol ou sans immersion intermittente ou permanente dans l'eau), les essais à l'Article G.3 et G.4.2 peuvent être omis.

- j) l'examen du système de câble comprenant le câble et les accessoires doit être effectué après la réalisation de l'ensemble des essais ci-dessus (voir 12.4.8);
- k) la mesure de la résistivité des écrans semi-conducteurs (voir 12.4.9) doit être réalisée sur un échantillon séparé.

Les tensions d'essai doivent être conformes aux valeurs figurant dans la colonne appropriée du Tableau 4 avec un ajustement éventuel selon 13.3.2.2.

13.3.2.4 Essai de cycles de chauffage sans application de tension

Le montage doit être chauffé par circulation de courant dans l'âme uniquement, jusqu'à ce que celle-ci atteigne une température située entre 0 K et 5 K au-dessus de la température maximale de l'âme en service normal.

Le chauffage doit être appliqué pendant au moins 8 h. La température de l'âme doit être maintenue entre les limites de température indiquées pendant au moins 2 h au cours de chaque période de chauffage. On laisse ensuite le montage refroidir naturellement pendant au moins 16 h jusqu'à ce que l'âme atteigne soit une température de 30 °C soit une température inférieure à la température ambiante majorée de 10 K, quelle que soit la température la plus élevée. Le courant circulant dans l'âme doit être enregistré pendant les deux dernières heures de chaque période de chauffage.

Les cycles de chauffage et de refroidissement doivent être réalisés 60 fois au total.

NOTE Des cycles de température de plus de 5 K au-dessus de la température maximale en service normal sont considérés comme valables.

14 Essai de type des câbles

14.1 Généralités

Les essais spécifiés dans cet article ont pour but de démontrer le comportement satisfaisant des câbles seuls.

Cette procédure d'essai doit être appliquée aux câbles pour lesquels le gradient sur âme n'est pas supérieur à 8 kV/mm et le gradient sur enveloppe n'est pas supérieur à 4 kV/mm. Dans les autres cas, la procédure d'essai de type sur systèmes de câble de l'Article 12 doit être appliquée.

Une liste des essais de type des câbles est donnée en Annexe C.

14.2 Etendue de l'acceptation de l'essai de type

Lorsque les essais de type ont été réalisés avec succès sur un ou plusieurs câbles de section(s) spécifique(s), de même tension assignée et de même constitution, l'acceptation de type doit être considérée comme valable pour les câbles du domaine d'application de la présente norme avec d'autres sections, tensions assignées et constitutions si toutes les conditions de a) à e) sont remplies.

NOTE 1 Les essais de type qui ont été réalisés avec succès selon l'édition précédente de cette norme restent valables

a) Le groupe de tension n'est pas supérieur à celui du ou des câbles essayés.

NOTE 2 Dans ce contexte, les câbles du même groupe de tension assignée sont ceux qui ont des tensions assignées ayant une même valeur de U_m , tension la plus élevée pour le matériel, et par conséquent les mêmes valeurs de tension d'essai (voir Tableau 4, colonnes 1 et 2).

b) La section de l'âme n'est pas supérieure à celle du câble essayé.

c) le câble a la même constitution ou une constitution similaire à celle du ou des câbles essayés.

NOTE 3 Des câbles sont considérés comme étant de constitution similaire si la nature et le procédé de fabrication de l'enveloppe isolante et des écrans semi-conducteurs sont les mêmes. Il n'est pas nécessaire de répéter les essais de type électriques en raison de différences dans le type ou le matériau de l'âme ou des couches protectrices appliquées sur les conducteurs isolés, à moins que ces différences ne soient susceptibles d'avoir un effet significatif sur les résultats d'essai. Dans certains cas, il peut être opportun de reprendre un ou plusieurs des essais de type (l'essai d'enroulement, de cycles de chauffage et/ou l'essai de compatibilité).

d) La valeur calculée du gradient nominal sur l'écran sur âme ne dépasse pas de plus de 10 % le gradient nominal sur l'écran sur âme du ou des câbles essayés.

e) La valeur calculée du gradient nominal sur l'enveloppe isolante n'est pas supérieure au gradient nominal sur l'écran sur l'enveloppe isolante du ou des câbles essayés.

Les essais de type des constituants du câble (voir 12.5) doivent être effectués sur des échantillons de câble de différentes tensions assignées et/ou sections d'âme seulement si des matériaux ou des procédés de production différents ont été utilisés pour leur fabrication. Cependant, il peut être nécessaire de répéter les essais de vieillissement sur câble complet pour vérifier la compatibilité des matériaux (voir 12.5.4) si la combinaison des matériaux appliqués au-dessus du conducteur isolé est différente de celle du câble qui a subi les essais de type antérieurement.

Un procès-verbal d'essai de type signé par le représentant d'un organisme de contrôle compétent, ou un rapport établi par le fabricant donnant les résultats des essais et signé par le responsable habilité, ou un procès-verbal d'essai de type établi par un laboratoire d'essais indépendant, constituent des preuves acceptables de l'exécution des essais de type.

14.3 Résumé des essais de type

Les essais de type doivent comprendre les essais électriques effectués sur le câble complet, spécifiés en 12.4.1 et 14.4 et les essais non électriques appropriés sur les constituants de câble et sur câble complet, spécifiés en 12.5.

Les essais non électriques sur les constituants de câble et sur câble complet sont résumés au Tableau 5, qui indique les essais applicables à chaque type de matériau d'enveloppe isolante et de gaine extérieure. L'essai de câbles soumis au feu n'est exigé que dans le cas où le fabricant souhaite obtenir la conformité à cet essai comme caractéristique particulière du type du câble.

14.4 Essai de type sur câble complet

Les essais de a) à f) doivent être effectués en séquence sur un échantillon de câble complet d'au moins 10 m de longueur, accessoires d'essais non compris:

- a) essai d'enroulement du câble (voir 12.4.3) suivi de l'installation des accessoires et d'un essai de décharges partielles (voir 12.4.4);
- b) mesure de $\tan \delta$ (voir 12.4.5);
NOTE Cet essai peut être effectué sur un échantillon différentes de celles utilisées pour le reste de la séquence d'essais.
- c) essai de cycles de chauffage sous tension (voir 12.4.6), suivi d'un essai de décharges partielles à température ambiante (voir 12.4.4), qui doit être effectué après le dernier cycle ou, en variante, après l'essai de chocs de foudre (voir le point d) ci-dessous);
- d) essai au choc de foudre, suivi d'un essai de tenue sous tension à fréquence industrielle (voir 12.4.7);
- e) essai de décharges partielles à la température ambiante (voir 12.4.4), s'il n'a pas été effectué en c) ci-dessus;
- f) examen du câble après la réalisation de l'ensemble des essais ci-dessus (voir 12.4.8);
- g) la mesure de la résistivité des écrans semi-conducteurs (voir 12.4.9) doit être réalisée sur un échantillon séparé.

Les tensions d'essai doivent être en accord avec les valeurs figurant dans la colonne appropriée du Tableau 4.

15 Essais de type des accessoires

15.1 Généralités

Les essais spécifiés dans cet article ont pour but de démontrer le comportement satisfaisant des accessoires seuls.

Cette procédure d'essai doit être appliquée aux accessoires montés sur des câbles pour lesquels le gradient sur l'âme n'est pas supérieur à 8 kV/mm et le gradient sur enveloppe n'est pas supérieur à 4 kV/mm. Dans les autres cas, la procédure d'essai sur systèmes de câbles de l'Article 12 doit être appliquée.

Une liste des essais de type des accessoires est donnée en Annexe C.

NOTE Les essais ayant trait au comportement environnemental des extrémités ne sont pas compris dans cette norme.

15.2 Etendue de l'acceptation de l'essai de type

Lorsque les essais de type ont été réalisés avec succès sur un ou plusieurs accessoires avec un ou plusieurs câbles de section(s) spécifique(s), de même tension assignée et de même

constitution, l'acceptation de type doit être considérée comme valable pour les accessoires du domaine d'application de la présente norme avec d'autres tensions assignées et constitutions et avec d'autres câbles si toutes les conditions de a) à d) sont remplies.

NOTE 1 Les essais de type qui ont été réalisés avec succès selon l'édition précédente de cette norme restent valables

a) Le groupe de tension n'est pas supérieur à celui du ou des accessoires essayés.

NOTE 2 Dans ce contexte, les accessoires du même groupe de tension assignée sont ceux qui ont des tensions assignées ayant une même valeur de U_m , tension la plus élevée pour le matériel, et par conséquent les mêmes valeurs de tension d'essai (voir Tableau 4, colonnes 1 et 2).

b) Le câble avec une autre section d'âme, un autre groupe de tension assignée et une autre construction est dans l'étendue de l'acceptation de l'essai de type comme indiqué en 14.2. Si le gradient nominal calculé sur l'écran sur enveloppe isolante n'est pas supérieur à 2,5 kV/mm, l'acceptation doit être considérée comme valable pour les accessoires sur tous les câbles de cette étendue.

c) L'accessoire a la même constitution ou une constitution similaire à celle du ou des accessoires essayés.

NOTE 3 Des accessoires sont considérés comme étant de constitution similaire si la nature et le procédé de fabrication de l'enveloppe isolante et des écrans semi-conducteurs sont les mêmes. Il n'est pas nécessaire de répéter les essais de type électriques en raison de différences dans le type de connecteur ou de matériau ou des couches protectrices appliquées sur l'isolation principale de l'accessoire, à moins que ces différences ne soient susceptibles d'avoir un effet significatif sur les résultats d'essai. Dans certains cas il peut être opportun de reprendre un ou plusieurs des essais de type (par exemple les essais de décharges partielles).

d) La valeur calculée du gradient nominal dans l'isolation principale de l'accessoire et à l'interface entre câble et accessoire n'est pas supérieure à celle du ou des accessoires essayés.

Un procès-verbal d'essai de type signé par le représentant d'un organisme de contrôle compétent, ou un rapport établi par le fabricant donnant les résultats des essais et signé par le responsable habilité, ou un procès-verbal d'essai de type établi par un laboratoire d'essais indépendant, constituent des preuves acceptables de l'exécution des essais de type.

15.3 Résumé des essais de type

Les accessoires doivent satisfaire aux essais spécifiés en 15.4.1 et 15.4.2.

La longueur minimale de câble entre accessoires doit être de 5 m.

Un accessoire de chaque type doit être essayé.

Les accessoires doivent être montés avant le premier essai de décharges partielles.

Les accessoires doivent être montés conformément aux instructions du fabricant avec les qualités et les quantités de matériaux compris dans la fourniture, lubrifiants éventuels inclus.

La surface externe des accessoires doit être sèche et propre, mais ni les câbles ni les accessoires ne doivent être soumis à un conditionnement qui ne soit pas spécifié dans les instructions du fabricant, susceptible de modifier les caractéristiques électriques, thermiques ou mécaniques.

Pendant les essais des points a) à e) de 15.4.2, la jonction doit être munie de sa protection externe. S'il peut être démontré que cette protection n'exerce pas d'influence sur le comportement de l'enveloppe isolante de la jonction, par exemple qu'il n'y a pas d'effet thermomécanique ou de compatibilité, la protection peut être omise.

15.4 Essais de type électriques des accessoires

15.4.1 Valeurs des tensions d'essais

Avant d'effectuer les essais de type électriques sur les accessoires, on doit mesurer l'épaisseur de l'enveloppe isolante du câble et, si nécessaire, ajuster les tensions d'essais aux valeurs fixées en 12.4.1.

15.4.2 Essais et séquence d'essais

Les accessoires doivent être soumis à la séquence d'essais suivante:

- a) essai de décharges partielles à la température ambiante (voir 12.4.4);
- b) essai de cycles de chauffage sous tension (voir 12.4.6);

NOTE 1 Le câble peut être installé en U avec un diamètre conforme à 12.4.3.

- c) essais de décharges partielles (voir 12.4.4);
 - à température ambiante,
 - à température élevée;

Les essais doivent être effectués après le dernier cycle du point b) ci-dessus ou, en variante, après l'essai aux chocs de foudre du point d) ci-dessus.

- d) essai aux chocs de foudre, suivi d'un essai de tenue sous tension à fréquence industrielle (voir 12.4.7);
- e) essais de décharges partielles, s'ils n'ont pas été réalisés au point c) ci-dessus;
- f) essais de la protection extérieure des jonctions (voir Annexe G);

NOTE 2 Ces essais peuvent être réalisés sur une jonction qui a satisfait à l'essai du point b), essai de cycles de chauffage sous tension, ou sur une jonction distincte qui a subi avec succès au moins trois cycles thermiques (voir Annexe G).

NOTE 3 Si la jonction n'est pas soumise à des conditions humides en service (c'est-à-dire non directement enterrée dans le sol, ou sans immersion intermittente ou permanente dans l'eau), les essais du point f) peuvent être omis.

- g) examen des accessoires après la réalisation de l'ensemble des essais ci-dessus (voir 12.4.8.1).

Les tensions d'essai doivent être en accord avec les valeurs figurant dans la colonne appropriée du Tableau 4.

16 Essais électriques après pose

16.1 Généralités

Les essais des liaisons neuves sont effectués lorsque l'installation du système de câble est terminée.

Un essai sous tension continue de la gaine extérieure selon 16.2 et/ou un essai sous tension alternative de l'enveloppe isolante selon 16.3 est recommandé.

Pour les installations pour lesquelles seul l'essai de la gaine extérieure selon 16.2 est effectué, des procédures d'assurance qualité pendant la réalisation des accessoires peuvent, selon accord entre le fournisseur et l'entrepreneur, remplacer l'essai de l'enveloppe isolante selon 16.3.

16.2 Essai sous tension continue de la gaine extérieure

Le niveau de tension et la durée spécifiés à l'Article 5 de la CEI 60229:2007 doivent être appliqués entre chaque gaine métallique ou chaque écran métallique et la terre.

Pour que l'essai soit efficace, il est nécessaire que la terre soit en bon contact avec toute la surface externe de la gaine extérieure. A cet égard, une couche conductrice sur la gaine extérieure peut s'avérer utile.

16.3 Essai sous tension alternative de l'enveloppe isolante

La tension d'essai alternative à appliquer doit faire l'objet d'un accord entre le fournisseur et l'entrepreneur. La forme d'onde doit être sensiblement sinusoïdale et la fréquence comprise entre 20 Hz et 300 Hz. Une tension conforme au Tableau 4, colonne 10, doit être appliquée pendant 1 h.

En variante, on peut appliquer une tension de U_0 pendant 24 h.

NOTE Pour les installations qui ont déjà été exploitées, on peut utiliser des tensions plus faibles que celles données au Tableau 4, colonne 10 et/ou des durées plus courtes. Il convient de négocier les valeurs en fonction de l'âge, de l'environnement, des précédents claquages et du but poursuivi en effectuant l'essai.

Tableau 1 – Mélanges isolants pour câbles

Mélange isolant	Température maximale de l'âme °C	
	Service normal	Court-circuit (durée maximale 5 s)
Polyéthylène thermoplastique à basse densité (PE)	70	130 ^a
Polyéthylène thermoplastique à haute densité (PEHD)	80	160 ^a
Polyéthylène réticulé (PR)	90	250
Caoutchouc d'éthylène-propylène (EPR)	90	250
Caoutchouc d'éthylène-propylène dur ou à module élevé (HEPR)	90	250

^a Pour le PE et le PEHD, des températures de court-circuit dépassant de 20 °C au plus les températures indiquées peuvent être acceptées si des couches semi-conductrices convenables sont utilisées sur l'âme et sur l'enveloppe isolante et après accord entre le fabricant et l'acheteur.

Tableau 2 – Mélanges de gaines extérieures pour câbles

Mélange de gaine	Désignation abrégée	Température maximale de l'âme en service normal °C
Polychlorure de vinyle (PVC)	ST ₁	80
	ST ₂	90
Polyéthylène (PE)	ST ₃	80
	ST ₇	90

Tableau 3 – Exigences pour tan δ pour les mélanges isolants pour câbles

Désignation du mélange (voir 4.2)	PE	PEHD	EPR/ HEPR	PR
Tan δ maximale 10 ⁻⁴	10	10	50	10 ^a
^a Pour les câbles isolés par un mélange PR contenant des additifs spéciaux, la valeur maximale de tan δ est de 50 × 10 ⁻⁴ .				

Tableau 4 – Tensions d'essai

1	2	3	4 ^a	5 ^a	6 ^a	7 ^a	8 ^a	9 ^a	10 ^b
Tension assignée	Tension la plus élevée pour le matériel	Valeur de U_0 pour la détermination des tensions d'essai	Tension d'essai selon 9.3	Essai de décharges partielles selon 9.2 et 12.4.4	Mesure de $\tan \delta$ selon 12.4.5	Essai de cycles de chauffage sous tension selon 12.4.6	Essais à la tension de choc de foudre selon 10.12, 12.4.7 et 13.2.5	Essai de tension selon 12.4.7	Essai de tension après installation selon 16.3
U	U_m	U_0	$2,5 U_0$	$1,5 U_0$	U_0	$2 U_0$		$2,5 U_0$	
kV	kV	kV	kV	kV	kV	kV	kV	kV	kV
45 à 47	52	26	65	39	26	52	250	52	52
60 à 69	72,5	36	90	54	36	72	325	72	72
110 à 115	123	64	160	96	64	128	550	128	128
132 à 138	145	76	190	114	76	152	650	132	132
150 à 161	170	87	218	131	87	174	750	150	150

^a Si nécessaire ces tensions d'essai doivent être adaptées comme indiqué en 12.4.1.

^b Si nécessaire ces tensions d'essai doivent être adaptées comme indiqué en 16.3.

Tableau 5 – Essais de type non électriques pour mélanges pour enveloppes isolantes et pour gaines extérieures de câbles

	Enveloppe isolante					Gaine extérieure			
Désignation du mélange (voir 4.2 et 4.4)	PE	PEHD	EPR	HEPR	PR	ST ₁	ST ₂	ST ₃	ST ₇
Vérification de la construction Essai de pénétration d'eau ^a	Applicables quels que soient les matériaux de l'enveloppe isolante et de gaine								
Propriétés mécaniques (Résistance à la traction et allongement à la rupture)									
a) Sans vieillissement	x	x	x	x	x	x	x	x	x
b) Après vieillissement en étuve à air	x	x	x	x	x	x	x	x	x
c) Après vieillissement dans la bombe à air	—	—	x	x	—	—	—	—	—
d) Après vieillissement du câble complet (essai de compatibilité)	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Essai de pression à haute température	—	—	—	—	—	x	x	—	x
Comportement à basse température									
a) Essai d'allongement à froid	—	—	—	—	—	x	x	—	—
b) Choc mécanique à froid	—	—	—	—	—	x	x	—	—
Perte de masse en étuve à air	—	—	—	—	—	—	x	—	—
Essai de chocs thermiques	—	—	—	—	—	x	x	—	—
Essai de résistance à l'ozone	—	—	x	x	—	—	—	—	—
Essai d'allongement à chaud	—	—	x	x	x	—	—	—	—
Mesure de la masse volumique	—	x	—	—	—	—	—	—	—
Mesure du taux de noir de carbone ^b	—	—	—	—	—	—	—	x	x
Essai de rétraction	x	x	—	—	x	—	—	x	x
Détermination de la dureté	—	—	—	x	—	—	—	—	—
Détermination du module d'élasticité	—	—	—	x	—	—	—	—	—

NOTE x indique que l'essai de type est à appliquer.

^a A appliquer aux technologies de câbles pour lesquelles le fabricant déclare avoir prévu des barrières empêchant les pénétrations longitudinales de l'eau.

^b Seulement pour les gaines extérieures de couleur noire.

Tableau 6 – Exigences d'essai pour les caractéristiques mécaniques des mélanges pour enveloppes isolantes de câbles (avant et après vieillissement)

Désignation du mélange (voir 4.2)	Unités	PE	PEHD	PR	EPR	HEPR
Température maximale assignée de l'âme en service normal	°C	70	80	90	90	90
<i>Sans vieillissement</i> (9.1 de la CEI 60811-1-1) ^a						
Résistance minimale à la traction	N/mm ²	10,0	12,5	12,5	4,2	8,5
Allongement minimal à la rupture	%	300	350	200	200	200
<i>Après vieillissement en étuve à air</i> (8.1 de la CEI 60811-1-2) ^a						
Traitement: température	°C	100	110	135	135	135
tolérance	K	±2	±2	±3	±3	±3
durée	h	240	240	168	168	168
Résistance à la traction:						
a) valeur minimale après vieillissement	N/mm ²	—	—	—	—	—
b) variation maximale ^b	%	—	—	±25	±30	±30
Allongement à la rupture:						
a) valeur minimale après vieillissement	%	300	350	—	—	—
b) variation ^b maximale	%	—	—	±25	±30	±30
<i>Après vieillissement dans la bombe à air</i> à (55 ± 2) N/cm ² (8.2 de la CEI 60811-1-2) ^a						
Traitement: température	°C	—	—	—	127	127
tolérance	K	—	—	—	±1	±1
durée	h	—	—	—	40	40
Variation maximale ^b de:						
a) résistance à la traction	%	—	—	—	±30	±30
b) allongement à la rupture	%	—	—	—	±30	±30

^a Tous les documents cités dans ce tableau font référence aux éditions datées énumérées dans l'article "Références normatives".

^b Variation: différence entre la valeur médiane obtenue après vieillissement et la valeur médiane obtenue sans vieillissement, exprimée en pourcentage de cette dernière.

Tableau 7 – Exigences d'essai pour les caractéristiques mécaniques des mélanges pour gaine extérieure de câbles (avant et après vieillissement)

Désignation du mélange (voir 4.4)	Unité	ST ₁	ST ₂	ST ₃	ST ₇
<i>Sans vieillissement</i> (9.2 de la CEI 60811-1-1) ^a					
Résistance minimale à la traction	N/mm ²	12,5	12,5	10,0	12,5
Allongement minimal à la rupture	%	150	150	300	300
<i>Après vieillissement en étuve à air</i> (8.1 de la CEI 60811-1-2) ^a					
Traitement: température	°C	100	100	100	110
tolérance	K	±2	±2	±2	±2
durée	h	168	168	240	240
Résistance à la traction:					
a) valeur minimale après vieillissement	N/mm ²	12,5	12,5	–	–
b) variation ^b maximale	%	±25	±25	–	–
Allongement à la rupture:					
a) valeur minimale après vieillissement	%	150	150	300	300
b) variation ^b maximale	%	±25	±25	–	–
<i>Essai de pression à température élevée</i> (8.2 de la CEI 60811-3-1) ^a					
Température d'essai	°C	80	90	–	110
Tolérance	K	±2	±2	–	±2
<i>Essai de rétraction</i> (Article 11 de la CEI 60811-1-3) ^a					
- Température d'essai	°C	–	–	80	80
- Tolérance	K	–	–	±2	±2
- Durée	H	–	–	5	5
- nombre de cycles de chauffage		–	–	5	5
- retrait maximal admis	%	–	–	3,0	3,0
^a Tous les documents cités dans ce tableau font référence aux éditions datées énumérées dans l'article "Références normatives".					
^b Variation: différence entre la valeur médiane obtenue après vieillissement et la valeur médiane obtenue sans vieillissement, exprimée en pourcentage de cette dernière.					

Tableau 8 – Exigences d'essai pour les caractéristiques particulières des mélanges pour enveloppes isolantes de câbles

Désignation du mélange isolant (voir 4.2)	Unités	PE	PEHD	PR	EPR	HEPR
<i>Essai de résistance à l'ozone</i> (Article 8 de la CEI 60811-2-1) ^a						
Concentration en ozone (en volume)	%	—	—	—	0,025 à 0,030	0,025 à 0,030
Durée d'essai sans craquelure	h	—	—	—	24	24
<i>Essai d'allongement à chaud</i> (Article 9 de la CEI 60811-2-1) ^a						
Traitement: température de l'air	°C	—	—	200	250	250
tolérance	K	—	—	±3	±3	±3
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
<i>Essai de rétraction</i> (Article 10 de la IEC 60811-1-3) ^a						
Distance <i>L</i> entre repères	mm	200	200	200	—	—
Température	°C	100	115	130	—	—
Tolérance	K	±2	±2	±3	—	—
Durée	h	6	6	6	—	—
Rétraction maximale admise	%	4,5	4,5	4,5	—	—
<i>Masse volumique</i> (Article 8 de la CEI 60811-1-3) ^a						
Masse volumique minimale	g/cm ³	—	0,94	—	—	—
<i>Détermination de la dureté</i> (voir Annexe H)						
DIDC ^b , minimum		—	—	—	—	80
<i>Détermination du module d'élasticité (voir 12.4.15)</i>						
Module à 150 % d'allongement, minimum	N/mm ²	—	—	—	—	4,5

^a Tous les documents cités dans ce tableau font référence aux éditions datées énumérées dans l'article "Références normatives".

^b DIDC: degrés internationaux de dureté du caoutchouc.

Tableau 9 – Exigences d'essai pour les caractéristiques particulières des mélanges à base de PVC pour gaines extérieures de câbles

Désignation du mélange (voir 4.4)	Unité	ST ₁	ST ₂
<i>Perte de masse en étuve à air</i> (8.2 de la CEI 60811-3-2) ^a			
Traitement: température	°C	–	100
tolérance	K	–	±2
durée	h	–	168
Perte de masse maximale admise	mg/cm ²	–	1,5
<i>Comportement à basse température^b</i> (Article 8 de la CEI 60811-1-4) ^a			
Essais effectués sans vieillissement préalable:			
a) Allongement à froid sur éprouvettes haltères			
Température d'essai	°C	–15	–15
Tolérance	K	±2	±2
b) Chocs mécaniques à froid			
Température d'essai	°C	–15	–15
Tolérance	K	±2	±2
<i>Essai de chocs thermiques</i> (9.2 de la CEI 60811-3-1) ^a			
Traitement: température d'essai	°C	150	150
tolérance	K	±3	±3
durée de l'essai	h	1	1
^a Tous les documents cités dans ce tableau font référence aux éditions datées énumérées dans l'article "Références normatives".			
^b En raison des conditions climatiques, les normes nationales peuvent nécessiter l'emploi d'une température d'essai plus basse.			

Annexe A (informative)

Détermination de la température de l'âme du câble

A.1 Objectif

Pour certains essais il est nécessaire de porter l'âme du câble à une certaine température, typiquement 5 K à 10 K au-dessus de la température maximale en service, lorsque le câble est alimenté en courant, pour des essais à fréquence industrielle ou des essais aux chocs. Dans ces conditions il n'est pas possible d'avoir accès à l'âme pour mesurer directement la température.

En plus, l'âme est à maintenir dans une fourchette de température limitée (5 K), alors que la température ambiante peut varier sur une plus grande plage.

Même si un étalonnage sur le câble en essai ou des calculs peuvent être satisfaisant dans un premier temps, les variations des conditions ambiantes peuvent faire sortir la température de l'âme en cours d'essais hors des tolérances.

C'est pour cette raison qu'il est conseillé d'utiliser des méthodes permettant de surveiller et piloter la température de l'âme pendant toute la durée de l'essai.

Les méthodes les plus courantes sont présentées ci-après.

A.2 Etalonnage de la température de la boucle d'essai principale

A.2.1 Généralités

L'étalonnage consiste en la mesure directe de la température de l'âme pour un courant donné, dans une fourchette de températures requises pour l'essai.

Il convient qu'un câble identique au câble utilisé pour la boucle principale soit utilisé pour l'étalonnage (appelé ci-après câble de référence).

A.2.2 Montage du câble et des capteurs de température

Il est conseillé d'effectuer l'étalonnage sur une longueur de câble minimum de 5 m, sur le même câble que celui en essai. Il convient que la longueur soit telle que le transfert longitudinal de la chaleur vers le bout n'affecte pas de plus de 2 K la température dans le centre sur une distance de 2 m.

On fixe deux capteurs de température au centre du câble de référence, l'un sur l'âme (TC_{1c}), et l'autre soit en surface soit directement sous la surface extérieure (TC_{1s}).

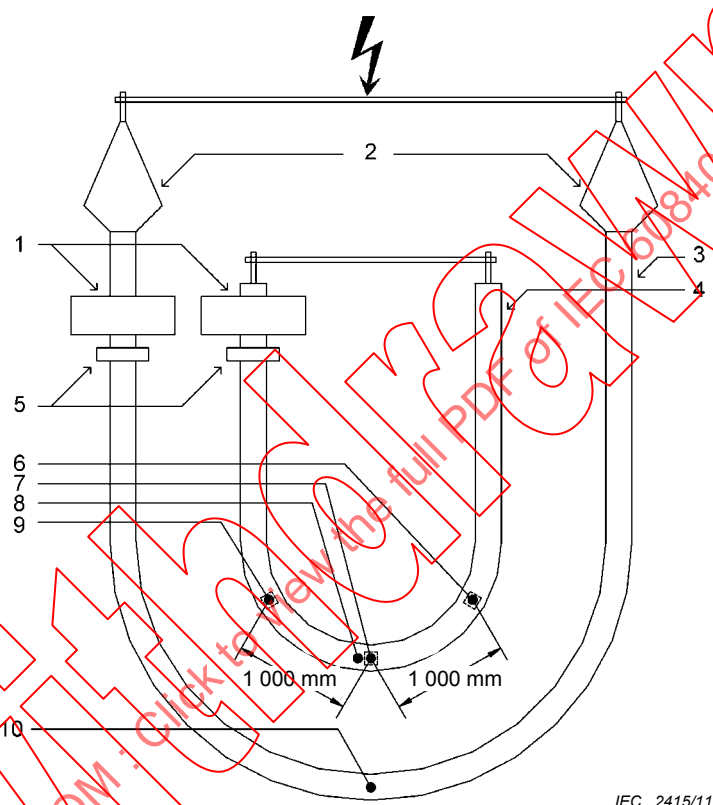
Il convient que deux autres capteurs de température, TC_{2c} et TC_{3c} , soient installés sur l'âme du câble de référence (voir Figure A.1), chacun approximativement à 1 m du milieu du câble.

Une fixation mécanique des capteurs de température est recommandée car ils pourraient bouger à cause de vibrations du câble pendant le chauffage. Il convient de prendre des précautions pour maintenir un bon contact thermique pendant toute la durée des essais et d'éviter une perte de chaleur vers le milieu ambiant. Un montage possible des capteurs de température entre deux fils de l'âme câblée ou entre l'âme massive et l'écran sur conducteur est représenté à la Figure A.2. Afin de rendre l'âme accessible au milieu du câble de

référence il est conseillé de pratiquer une petite ouverture en enlevant avec précaution les différentes couches se situant au-dessus de l'âme. Une fois le capteur de température mis en place les différentes couches qui avaient été enlevées peuvent être remises en place. Ceci permet de rétablir le comportement thermique du câble de référence.

NOTE Le transfert de chaleur vers les bouts du câble peut être considéré comme négligeable si les différences entre les trois mesures TC_{1C} , TC_{2C} et TC_{3C} sont inférieures à 2 K.

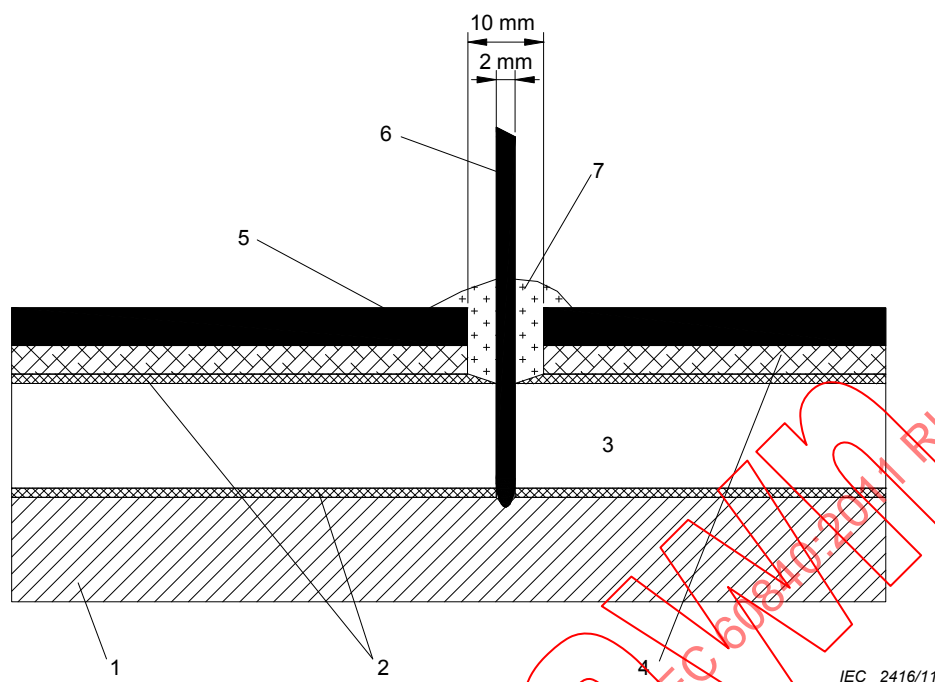
Si la boucle principale est constituée de plusieurs longueurs montées proches les unes des autres, ces longueurs sont soumises à un effet d'échauffement mutuel. Il est donc conseillé de tenir compte de la configuration réelle du montage d'essai pour l'étalonnage, et d'effectuer les mesures sur la longueur la plus chaude (généralement la longueur du milieu).



Légende

- | | | | |
|---|-------------------------------------|----|--|
| 1 | transformateur de courant | 6 | TC_{3c} (sur l'âme) |
| 2 | extrémités | 7 | TC_{1c} (sur l'âme) |
| 3 | câble en essai | 8 | TC_{1s} (en surface extérieure du câble) |
| 4 | câble de référence (≥ 5 m) | 9 | TC_{2c} (sur l'âme) |
| 5 | transformateur de mesure de courant | 10 | TC_s (surface extérieure du câble) |

Figure A.1 – Montage typique de la boucle de référence et de la boucle principale d'essai



Légende

- | | | | |
|---|------------------------|---|--------------------------|
| 1 | conducteur | 5 | gaine extérieure |
| 2 | écrans semiconducteurs | 6 | capteur de température |
| 3 | isolation | 7 | isolant thermique souple |
| 4 | écran métallique | | |

Figure A.2 – Exemple de mise en place des capteurs de température sur l'âme de la boucle de référence

A.2.3 Méthode d'étalonnage

Il convient d'effectuer l'étalonnage à l'abri de courants d'air, à une température de $(20 \pm 15) ^\circ\text{C}$.

Il convient d'utiliser des enregistreurs de température pour mesurer simultanément les températures de l'âme, de la gaine, et la température ambiante.

Il est bon de chauffer le câble jusqu'à ce que les valeurs de température de l'âme, indiquées par les capteurs de température TC_{1c} de la Figure A.1, soient stabilisées et aient atteint les valeurs suivantes: de 5 K à 10 K au-dessus de la température maximale de service du câble, comme indiqué au Tableau 1.

Une fois la stabilisation atteinte, il convient de noter:

- la température de l'âme: valeur moyenne aux positions 1, 2 et 3;
- la température de la gaine extérieure à la position TC_{1s} ;
- la température ambiante;
- le courant de chauffage.

A.3 Chauffage pour l'essai

A.3.1 Méthode 1 – Utilisation d'un câble de référence

Dans cette méthode un câble de référence identique au câble en essai est chauffé avec la même intensité de courant que la boucle d'essai principale.

Il convient que le montage du câble et des capteurs de température sur les deux boucles soit effectué comme indiqués à l'Article A.2.

Des dispositions sont prises de manière

- que le câble de référence véhicule à tout moment la même intensité de courant que le câble principal,
- qu'il soit installé de manière que les effets d'échauffement mutuel soient pris en compte tout au long des essais.

Il est recommandé que le courant de chauffage soit ajusté pour que la température de l'âme soit maintenue dans les limites spécifiées.

Il convient qu'un capteur de température (TC_S) sur ou sous la surface extérieure du câble principal soit monté au point le plus chaud, généralement au milieu de la boucle, de la même façon que le capteur de température TC_{1s} est monté au point le plus chaud du câble de référence.

NOTE 1 Les températures mesurées sur ou sous les gaines extérieures du câble principal (TC_S) et du câble de référence (TC_{1s}) permettent de vérifier que les gaines extérieures des deux câbles sont à la même température.

La température mesurée avec le capteur de température TC_{1c} sur l'âme de la boucle de référence peut être considérée comme égale à la température de l'âme de la boucle en essai.

NOTE 2 La température de l'âme du câble principal peut être légèrement supérieure à celle du câble de référence à cause des pertes diélectriques. Au besoin, une correction peut être faite.

Il convient que tous les capteurs de température soient raccordés à un enregistreur pour la surveillance des températures. Il est recommandé que le courant de chauffage de chaque boucle soit aussi enregistré pour prouver que les deux courants ont la même valeur, à $\pm 1\%$ près, durant toute la durée de l'essai.

Le câble de référence peut être connecté en série avec le câble en essai si la température est mesurée par l'intermédiaire d'un équipement à fibre optique ou équivalent.

A.3.2 Méthode 2 – Utilisation du calcul et de mesures de la température de surface pour déterminer la température de l'âme

A.3.2.1 Etalonnage de la température de l'âme du câble en essai

L'objectif de l'étalonnage est de déterminer la température de l'âme par une mesure directe pour un courant donné dans la plage de températures requise pour les essais.

Il convient qu'un câble et une méthode de chauffage identiques soient utilisés pour les essais et pour l'étalonnage.

Il est recommandé que le montage du câble et des capteurs de température pour l'étalonnage soit réalisé comme indiqué à l'Article A.2.

Il convient d'effectuer l'étalonnage comme indiqué en A.2.3 pour le câble de référence.

A.3.2.2 Essai basé sur la mesure de la température de gaine extérieure

Pendant l'étalonnage et pendant la durée de l'essai de la boucle principale, la valeur de la température de l'âme du câble est déduite des calculs selon la CEI 60853-2, en se basant sur la température mesurée sur la gaine extérieure (TC_S). Il convient que la mesure soit effectuée à l'aide d'un capteur de température fixé sur ou sous la surface extérieure au point le plus chaud comme pour le câble de référence.

NOTE Une autre méthode consiste à utiliser la CEI 60287-1-1 si on a démontré que la température transitoire asymptotique est atteinte pendant le temps spécifié.

Le courant dans l'âme est ajusté à la valeur calculée, en se basant sur la température mesurée à la surface de la gaine extérieure.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60840:2011 RLV

Annexe B (normative)

Arrondissement des nombres

Quand il est nécessaire d'arrondir une valeur à un nombre spécifié de décimales, par exemple dans le calcul d'une valeur moyenne à partir de plusieurs mesures ou d'une valeur minimale en appliquant une tolérance en pourcentage sur une valeur nominale donnée, la procédure à suivre est la suivante.

Lorsque avant arrondissement le dernier chiffre décimal à retenir est suivi de 0, 1, 2, 3 ou 4, il demeure inchangé (arrondissement inférieur).

Lorsqu'avant arrondissement le dernier chiffre décimal à retenir est suivi de 9, 8, 7, 6 ou 5, il doit être augmenté de un (arrondissement supérieur).

EXEMPLES

2,449	≈	2,45	arrondi à deux décimales
2,449	≈	2,4	arrondi à une décimale
2,453	≈	2,45	arrondi à deux décimales
2,453	≈	2,5	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 (informative)

Liste des essais de type, des essais de préqualification et d'extension de préqualification pour des systèmes de câbles, câbles et accessoires

Les essais de type pour des systèmes de câbles, câbles et accessoires sont couverts par les Articles 12, 14 et 15, respectivement

Le Tableau C.1 présente un résumé et les articles de référence pour des essais de type sur des systèmes de câbles, câbles et accessoires.

Les essais de préqualification pour des systèmes de câbles avec un gradient calculé nominal sur âme de plus de 8,0 kV/mm ou avec un gradient calculé nominal au-dessus de l'enveloppe isolante de plus de 4,0 kV/mm sont couverts par l'Article 13.1 et essais de 13.2.

Les essais d'extension de préqualification pour des systèmes de câbles avec un gradient calculé nominal sur âme de plus de 8,0 kV/mm ou avec un gradient calculé nominal au-dessus de l'enveloppe isolante de plus de 4,0 kV/mm sont couverts par les Articles 13.1 et 13.3.

Le Tableau C.2 présente un résumé et les articles de référence pour les essais de préqualification sur ces systèmes de câbles.

Le Tableau C.3 présente un résumé et les articles de référence pour les essais d'extension de préqualification sur ces systèmes de câbles.

Tableau C.1 – Essais de type des systèmes de câbles, des câbles et des accessoires

Point	Essai	Articles		
		Systèmes de câbles	Câbles	Accessoires
a	Généralités	12.1	14.1	15.1
b	Etendue de l'acceptation de type	12.2	14.2	15.2
c	Essai de type électrique	12.4	14.4	15.4
d	Valeurs des tensions d'essai	12.4.1	12.4.1	12.4.1
e	Essai d'enroulement	12.4.3	12.4.3	–
	Essai de décharges partielles à la température ambiante	12.4.4	12.4.4	–
f	Mesure de $\tan \delta$	12.4.5	12.4.5	–
g	Essai de cycles de chauffage sous tension	12.4.6	12.4.6	12.4.6
h	Essai de décharges partielles à haute température	12.4.4	–	12.4.4
	Essai de décharges partielles à la température ambiante (après le dernier cycle ou après l'essai aux chocs de foudre au point i)	12.4.4	12.4.4	12.4.4
i	Essai au choc de foudre suivi d'un essai sous tension alternative à fréquence industrielle	12.4.7.2	12.4.7	12.4.7
j	Essai de décharges partielles à haute température (s'il n'a pas été effectué après le point g) ci-dessus	12.4.4	–	12.4.4
	Essai de décharges partielles à la température ambiante (après le dernier cycle ou après l'essai aux chocs de foudre au point g)	12.4.4	12.4.4	12.4.4
k	Essai de la protection extérieure des joints enterrés	Annexe G	–	Annexe G
l	Examen	12.4.8	12.4.8	12.4.8
m	Résistivité des écrans semi-conducteurs	12.4.9	12.4.9	–
n	Essais non électriques sur les composants du câble et sur câble complet	12.5	12.5	–

Tableau C.2 – Essais de préqualification pour des systèmes de câbles avec un gradient calculé nominal sur âme supérieur à 8,0 kV/mm ou avec un gradient calculé nominal sur enveloppe supérieur à 4,0 kV/mm

Point	Test	Articles
		Systèmes de câbles
a	Généralités et étendue d'essais de préqualifications approuvées	13.1
b	Système complet d'essai de préqualification	13.2
c	Résumé des essais de préqualification	13.2.1
d	Valeurs des tensions d'essai	13.2.2
e	Montage d'essai	13.2.3
f	Essai de cycle de chauffage sous tension	13.2.4
g	Essai aux chocs de foudre	13.2.5
h	Examen	13.2.6

Tableau C.3 – Essais d'extension de préqualification pour des systèmes de câbles avec un gradient calculé nominal sur âme supérieur à 8,0 kV/mm ou avec un gradient calculé nominal sur enveloppe isolante supérieur à 4,0 kV/mm

Point	Essai	Articles
		Systèmes de câbles
a	Essais d'extension de préqualification d'un système de câble	13.3
b	Résumé de l'extension de préqualification	13.3.1
c	Partie électrique des essais d'extension de préqualification sur un système de câble complet	13.3.2
d	Généralités	13.3.2.1
e	Valeurs des tensions d'essai	13.3.2.2
f	Séquence de la partie électrique de l'extension de préqualification	13.3.2.3
g	Essai de cycles de chauffage sans application de tension	13.3.2.4

IECNORM.COM - Click to view the full PDF of IEC 60840:2011 RLV

Annexe D (normative)

Méthode de mesure de la résistivité des écrans semi-conducteurs

Chaque éprouvette doit être prélevée sur un échantillon de câble complet de 150 mm.

Pour l'écran sur âme, l'éprouvette doit être préparée en coupant le conducteur isolé en deux dans le sens de la longueur et en retirant l'âme et le séparateur éventuel (voir Figure D.1a). Pour l'écran sur enveloppe isolante, l'éprouvette doit être préparée en retirant tous les revêtements sur l'échantillon de conducteur (voir Figure D.1b).

La résistivité volumique des écrans est déterminée selon la méthode exposée ci-dessous.

Quatre électrodes réalisées à l'aide de peinture argentée A, B, C et D (voir Figures D.1a et D.1b) doivent être appliquées sur les surfaces semi-conductrices. Les deux électrodes de tension, B et C, doivent être placées à 50 mm l'une de l'autre et les deux électrodes de courant, A et D, à une distance d'au moins 25 mm au-delà des électrodes de tension.

Les connexions doivent être réalisées sur les électrodes au moyen de colliers appropriés. En effectuant le raccordement aux électrodes de l'écran sur âme, on doit s'assurer qu'à la surface externe de l'échantillon, les colliers sont bien isolés de l'écran sur enveloppe isolante.

L'ensemble doit être placé dans une étuve préchauffée à la température spécifiée. Après une durée d'au moins 30 min, la résistance entre les électrodes doit être mesurée au moyen d'un circuit dont la puissance ne doit pas dépasser 100 mW.

Après les mesures électriques, on mesure, à température ambiante, les diamètres sur l'écran sur âme et sur l'écran sur enveloppe isolante, ainsi que les épaisseurs des écrans sur âme et sur enveloppe isolante, chaque valeur retenue étant la moyenne de six mesures effectuées sur l'éprouvette représentée à la Figure D.1b.

La résistivité volumique ρ en ohm mètres est ensuite calculée de la manière suivante:

a) écran sur âme:

$$\rho_c = \frac{R_c \times \pi \times (D_c - T_c) \times T_c}{2 L_c}$$

où

ρ_c est la résistivité volumique, en ohm mètres ($\Omega \cdot m$);

R_c est la résistance mesurée, en ohms (Ω);

L_c est la distance entre les électrodes de tension, en mètres (m);

D_c est le diamètre sur l'écran sur âme, en mètres (m);

T_c est l'épaisseur moyenne de l'écran sur âme, en mètres (m).

b) Ecran sur enveloppe isolante:

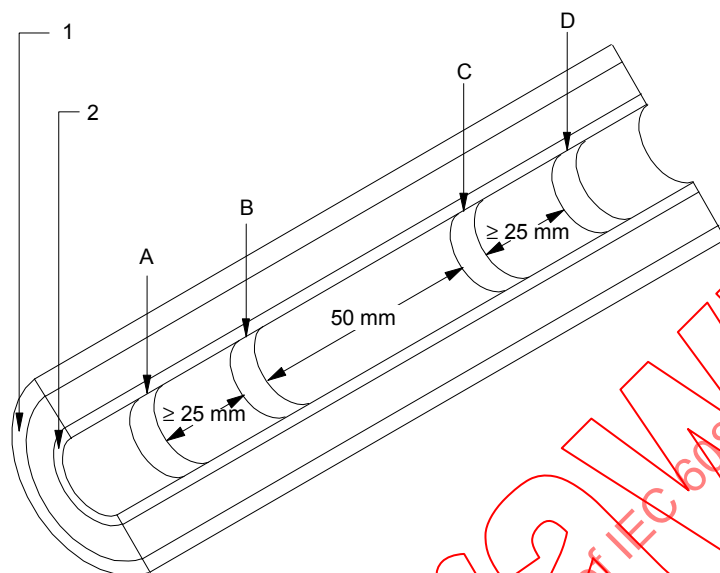
$$\rho_i = \frac{R_i \times \pi \times (D_i - T_i) \times T_i}{L_i}$$

où

ρ_i est la résistivité volumique, en $\Omega \cdot m$;

R_i est la résistance mesurée, en Ω ;

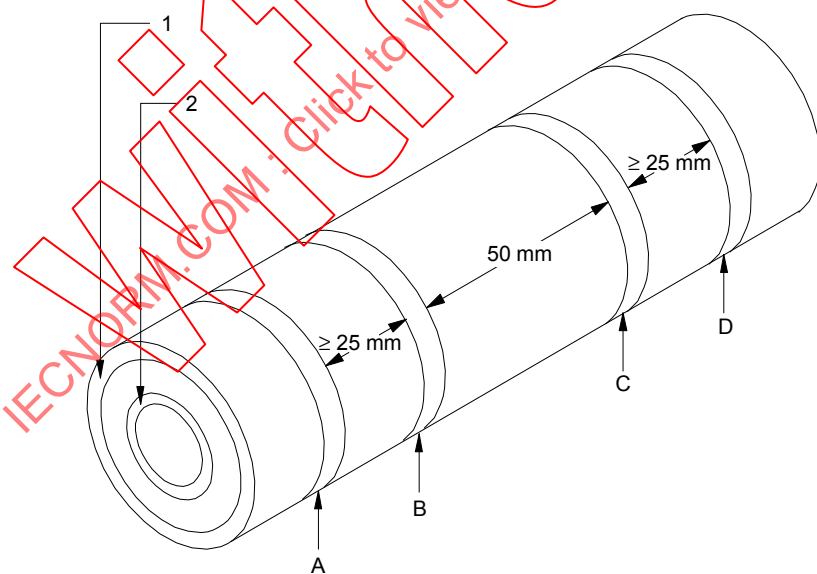
L_i est la distance entre les électrodes de tension, en m;
 D_i est le diamètre sur l'écran sur enveloppe isolante, en m;
 T_i est l'épaisseur moyenne de l'écran sur enveloppe isolante, en m.



Légende

- | | | | |
|---|------------------------------|------|-----------------------|
| 1 | écran sur enveloppe isolante | B, C | électrodes de tension |
| 2 | écran sur âme | A, D | électrodes de courant |

Figure D.1a – Mesure de la résistivité volumique de l'écran sur âme



Légende

- | | | | |
|---|------------------------------|------|-----------------------|
| 1 | écran sur enveloppe isolante | B, C | électrodes de tension |
| 2 | écran sur âme | A, D | électrodes de courant |

Figure D.1b – Mesure de la résistivité volumique de l'écran sur enveloppe isolante

Figure D.1 – Préparation des échantillons pour la mesure de la résistivité des écrans sur âme et sur enveloppe isolante

Annexe E (normative)

Essai de pénétration d'eau

E.1 Eprouvette

Un échantillon de câble complet d'au moins 6 m de longueur qui n'a été soumis à aucun des essais décrits en 12.4 ou 14.4 doit être soumis à l'essai d'enroulement de 12.4.3.

Une longueur de câble de 6 m doit être prélevée sur la longueur ayant subi l'essai d'enroulement, et placée horizontalement. Un anneau d'une largeur de 50 mm environ doit être ôté au centre de la longueur. Cet anneau doit comprendre toutes les couches extérieures à l'écran sur enveloppe isolante. Si l'âme est également réputée contenir une barrière empêchant la pénétration longitudinale de l'eau, l'anneau doit comprendre toutes les couches extérieures à l'âme.

Si le câble contient des barrières ponctuelles pour empêcher la pénétration longitudinale de l'eau, l'échantillon doit comporter au moins deux de ces barrières, l'anneau étant découpé entre les barrières. Dans ce cas, il convient que la distance moyenne entre les barrières dans de tels câbles soit connue.

Les couches doivent être coupées de telle sorte que les interfaces susceptibles de présenter une étanchéité longitudinale à l'eau soient exposées à l'action de l'eau. Les interfaces qui ne sont pas susceptibles d'empêcher la pénétration longitudinale de l'eau doivent être étanchées avec un matériau approprié ou les revêtements extérieurs doivent être ôtés.

Prévoir un dispositif (voir Figure E.1) qui permette de placer verticalement un tube d'un diamètre d'au moins 10 mm au-dessus de l'anneau découpé et rendu étanche à la surface de la gaine extérieure. Les joints par où le câble émerge du dispositif ne doivent pas exercer de contrainte mécanique sur le câble.

NOTE La réponse de certaines barrières à la pénétration longitudinale peut dépendre de la composition de l'eau (par exemple pH, concentration en ions). Sauf spécification contraire, il convient d'utiliser l'eau du robinet pour l'essai.

E.2 Essai

En un temps n'excédant pas 5 min, le tube est rempli d'eau du robinet à une température de $(20 \pm 10) ^\circ\text{C}$ de façon telle que la hauteur d'eau dans le tube soit de 1 m au-dessus du centre du câble (voir Figure E.1).

On doit laisser l'échantillon reposer pendant 24 h.

L'échantillon doit alors être soumis à 10 cycles de chauffage. L'âme doit être chauffée par une méthode appropriée jusqu'à ce qu'elle atteigne une température qui se maintienne entre 5 K et 10 K au-dessus de la température maximale de l'âme en service normal, sans atteindre sans atteindre le point d'ébullition de l'eau.

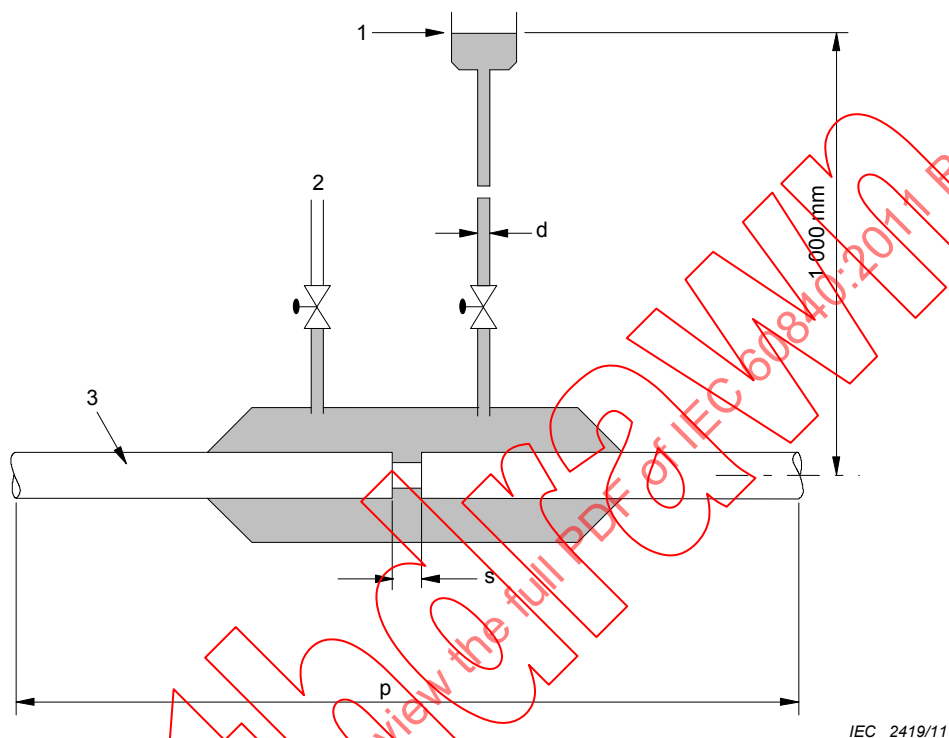
Le chauffage doit être appliqué pendant au moins 8 h. La température de l'âme doit être maintenue entre les limites indiquées pendant au moins 2 h au cours de chaque période de chauffage. On doit ensuite laisser l'échantillon refroidir naturellement pendant au moins 16 h.

La hauteur d'eau doit être maintenue à 1 m.

NOTE Aucune tension n'étant appliquée pendant l'essai, il est conseillé de raccorder un câble image en série avec le câble en essai, la température étant mesurée directement sur l'âme de ce câble.

E.3 Exigences

Pendant la période d'essai, il ne doit pas y avoir d'apparition d'eau aux extrémités de l'échantillon.



Légende

1	réservoir de maintien de la hauteur d'eau	d	Ø 10 mm minimum (intérieur)
2	event	s	50 mm approximativement
3	câble	p	longueur = 6 000 mm

Figure E.1 – Schéma de principe de l'appareillage pour l'essai de pénétration d'eau

Annexe F (normative)

Essais des composants de câbles comportant un ruban ou une feuille métallique appliqué(e) longitudinalement et contrecollé(e) à la gaine extérieure

F.1 Inspection visuelle

Le câble doit être disséqué et examiné visuellement. L'examen des échantillons en vision normale ou corrigée sans grossissement ne doit pas révéler de craquelures ou de détachement de la bande métallique de l'enveloppe de l'écran de protection laminé ou des dommages à d'autres parties du câble.

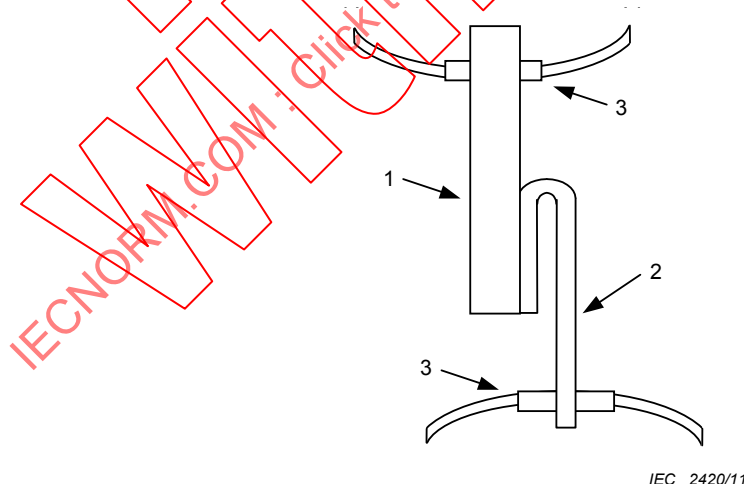
F.2 Force d'adhérence de la bande métallique

F.2.1 Procédure

L'éprouvette doit être prélevée de l'enveloppe du câble là où la bande métallique adhère sur la gaine extérieure.

La longueur et la largeur de l'éprouvette doivent être de 200 mm et 10 mm, respectivement.

Un bout de l'éprouvette doit être décollé sur une longueur de 50 mm à 120 mm et introduite dans une machine de traction, le bout libre de la gaine extérieure ou de l'écran semi-conducteur étant serré dans l'une des mâchoires de l'appareil. Le bout libre de la bande métallique doit être replié à 180° sur lui-même et serré dans l'autre mâchoire comme représenté à la Figure F.1.



IEC 2420/11

Légende

- | | | | | | |
|---|---------------|---|--|---|------|
| 1 | gaine externe | 2 | bande métallique ou bande métallique laminée | 3 | mors |
|---|---------------|---|--|---|------|

Figure F.1 – Adhérence de la bande métallique

L'éprouvette doit être maintenue à peu près verticalement dans le plan des mâchoires pendant l'essai en la tenant à la main.

Après ajustement du dispositif d'enregistrement continu, la bande métallique doit être décollée de l'éprouvette avec un angle d'approximativement 180° et séparées sur une distance suffisante pour donner une indication de la force d'adhérence. Au moins la moitié de la longueur adhérente restante doit être décollée avec une vitesse de traction de 50 mm/min environ.

F.2.2 Exigences

La force d'adhérence doit être calculée en divisant la force de décollement, en newton, par la largeur de l'éprouvette, en millimètres. Au moins cinq éprouvettes doivent être soumises à cet essai et la valeur minimum de la force d'adhérence ne doit pas être inférieure à 0,5 N/mm.

NOTE Si la force d'adhérence est supérieure à la charge de rupture de la bande métallique qui dans ce cas casse avant que le décollement ne commence, l'essai est considéré comme terminé et le point de rupture est enregistré.

F.3 Force de décollement du recouvrement de la bande métallique

F.3.1 Procédure

Un échantillon de 200 mm de long, comprenant le recouvrement de la bande métallique, est prélevé du câble. L'éprouvette est obtenue par découpe en incluant le recouvrement de cet échantillon comme indiqué à la Figure F.2.

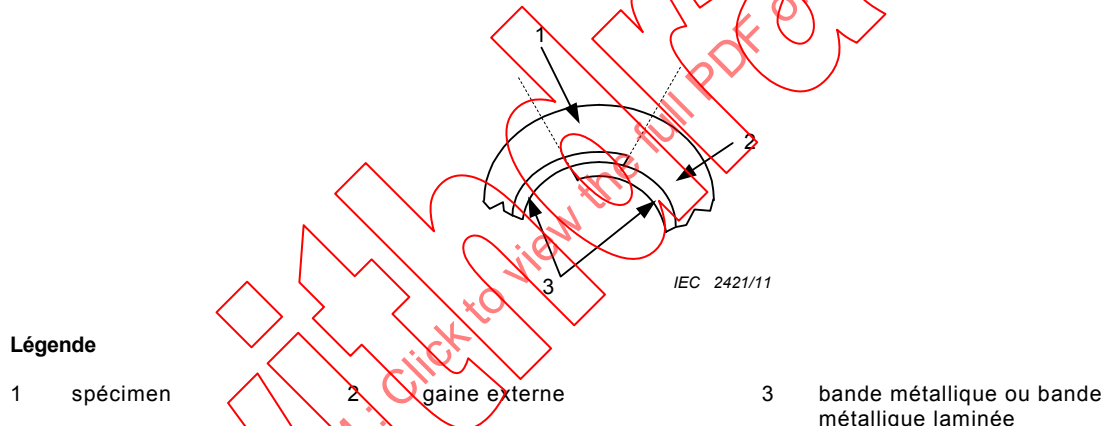
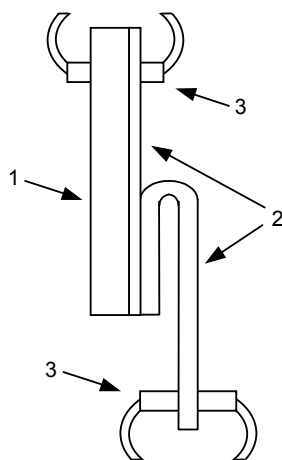


Figure F.2 – Exemple de bande métallique avec recouvrement

L'essai doit être effectué de la même manière qu'en Article F.2. La disposition de l'éprouvette est présentée dans la Figure F.3.



IEC 2422/11

Légende

- 1 gaine externe 2 bande métallique ou bande métallique laminée 3 mors

Figure F.3 – Force de décollement au recouvrement de la bande métallique

F.3.2 Exigences

La valeur minimum de la force de décollement ne doit pas être inférieure à 0,5 N/mm.

NOTE Si la force de décollement est supérieure à la charge de rupture de la bande métallique qui dans ce cas casse avant que le décollement ne commence, l'essai est considéré comme terminé et le point de rupture est enregistré.

Annexe G (normative)

Essais de la protection externe des jonctions

G.1 Généralités

Cette annexe spécifie la procédure à adopter pour les essais d'acceptation de type des protections externes de jonction de tous types, utilisées dans les jonctions enterrées ou les dispositifs d'arrêt d'écran employés sur les réseaux de câbles d'énergie à gaine isolée et, le cas échéant, de l'isolement des arrêts d'écran associés.

Le fabricant de la jonction doit fournir un dessin sur lequel toutes les barrières d'étanchéité sont clairement identifiées

G.2 Etendue de l'acceptation

Lorsque l'acceptation est recherchée pour les protections externes de jonction comportant des entrées pour composants tels que les câbles de liaison, la protection externe essayée doit comprendre ces composants particuliers.

Un essai satisfaisant sur une protection externe de jonction à arrêt d'écran confère l'acceptation de cette protection pour un accessoire similaire sans arrêt d'écran, mais la réciproque ne s'applique pas.

Lorsque l'acceptation est obtenue pour un type de protection externe de jonction, cette acceptation doit être considérée comme valable pour toutes les protections externes proposées par le même fabricant, utilisant les mêmes principes de base et les mêmes matériaux, dans la plage des diamètres essayés, et pour des tensions d'essais inférieures ou égales.

Les essais des Articles G.3 et G.4 doivent être appliqués successivement à une jonction qui a satisfait à l'essai de cycles de chauffage sous tension (voir 12.4.6) ou à une jonction distincte qui a subi au moins trois cycles thermiques sans tension, comme spécifié en 12.4.2. point g), NOTE 2.

G.3 Immersion dans l'eau et cycles thermiques

Le montage d'essai doit être immergé dans l'eau à une profondeur qui ne soit pas inférieure à 1 m au point le plus haut de la protection externe. Si cela est souhaité, l'essai peut être réalisé en utilisant un réservoir de maintien de la hauteur d'eau, raccordé à un caisson étanche contenant le montage d'essai.

Un total de 20 cycles de chauffage/refroidissement doit être appliqué en élevant la température de l'eau à une température comprise entre 15 K et 20 K en dessous de la température maximale de l'âme du câble en service normal. Lors de chaque cycle, l'eau doit être portée à la température spécifiée, maintenue à cette valeur pendant au moins 5 h puis refroidie jusqu'à 10 K au-dessus de la température ambiante. La température peut être obtenue en mélangeant à l'eau de l'eau à température plus élevée ou plus basse. La durée minimale de chaque cycle de température doit être de 12 h et la durée pour porter la température de l'eau à la température spécifiée doit être autant que possible la même que la durée pour refroidir l'eau jusqu'à une température inférieure à 30 °C ou bien une température inférieure à la température ambiante majorée de 10 K, quelle que soit la température la plus élevée.

G.4 Essais de tension

G.4.1 Généralités

A la fin des cycles de chauffage, le montage d'essai étant toujours immergé, les essais de tension doivent être réalisés de la façon décrite ci-dessous.

G.4.2 Montages comportant des accessoires sans arrêt d'écran

Une tension d'essai de 25 kV en courant continu doit être appliquée pendant 1 min entre l'écran ou la gaine métallique du câble d'énergie et l'extérieur de la protection externe, mise à la terre, de la jonction.

G.4.3 Montages comportant des accessoires à arrêt d'écran

G.4.3.1 Essais sous tension continue

Une tension d'essai de 25 kV en courant continu doit être appliquée, pendant 1 min, entre les écrans ou les gaines métalliques du câble d'énergie, à l'une quelconque des extrémités de l'accessoire, ainsi qu'entre les écrans ou gaines métalliques et l'extérieur de la protection externe, mise à la terre, de la jonction.

G.4.3.2 Essais aux ondes de choc

Afin d'essayer chaque partie par rapport à la terre, une tension d'essai conforme au Tableau G.1 doit être appliquée entre les écrans ou gaines métalliques et l'extérieur du montage encore immergé. Si on ne peut réaliser l'essai aux ondes de choc sur le montage immergé, celui-ci peut être ôté de l'eau et essayé en un délai minimal, ou il peut être maintenu humide par enrubannage d'un tissu humide, ou un revêtement conducteur peut être appliqué autour de toute la surface extérieure du montage d'essai.

Pour l'essai entre les écrans ou gaines métalliques, le montage doit être ôté de l'eau avant l'essai aux ondes de choc.

La procédure d'essai doit être conforme à la CEI 60230, la jonction étant à la température ambiante.

Tableau G.1 – Essais aux ondes de choc

Tension de choc de foudre assignée de l'isolation principale ^a kV	Niveau de choc			
	Entre parties		Entre chaque partie et la terre	
	Liaisons de raccordement ≤3 m kV	Liaisons de raccordement >3 m et ≤10 m ^b kV	Liaisons de raccordement ≤3 m kV	Liaisons de raccordement >3 m et ≤10 m ^b kV
250 à 325	60	60	30	30
>325 à 750	60	75	30	37,5

^a Voir Tableau 4, colonne 8.

^b Si des limiteurs de tension de gaine sont placés près de la jonction, on utilise les tensions pour des liaisons de raccordement ≤3 m.

Il ne doit se produire aucun claquage pendant les essais ci-dessus.

G.5 Examen du montage d'essai

Le montage d'essai doit être examiné à l'issue des essais décrits à l'Article G.4.

Les boîtes de protection externe de jonctions remplies de matières démontables sont considérées comme satisfaisantes s'il n'y a pas de traces visibles de vides internes, de déplacements internes de matière de remplissage dus à une entrée d'eau, ou de perte de matière au travers des différents joints ou parois de la boîte.

Pour les protections externes de jonction utilisant d'autres techniques et matériaux, il ne doit pas y avoir de trace de pénétration d'eau ou de corrosion interne.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60840:2011 RLV

Withdrawing

Annexe H (normative)

Détermination de la dureté des enveloppes isolantes en HEPR

H.1 Epreuve

L'éprouvette doit être constituée d'un échantillon de câble complet duquel on a enlevé avec précaution 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.

H.2 Procédure d'essai

Les essais doivent être effectués conformément à l'ISO 48, compte tenu des exceptions indiquées ci-dessous.

H.2.1 Surfaces de grands rayons de courbure

Conformément à l'ISO 48, l'appareil d'essai doit être construit de manière à reposer fermement sur la surface de l'enveloppe isolante en HEPR et permettre au pied presseur et au pénétrateur de réaliser un contact vertical avec cette surface. Cela est réalisé de l'une des manières suivantes:

- a) l'appareil 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 muni de deux tiges parallèles A et A' dont l'écartement dépend de la courbure de la surface (voir Figure H.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 essayée est inférieure à 4 mm, on doit utiliser un appareillage tel que décrit dans l'ISO 48 pour les éprouvettes minces et de petite taille.

H.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 H.2.1, l'éprouvette doit être supportée par la même base rigide que l'appareillage d'essai, de façon à limiter le dérapage de l'enveloppe isolante en HEPR lorsque la force de pénétration est appliquée au pénétrateur, 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 en forme de gorge ou de goulotte (voir Figure H.2a);
- b) faire reposer les extrémités de l'âme de l'éprouvette dans des blocs en forme de V (voir Figure H.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 décrit dans l'ISO 48 pour les éprouvettes minces et de petite taille.

H.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 $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ et les éprouvettes doivent être maintenues à cette température pendant au moins 3 h immédiatement avant l'essai.

H.2.4 Nombre de mesures

On doit procéder à une mesure en 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 la dureté de l'éprouvette, exprimée en degrés internationaux de dureté du caoutchouc (DIDC).

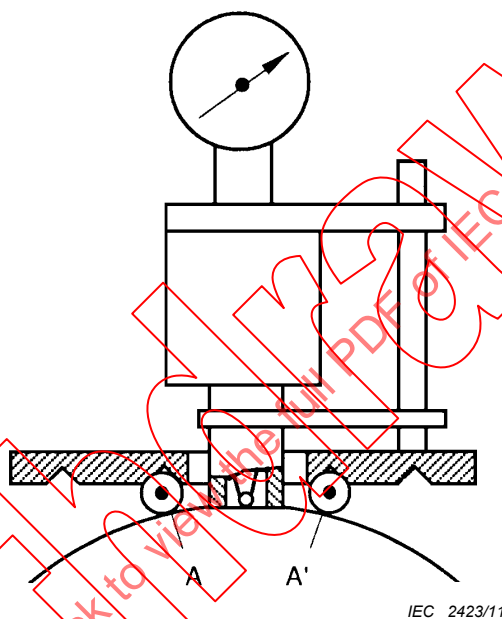


Figure H.1 – Essai des surfaces de grands rayons de courbure

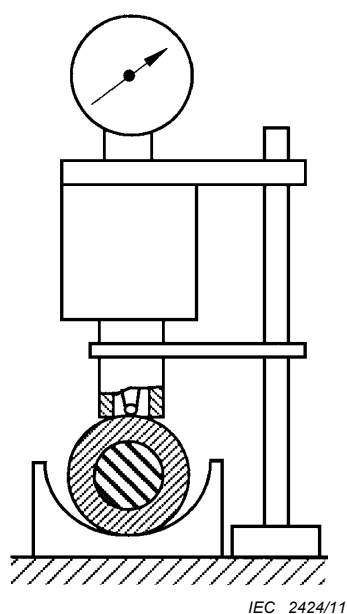


Figure H.2a – Éprouvette dans une goulotte

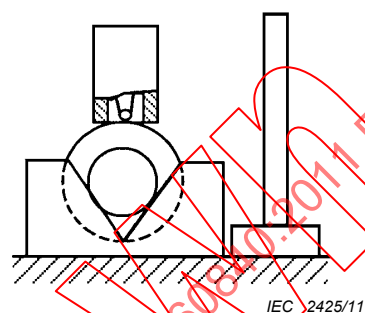


Figure H.2b – Éprouvette dans des blocs en forme de V

Figure H.2 – Essai des surfaces de petit rayon de courbure

Bibliographie

CEI 60287 (toutes les parties), *Câbles électriques – Calcul du courant admissible*

CEI 60853-2, *Calcul des capacités de transport des câbles pour les régimes de charge cycliques et de surcharge de secours – Partie 2: Régime cyclique pour des câbles de tensions supérieures à 18/30 (36) kV et régimes de secours pour des câbles de toutes tensions*

CEI 61443, *Limites de température de court-circuit des câbles électriques de tension assignée supérieure à 30 kV ($U_m = 36$ kV)*

Electra N° 128, *Guide pour la protection des liaisons à connexions spéciales d'écran contre les surtensions d'écran*, janvier 1990, pp 46-62

Electra N° 141, *Guide pour les essais à effectuer sur les câbles HT à isolation synthétique et écrans de protection laminés*, avril 1992, pp 53-61

Electra N° 157, *Brochure thématique CIGRE: Accessoires pour câbles haute tension à isolation synthétique extrudée*, décembre 1994, pp 84-89

Electra N° 173, *Essais après pose des systèmes de câbles haute tension à isolation extrudée*, août 1997, pp 32-41

Electra N° 205, *Expérience d'essais tension alternative après pose sur l'isolation principale des systèmes de câbles (U)HT polymériques*, décembre 2002, pp 26-36

Electra N° 227, *Révision des procédures de qualification pour des câbles à courant alternatif haute tension*, Electra N° 227, Août 2006 pp31-37

Brochure thématique 303 CIGRE: *Révision des procédures de qualification pour les câbles extrudés à courant alternatif de haute et très haute tension; Groupe de Travail CIGRE B1-06, 2006*

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60840:2011 RLV

REDLINE VERSION

Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages above 30 kV ($U_m = 36$ kV) up to 150 kV ($U_m = 170$ kV) – Test methods and requirements

Câbles d'énergie à isolation extrudée et leurs accessoires pour des tensions assignées supérieures à 30 kV ($U_m = 36$ kV) et jusqu'à 150 kV ($U_m = 170$ kV) – Méthodes et exigences d'essai

CONTENTS

FOREWORD.....	6
INTRODUCTION.....	8
1 Scope.....	10
2 Normative references.....	10
3 Terms and definitions	11
3.1 Definitions of dimensional values (thicknesses, cross-sections, etc.).....	12
3.2 Definitions concerning tests	12
3.3 Other definitions	12
4 Voltage designations and materials	13
4.1 Rated voltages	13
4.2 Cable insulating materials.....	13
4.3 Cable metal screens/sheaths	13
4.4 Cable oversheathing materials	13
5 Precautions against water penetration in cables	13
6 Cable characteristics	14
7 Accessory characteristics.....	15
8 Test conditions	15
8.1 Ambient temperature	15
8.2 Frequency and waveform of power frequency test voltages	15
8.3 Waveform of lightning impulse test voltages.....	15
8.4 Relationship of test voltages to rated voltages.....	15
8.5 Determination of the cable conductor temperature	16
9 Routine tests on cables and on the main insulation of prefabricated accessories	16
9.1 General	16
9.2 Partial discharge test.....	16
9.3 Voltage test	16
9.4 Electrical test on oversheath of the cable	17
10 Sample tests on cables.....	17
10.1 General	17
10.2 Frequency of tests	17
10.3 Repetition of tests.....	17
10.4 Conductor examination	17
10.5 Measurement of electrical resistance of conductor and metallic screen	18
10.6 Measurement of thickness of cable insulation and oversheath.....	18
10.6.1 General	18
10.6.2 Requirements for the insulation.....	18
10.6.3 Requirements for the cable oversheath	18
10.7 Measurement of thickness of metallic sheath	19
10.7.1 Lead or lead alloy sheath	19
10.7.2 Plain or corrugated aluminium sheath	19
10.8 Measurement of diameters	20
10.9 Hot set test for XLPE, EPR and HEPR insulations	20
10.9.1 Procedure.....	20
10.9.2 Requirements	20

10.10	Measurement of capacitance.....	20
10.11	Measurement of density of HDPE insulation	20
10.11.1	Procedure	20
10.11.2	Requirements.....	20
10.12	Lightning impulse voltage test	20
10.13	Water penetration test.....	21
10.14	Tests on components of cables with a longitudinally applied metal tape or foil, bonded to the oversheath	21
11	Sample tests on accessories.....	21
11.1	Tests on components	21
11.2	Tests on complete accessory.....	21
12	Type tests on cable systems	22
12.1	General	22
12.2	Range of type approval	22
12.3	Summary of type tests	23
12.4	Electrical type tests on complete cable systems	23
12.4.1	Test voltage values	23
12.4.2	Tests and sequence of tests	24
12.4.3	Bending test	24
12.4.4	Partial discharge tests	25
12.4.5	Tan δ measurement	25
12.4.6	Heating cycle voltage test	25
12.4.7	Lightning impulse voltage test followed by a power frequency voltage test	26
12.4.8	Examination.....	26
12.4.9	Resistivity of semi-conducting screens	26
12.5	Non-electrical type tests on cable components and on complete cable	27
12.5.1	Check of cable construction	28
12.5.2	Tests for determining the mechanical properties of insulation before and after ageing.....	28
12.5.3	Tests for determining the mechanical properties of oversheaths before and after ageing	28
12.5.4	Ageing tests on pieces of complete cable to check compatibility of materials	28
12.5.5	Loss of mass test on PVC oversheaths of type ST ₂	29
12.5.6	Pressure test at high temperature on oversheaths	29
12.5.7	Test on PVC oversheaths (ST ₁ , ST ₂) at low temperature	30
12.5.8	Heat shock test for PVC oversheaths (ST ₁ and ST ₂)	30
12.5.9	Ozone resistance test for EPR and HEPR insulations	30
12.5.10	Hot set test for EPR, HEPR and XLPE insulations	30
12.5.11	Measurement of density of HDPE insulation	30
12.5.12	Measurement of carbon black content of black PE oversheaths (ST ₃ and ST ₇).....	31
12.5.13	Test under fire conditions	32
12.5.14	Water penetration test	32
12.5.15	Tests on components of cables with a longitudinally applied metal tape or foil, bonded to the oversheath	32
12.5.16	Shrinkage test for PE, HDPE and XLPE insulations.....	32
12.5.17	Shrinkage test for PE oversheaths (ST ₃ and ST ₇)	32
12.5.18	Determination of hardness of HEPR insulation	33

12.5.19	Determination of the elastic modulus of HEPR insulation.....	33
13	Prequalification test of the cable system.....	33
13.1	General and range of prequalification test approval.....	33
13.2	Prequalification test on complete system.....	34
13.2.1	Summary of prequalification tests	34
13.2.2	Test voltage values	34
13.2.3	Test arrangement	34
13.2.4	Heating cycle voltage test	35
13.2.5	Lightning impulse voltage test	36
13.2.6	Examination.....	36
13.3	Tests for the extension of the prequalification of a cable system.....	36
13.3.1	Summary of the extension of prequalification test.....	36
13.3.2	Electrical part of the extension of prequalification tests on complete cable system.....	36
14	Type tests on cables	38
14.1	General	38
14.2	Range of type approval	38
14.3	Summary of type tests	39
14.4	Electrical type tests on completed cables.....	39
15	Type tests on accessories.....	40
15.1	General	40
15.2	Range of type approval	40
15.3	Summary of type tests	41
15.4	Electrical type tests on accessories.....	41
15.4.1	Test voltage values	41
15.4.2	Tests and sequence of tests	41
16	Electrical tests after installation.....	42
16.1	General	42
16.2	DC voltage test of the oversheath	42
16.3	AC voltage test of the insulation.....	42
Annex A (informative)	Determination of the cable conductor temperature.....	49
Annex B (normative)	Rounding of numbers.....	55
Annex C (informative)	List of type, prequalification and extension of prequalification tests for cable systems, cables and accessories.....	56
Annex D (normative)	Method of measuring resistivity of semi-conducting screens.....	59
Annex E (normative)	Water penetration test	63
Annex F (normative)	Tests on components of cables with a longitudinally applied metal tape or foil, bonded to the oversheath	65
Annex G (normative)	Tests of outer protection for buried joints.....	68
Annex H (normative)	Determination of hardness of HEPR insulations	71
Bibliography		73
Figure 1	– Example of the test arrangement for the prequalification test.....	35
Figure 2	– Example of extension of prequalification test arrangement for the prequalification of a system with another joint, designed for rigid as well as flexible installation	37
Figure A.1	– Typical test set-up for the reference loop and the main test loop	51

Figure A.2 – Example of an arrangement of the thermocouples temperature sensors on the conductor of the reference loop	52
Figure D.1 – Preparation of samples for measurement of resistivity of conductor and insulation screens	60
Figure E.1 – Schematic diagram of apparatus for water penetration test	64
Figure F.1 – Adhesion of metal foil	65
Figure F.2 – Example of overlapped metal foil	66
Figure F.3 – Peel strength of overlapped metal foil	66
Figure H.1 – Test on surfaces of large radius of curvature	72
Figure H.2 – Test on surfaces of small radius of curvature	72
Table 1 – Insulating compounds for cables	42
Table 2 – Oversheathing compounds for cables	43
Table 3 – Tan δ requirements for insulating compounds for cables	43
Table 4 – Test voltages	43
Table 5 – Non-electrical type tests for insulating and oversheathing compounds for cables	44
Table 6 – Test requirements for mechanical characteristics of insulating compounds for cables (before and after ageing)	45
Table 7 – Test requirements for mechanical characteristics of oversheathing compounds for cables (before and after ageing)	46
Table 8 – Test requirements for particular characteristics of insulating compounds for cables	47
Table 9 – Test requirements for particular characteristics of PVC oversheathing for cables	48
Table C.1 – Type tests on cable systems, on cables and on accessories	57
Table C.2 – Prequalification tests on cable systems with a calculated nominal conductor electric stress above 8,0 kV/mm or a calculated nominal insulation electric stress above 4,0 kV/mm	57
Table C.3 – Extension of prequalification tests on cable systems with a calculated nominal conductor electric stress above 8,0 kV/mm or a calculated nominal insulation electric stress above 4,0 kV/mm	58
Table G.1 – Impulse voltage tests	69

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

POWER CABLES WITH EXTRUDED INSULATION AND THEIR ACCESSORIES FOR RATED VOLTAGES ABOVE 30 kV ($U_m = 36$ kV) UP TO 150 kV ($U_m = 170$ kV) – TEST METHODS AND REQUIREMENTS

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.

This redline version of the official IEC Standard allows the user to identify the changes made to the previous edition. A vertical bar appears in the margin wherever a change has been made. Additions are in green text, deletions are in strikethrough red text.

International Standard IEC 60840 has been prepared by IEC technical committee 20: Electric cables.

This fourth edition cancels and replaces the third edition, published in 2004, and constitutes a major technical revision.

The significant technical change with respect to the previous edition is as follows:

- introduction of a prequalification test procedure for cables with high electrical stresses and tested as a cable system including accessories.

NOTE For a more detailed history of events leading up to this fourth edition, see the Introduction.

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

FDIS	Report on voting
20/1267/FDIS	20/1277A/RVD

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

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

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

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

INTRODUCTION

~~This document is a major revision of IEC 60840, second edition, published in February 1999.~~

~~During the preparation of the second edition, a number of comments of principle were made on the CD and CDV and, at its meeting in February 1998, the former SC20A of TC20 agreed that these comments should be the basis of a major revision of IEC 60840 under the maintenance cycle. In addition, during the preparation of the new IEC 62067 covering cable systems above 150 kV up to 500 kV, it appeared that a number of comments were also applicable to IEC 60840. Therefore, all these comments were considered in the preparation of this third edition.~~

~~In addition, the following other aspects have been considered.~~

The first edition of IEC 60840, published in 1988, dealt only with cables. Accessories were added to the second edition, published in February 1999, which separately covered test methods and test requirements for

- a) cables alone,
- b) cables together with accessories (a cable system).

Some countries then suggested that a better discrimination be made between systems, cables and accessories, particularly for the lower voltages of the scope, e.g. 45 kV. This was taken into account ~~in the third edition and is retained~~ in this revision, which gives the type approval requirements and the range of approvals for

- a) cable systems,
- b) cables alone,
- c) accessories alone.

Manufacturers and users may choose the most appropriate option for type approval.

~~During the meeting of TC20 held in Stockholm in September 2000, it was agreed that WG16 consider the guidelines made by CIGRE for cables having a longitudinally applied metal foil, published in Electra n°141 in April 1992. WG16 carried out this task and, further to a survey on the experience with such cables, have concluded that only a part of these guidelines should be introduced in this standard as a normative annex.~~

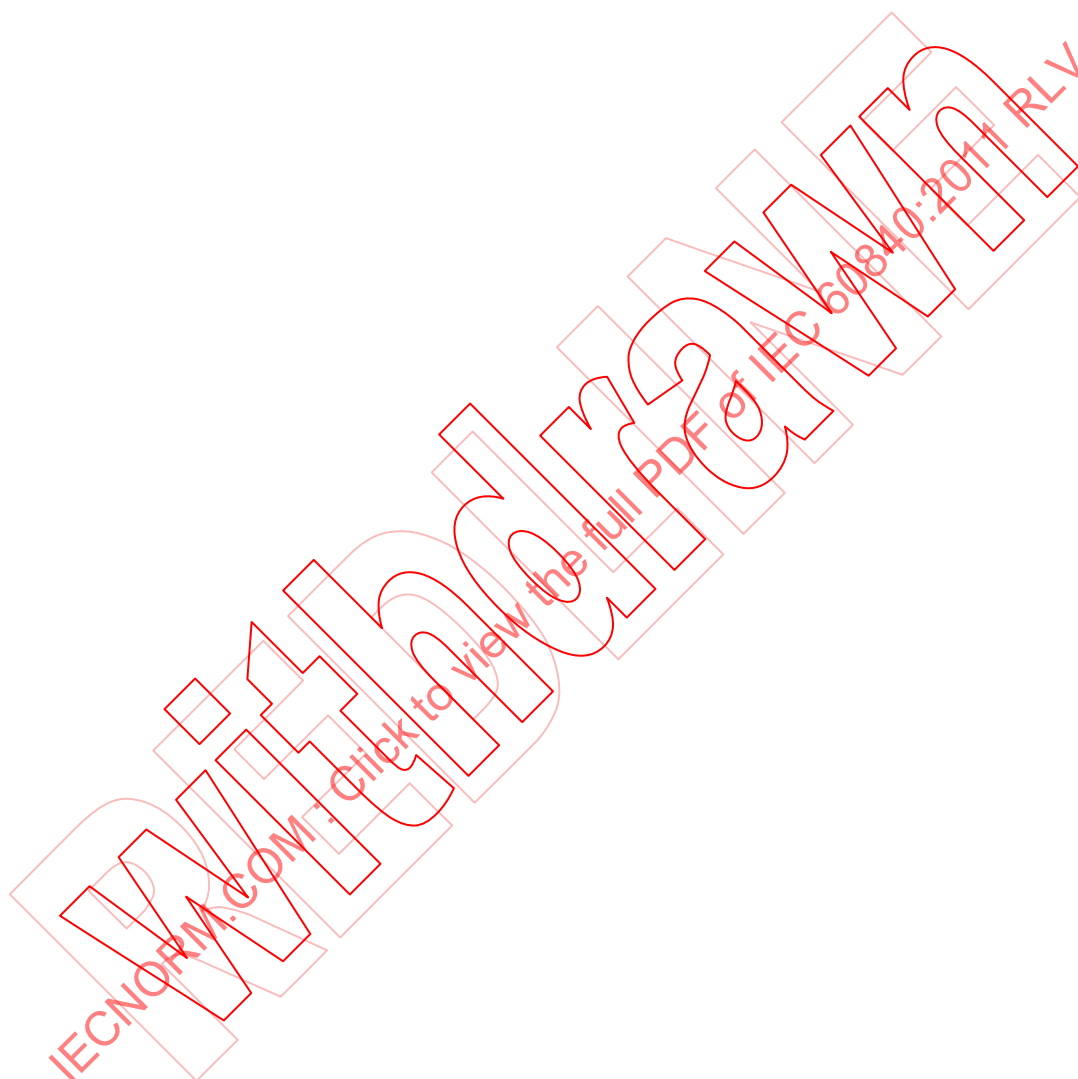
~~Consideration has also been given to the recent work carried out by CIGRE on tests after installation on high voltage extruded insulation cables, the recommendations of which were published in Electra n°173 in August 1997. These recommendations state, among others, that d.c. tests should be avoided on the main insulation, as they are both ineffective and dangerous. On the other hand, d.c. tests are recommended on the oversheath.~~

At its meeting in November 2004, TC 20 decided to prepare a further major revision of IEC 60840 and concluded that this edition should incorporate the recommendations for testing HV and EHV extruded cables that were under preparation by CIGRE study committee B1 WG B1.06. This work was made available as CIGRE technical brochure No. 303, before the meeting of TC 20 in October 2006. The brochure, entitled "Revision of qualification procedures for extruded (extra) high voltage a.c. underground cables", has therefore been considered by TC 20, and considerable parts implemented in this standard. Cables with high electrical stresses at the conductor screen and/or insulation screen are now required to undergo a prequalification test procedure (simplified compared to that in IEC 62067) as a cable system inclusive of accessories.

Additionally the following other significant changes to this standard have been introduced:

- a) The clause numbering of this standard and IEC 62067 (which has been revised at the same time as this standard) has been coordinated to achieve as much commonality as possible to assist users who use both standards.
- b) In the case of the sample test, the lightning impulse voltage test is no longer followed by a power frequency voltage test.

A list of relevant CIGRE references is given in the bibliography.



POWER CABLES WITH EXTRUDED INSULATION AND THEIR ACCESSORIES FOR RATED VOLTAGES ABOVE 30 kV ($U_m = 36$ kV) UP TO 150 kV ($U_m = 170$ kV) – TEST METHODS AND REQUIREMENTS

1 Scope

This International Standard specifies test methods and requirements for power cable systems, **cables alone and accessories alone**, for fixed installations **and** for rated voltages above 30 kV ($U_m = 36$ kV) up to and including 150 kV ($U_m = 170$ kV). ~~It also separately covers cables and accessories.~~

The requirements apply to single-core cables and to individually screened three-core cables and to their accessories for usual conditions of installation and operation, but not to special cables and their accessories, such as submarine cables, for which modifications to the standard tests may be necessary or special test conditions may need to be devised.

This standard does not cover transition joints between cables with extruded insulation and paper insulated cables.

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.

NOTE The IEC 60811 series is currently undergoing a revision, which will lead to a restructuring of its parts. A description of this, as well as a cross-reference table between the current and planned parts will be given in IEC 60811-100.

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 60229:1982–2007, *Electric cables – Tests on cable extruded oversheaths which have with a special protective function and are applied by extrusion*

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

IEC 60287-1-1:1994 2006, *Electric cables – Calculation of the current rating – Part 1-1: Current rating equations (100 % load factor) and calculation of losses – General*

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

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

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*

Amendment 1 (2001)

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

Amendment 1 (1989)

Amendment 2 (2000)

IEC 60811-1-3:1993, ~~Insulating Common test methods for insulating~~ and sheathing materials of electric cables – ~~Common test methods~~ – Part 1-3: General application – Methods for determining the density – Water absorption tests – Shrinkage test

Amendment 1 (2001)

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

Amendment 1 (1993)

Amendment 2 (2001)

IEC 60811-2-1:1998, ~~Common test methods for~~ 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

Amendment 1 (2001)

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

Amendment 1 (1994)

Amendment 2 (2001)

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

Amendment 1 (1993)

Amendment 2 (2003)

IEC 60811-4-1:1985-2004, ~~Common test methods for insulating~~ Insulating and sheathing materials of electric and optical cables – ~~Common test methods~~ – Part 4-1: Methods specific to polyethylene and polypropylene compounds – Resistance to environmental stress cracking – ~~Wrapping test after thermal ageing in air~~ – Measurement of the melt flow index – Carbon black and/or mineral filler content measurement in ~~PE~~ polyethylene by direct combustion – ~~Measurement of carbon black content by thermogravimetric analysis (TGA) – Assessment of carbon black dispersion in polyethylene using a microscope~~

IEC 60885-3:1988, *Electrical test methods for electric cables – Part 3: Test methods for partial discharge measurements on lengths of extruded power cables*

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 **terms and** 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

median value

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

3.2 Definitions concerning tests

3.2.1

routine test

tests made by the manufacturer on each manufactured component (length of cable or accessory) to check that the component meets the specified requirements

3.2.2

sample test

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

3.2.3

type test

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

NOTE Once successfully completed, these tests need not be repeated, unless changes are made in the cable or accessory with respect to materials, or design or manufacturing process, design or design electrical stress levels, which might adversely change the performance characteristics.

3.2.4

prequalification test

test made before supplying on a general commercial basis a type of cable system covered by this standard, in order to demonstrate satisfactory long term performance of the complete cable system

3.2.5

extension of prequalification test

tests made before supplying on a general commercial basis a type of cable system covered by this standard, in order to demonstrate satisfactory long term performance of the complete cable system, taking into account an already prequalified cable system

3.2.4 3.2.6

electrical test after installation

tests made to demonstrate the integrity of the cable system as installed

3.3 Other definitions

3.3.1

cable system

cable with installed accessories including components used for thermo-mechanical restraint of systems limited to those used for terminations and joints only

3.4 3.3.2**nominal electrical stress**

electrical stress calculated at U_0 using nominal dimensions

4 Voltage designations and materials**4.1 Rated voltages**

In this standard, the symbols U_0 , U and U_m are used to designate the rated voltages of cables and accessories where these symbols have the meanings given in IEC 60183.

4.2 Cable insulating materials

This standard applies to cables insulated with one of the materials listed in Table 1. It also specifies for each type of insulating compound the maximum operating conductor temperatures on which the specified test conditions are based.

4.3 Cable metal screens/sheaths

This standard applies to the various designs in use. It covers designs providing a radial watertightness and other designs.

Designs that provide radial watertightness mainly consist of

- metal sheaths,
- longitudinally applied metal tapes or foils bonded to the oversheath,
- composite screens, involving a bunch of wires and, in addition, either a metal sheath or a metal tape or foil bonded to the oversheath, acting as a radial water impermeable barrier (see Clause 5),

and other designs such as

- metal tapes or foils not bonded to the oversheath,
- bunch of metal wires only.

NOTE In all cases the metal screen/sheath should be able to carry the total fault current.

4.3.4 Cable oversheathing materials

Tests are specified for four types of oversheath, as follows:

- ST_1 and ST_2 based on polyvinyl chloride (PVC);
- ST_3 and ST_7 based on polyethylene (PE).

The choice of the type of oversheath depends on the design of the cable and the mechanical, thermal and fire constraints during installation and operation.

The maximum conductor temperatures in normal operation for the different types of oversheathing materials covered by this standard are given in Table 2.

NOTE For some applications the oversheath can be covered by a functional layer (e.g. semi-conductive).

5 Precautions against water penetration in cables

When cable systems are installed in ground, in easily flooded galleries or in water, a radial water impermeable barrier around the cable is recommended.

NOTE A test for radial water penetration is currently not available.

Longitudinal water barriers may also be applied in order to avoid the need to replace long sections of cable in case of damage in the presence of water.

A test for longitudinal water penetration is given in ~~12.4.18~~ 12.5.14.

6 Cable characteristics

For the purpose of carrying out the cable system or cable tests described in this standard and recording the results, the cable shall be identified. The following characteristics shall be known or declared:

- Name of manufacturer, type, designation and manufacturing date or date code.
- Rated voltage: values shall be given for U_0 , U , U_m (see 4.1 and 8.4).
- Type of conductor, its material and nominal cross-sectional area, in square millimetres; conductor construction; ~~presence, if any, and nature of measures taken to reduce skin effect~~; presence, if any, and nature of measures taken to achieve longitudinal watertightness; if the nominal cross-sectional area is not in accordance with IEC 60228, the d.c. conductor resistance, ~~corrected to 1 km length and to 20 °C~~.
- Material and nominal thickness of insulation (t_n) (see 4.2). If the insulation is XLPE, special additives shall be declared if the higher value of $\tan \delta$ according to Table 3 is applicable.
- Type of manufacturing process for insulation system.
- Presence, if any, and nature of watertightness measures in the screening area.
- Material and construction of metallic screen, e.g. number and diameter of wires. (The d.c. resistance of the metallic screen shall be declared.) Material, construction and nominal thickness of metallic sheath, or longitudinally applied metal ~~tape or foil bonded to the oversheath~~, if any.
- Material and nominal thickness of oversheath.
- Nominal diameter of the conductor (d).
- Nominal overall diameter of the cable (D).
- ~~Nominal inner diameter (d_{ii}) and calculated nominal outer diameter (D_{io}) of the insulation.~~
- ~~Nominal capacitance, corrected to 1 km length, between conductor and metallic screen/sheath.~~
- ~~Calculated nominal electrical stress at conductor screen (E_i) and at insulation screen (E_o):~~

$$E_i = \frac{2U_0}{d_{ii} \times \ln(D_{io} / d_{ii})}$$

$$E_o = \frac{2U_0}{D_{io} \times \ln(D_{io} / d_{ii})}$$

where

$$D_{io} = d_{ii} + 2t_n;$$

D_{io} is the calculated nominal outer diameter of the insulation;

d_{ii} is the declared nominal inner diameter of the insulation;

t_n is the declared nominal insulation thickness.

The value of U_0 is given in Table 4.

7 Accessory characteristics

For the purpose of carrying out the cable system or accessory tests described in this standard and recording the results, the accessory shall be identified.

The following characteristics shall be known or declared:

- a) cables used for testing accessories shall be correctly identified as in Clause 6;
- b) conductor connections used within the accessories shall be correctly identified, where applicable, with respect to
 - assembly technique,
 - tooling, dies and necessary setting,
 - preparation of contact surfaces,
 - type, reference number and any other identification of the connector,
 - details of the type test approval of the connector, **if applicable**;
- c) accessories to be tested shall be correctly identified with respect to
 - name of manufacturer,
 - type, designation and manufacturing date or date code,
 - rated voltage (see 6 b) above),
 - installation instructions (reference and date).

8 Test conditions

8.1 Ambient temperature

Unless otherwise specified in the details for the particular test, tests shall be carried out at an ambient temperature of $(20 \pm 15) ^\circ\text{C}$.

8.2 Frequency and waveform of power frequency test voltages

Unless otherwise indicated in this standard, 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.

8.3 Waveform of lightning impulse test voltages

In accordance with IEC 60230, the front time of the standard lightning impulse voltage shall be between $1\ \mu\text{s}$ and $5\ \mu\text{s}$. The time to half value shall be $50\ \mu\text{s} \pm 10\ \mu\text{s}$ as specified in IEC 60060-1.

8.4 Relationship of test voltages to rated voltages

Where test voltages are specified in this standard as multiples of the rated voltage U_0 , the value of U_0 for the determination of the test voltages shall be as specified in Table 4.

For cables and accessories of rated voltages not shown in the table, the value of U_0 for determination of test voltages may be the same as for the nearest rated voltage which is given, provided that the value of U_m for the cable and accessory is not higher than the corresponding value in the table. Otherwise, and particularly if the rated voltage is not close to one of the values in the table, the value of U_0 on which the test voltages are based shall be the rated value, i.e. U divided by $\sqrt{3}$.

The test voltages in this standard are based on the assumption that the cables and accessories are used on systems of category A or B, as defined in IEC 60183.

8.5 Determination of the cable conductor temperature

It is recommended that one of the test methods described in Annex A is used to determine the actual conductor temperature.

9 Routine tests on cables and on the main insulation of prefabricated accessories

9.1 General

The following tests shall be carried out on each manufactured length of cable:

- a) partial discharge test (see 9.2);
- b) voltage test (see 9.3);
- c) electrical test on oversheath of the cable, if required (see 9.4).

The order in which these tests are carried out is at the discretion of the manufacturer.

The main insulation of each prefabricated accessory shall undergo partial discharge (see 9.2) and voltage **routine** tests (see 9.3) according to either 1), 2) or 3), below:

- 1) on accessories installed on cable;
- 2) by using a host accessory into which a component of an accessory is substituted for test;
- 3) by using a simulated accessory rig in which the electrical stress environment of a main insulation component is reproduced.

In cases 2) and 3), the test voltage shall be selected so as to obtain electrical stresses at least the same as those on the component in a complete accessory when subjected to the test voltages specified in 9.2 and 9.3.

NOTE The main insulation of prefabricated accessories consists of the components that come in direct contact with the cable insulation and are necessary to control the electric stress distribution in the accessory. Examples are premoulded or precast elastomer or filled epoxy resin insulating components that may be used singly or jointly to provide the necessary insulation or screening of accessories.

9.2 Partial discharge test

The partial discharge test shall be carried out in accordance with IEC 60885-3 for cables, except that the sensitivity as defined in IEC 60885-3 shall be 10 pC or better. Testing of accessories follows the same principles, but the sensitivity shall be 5 pC or better.

The test voltage shall be raised gradually to and held at $1,75 U_0$ for 10 s and then slowly reduced to $1,5 U_0$ (see Table 4, column 5).

There shall be no detectable discharge exceeding the declared sensitivity from the test object at $1,5 U_0$.

9.3 Voltage test

The voltage test shall be made at ambient temperature using an alternating test voltage at power frequency.

The test voltage shall be raised gradually to $2,5 U_0$ (see Table 4, column 4) and then be held for 30 min between the conductor and metallic screen/sheath.

No breakdown of the insulation shall occur.

9.4 Electrical test on oversheath of the cable

When the test is required by the particular contract, the cable oversheath shall be subjected to the electrical test specified in Clause 3 of IEC 60229:2007.

10 Sample tests on cables

10.1 General

The following tests shall be carried out on samples which, for the tests in items b) and g), may be **complete** drum lengths of cable, taken to represent batches:

- a) conductor examination (see 10.4);
- b) measurement of electrical resistance of conductor and of metallic screen (see 10.5);
- c) measurement of thickness of insulation and oversheath (see 10.6);
- d) measurement of thickness of metallic sheath (see 10.7);
- e) measurement of diameters, if required (see 10.8);
- f) hot set test for XLPE, EPR and HEPR insulations (see 10.9);
- g) measurement of capacitance (see 10.10);
- h) measurement of density of HDPE insulation (see 10.11);
- i) lightning impulse voltage test for a cable with calculated nominal conductor stress > 8,0 kV/mm when calculated according to Clause 6, item m) (see 10.12);
- j) water penetration test, if applicable (see 10.13);
- k) tests on components of cables with a longitudinally applied metal tape or foil, bonded to the oversheath (see 10.14).

10.2 Frequency of tests

The sample tests in items a) to h) and k) of 10.1 shall be carried out on one length from each batch (manufacturing series) of the same type and cross-section of cable, but shall be limited to not more than 10 % of the number of lengths in any contract, rounded to the nearest whole number.

The frequency of the tests in items i) and j) of 10.1 shall be in accordance with agreed quality control procedures. In the absence of such an agreement, one test shall be made for contracts with a cable length greater than 20 km.

10.3 Repetition of tests

If the sample from any length selected for the tests fails in any of the tests in 10.1, further samples shall be taken from two further lengths of the same batch and subjected to the same tests as those in which the original sample failed. If both additional samples pass the tests, the other cables in the batch from which they were taken shall be regarded as having complied with the requirements of this standard. If either fails, this batch of cables shall be regarded as having failed to comply.

10.4 Conductor examination

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

10.5 Measurement of electrical resistance of conductor and metal screen

The cable length, or a sample thereof, shall be placed in the test room, which shall be maintained at a reasonably constant temperature for at least 12 h before the test. If there is a doubt that the conductor or metal screen temperature is not 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 or metal screen, conditioned for at least 1 h in a temperature-controlled liquid bath.

The d.c. resistance of the conductor or metal screen shall be corrected to a temperature of 20 °C and 1 km length in accordance with the formulae and factors given in IEC 60228. For screen other than copper or aluminium, temperature coefficients and correction formulae shall be taken respectively from Table 1 and 2.1.1 of IEC 60287-1-1:2006.

The corrected d.c. resistance of the conductor at 20 °C shall not exceed either the appropriate maximum value specified in IEC 60228 or the declared value.

The corrected d.c. resistance of the metal screen at 20 °C shall not exceed the declared value.

10.6 Measurement of thickness of cable insulation and oversheath

10.6.1 General

The test method shall be in accordance with Clause 8 of IEC 60811-1-1:1993 and its Amendment 1:2001.

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

10.6.2 Requirements for the insulation

The lowest measured thickness shall not fall below 90 % of the nominal thickness:

$$t_{\min} \geq 0,90 t_n$$

and additionally:

$$\frac{t_{\max} - t_{\min}}{t_{\max}} \leq 0,15$$

where

$t_{\max}$ is the maximum thickness, in millimetres;

$t_{\min}$ is the minimum thickness, in millimetres;

t_n is the nominal thickness, in millimetres.

NOTE $t_{\max}$ and $t_{\min}$ are measured at the same cross-section of the insulation.

The thickness of the semi-conducting screens on the conductor and over the insulation shall not be included in the thickness of the insulation.

10.6.3 Requirements for the cable oversheath

The lowest measured thickness shall not fall below 85 % of the nominal thickness by more than 0,1 mm:

$$t_{\min} \geq 0,85 t_n - 0,1$$

where

$t_{\min}$ is the minimum thickness, in millimetres;

t_n is the nominal thickness, in millimetres.

In addition, for oversheaths applied onto a substantially smooth surface, the average of the measured values rounded to 0,1 mm in accordance with Annex B shall be not less than the nominal thickness.

The latter requirement does not apply to oversheaths applied onto an irregular surface, such as one formed by metal screens of wires and/or tapes or corrugated metal sheath.

10.7 Measurement of thickness of metal sheath

The following tests apply if the cable has a metal sheath of lead, lead alloy or aluminium.

10.7.1 Lead or lead alloy sheath

The minimum thickness of the sheath shall not fall below 95 % of the nominal thickness by more than 0,1 mm:

$$t_{\min} \geq 0,95 t_n - 0,1$$

The thickness of the sheath shall be measured by one of the following methods, at the discretion of the manufacturer.

10.7.1.1 Strip method

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

10.7.1.2 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 $\pm 0,01$ 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.

10.7.2 Plain or corrugated aluminium sheath

The minimum thickness of the sheath shall not fall below 90 % of the nominal thickness by more than 0,1 mm for plain aluminium sheath:

$$t_{\min} \geq 0,9 t_n - 0,1$$

and 85 % of the nominal thickness by more than 0,1 mm for corrugated aluminium sheath:

$$t_{\min} \geq 0,85 t_n - 0,1$$

The measurements shall be made with a micrometer having ball noses of radii about 3 mm. The accuracy shall be $\pm 0,01$ mm.

The measurements shall be made on a ring of the sheath, about 50 mm wide, carefully removed from the complete cable. 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.

10.8 Measurement of diameters

If the purchaser requires that the diameter of the core and/or the overall diameter of the cable shall be measured, the measurements shall be carried out in accordance with 8.3 of IEC 60811-1-1:1993 and Amendment 1:2001.

10.9 Hot set test for XLPE, EPR and HEPR insulations

10.9.1 Procedure

The sampling and test procedure shall be carried out in accordance with Clause 9 of IEC 60811-2-1:1998 and Amendment 1:2001, employing the test conditions given in Table 8.

The test pieces shall be taken from that part of the insulation where the degree of cross-linking is considered to be the lowest for the curing process employed.

10.9.2 Requirements

The test results shall comply with the requirements given in Table 8.

10.10 Measurement of capacitance

The capacitance shall be measured between conductor and metallic screen/sheath at ambient temperature, and the ambient temperature shall be recorded with the test data.

The measured value of the capacitance shall be corrected to a 1 km length and shall not exceed the declared nominal value declared by the manufacturer by more than 8 %.

10.11 Measurement of density of HDPE insulation

10.11.1 Procedure

The density of HDPE shall be measured using the sampling and test procedure given in Clause 8 of IEC 60811-1-3:1993 and Amendment 1:2001.

10.11.2 Requirements

The results of the test shall comply with the requirements given in Table 8.

10.12 Lightning impulse voltage test

This test is only required for cables with a nominal electric conductor stress $> 8,0$ kV/mm.

The test shall be performed on a complete cable at least 10 m in length excluding test accessories, at a conductor temperature 5 K to 10 K above maximum conductor temperature in normal operation.

The assembly shall be heated by conductor current only, until the cable reaches the required temperature.

NOTE If, for practical reasons, the test temperature cannot be reached, additional thermal insulation may be applied.

The impulse voltage shall be applied according to the procedure given in IEC 60230.

The cable shall withstand without failure 10 positive and 10 negative voltage impulses of the appropriate value given in Table 4, column 8.

No breakdown of the insulation shall occur.

10.13 Water penetration test

If applicable, samples shall be taken from the complete cable, the test shall be applied and the requirements shall be met as described in 12.5.14.

10.14 Tests on components of cables with a longitudinally applied metal tape or foil, bonded to the oversheath

For cables with a longitudinally applied metal tape or foil bonded to the oversheath, a 1 m sample shall be taken from the complete cable and subjected to the tests and requirements in 12.5.15.

11 Sample tests on accessories

11.1 Tests on components

The characteristics of each component shall be verified in accordance with the specifications of the accessories manufacturer, either through test reports from the supplier of a given component or through internal tests.

The manufacturer of a given accessory shall provide a list of the tests to be performed on each component, indicating the frequency of each test.

The components shall be inspected against their drawings. There shall be no deviation outside the declared tolerances.

NOTE As components differ from one supplier to another, it is not possible to define common sample tests on components in this standard.

11.2 Tests on complete accessory

For accessories where the main insulation cannot be routine tested (see 9.1), the following electrical tests shall be carried out by the manufacturer on a fully assembled accessory:

- a) partial discharge test (see 9.2);
- b) voltage test (see 9.3).

The sequence in which these tests are carried out is at the discretion of the manufacturer.

NOTE Examples of main insulations that are not routine tested are heat shrink insulations and insulations taped and/or moulded on site.

These tests shall be performed on one accessory of each type per contract if the number of that type in the contract is above 50.

If the sample fails either of the above two tests, two further samples of the same accessory type shall be taken from the contract and subjected to the same tests. If both additional samples pass the tests, the other accessories of the same type from the contract shall be regarded as having complied with the requirements of this standard. If either fails, this type of accessory of the contract shall be regarded as having failed to comply.

12 Type tests on cable systems

12.1 General

The tests specified in this clause are intended to demonstrate the satisfactory performance of cable systems.

A **summary table of the subclause references to be considered during a type test on a cable system** is given in Annex C.

NOTE Tests on terminations referring to environmental conditions are not specified in this standard.

12.4.12.2 Range of type approval

When type tests have been successfully performed on one or more cable system(s) of specific cross-section(s), and of the same rated voltage and construction, the type approval shall be considered as valid for cable systems within the scope of this standard with other cross-sections, rated voltages and constructions provided that all the conditions of a) to f) are met:

NOTE 1 Type tests which have been successfully performed according to the previous edition of this standard are valid.

a) the voltage group is not higher than that of the tested cable system(s);

NOTE 2 In this context, cable systems of the same rated voltage group are those of rated voltages having a common value of U_m , highest voltage for equipment, and the same test voltage levels (see Table 4, columns 1 and 2). ~~For example, tests on a cable system of rated voltage $U = 66$ kV would also cover cables systems of rated voltages $U = 60$ kV and $U = 69$ kV.~~

b) the conductor cross-section is not larger than that of the tested cable;

c) the cable and the accessories have the same or similar constructions as that of the tested cable system(s);

NOTE 3 Cables and accessories of similar construction are those of the same type and manufacturing process of insulation and semi-conducting screens. Repetition of the electrical type tests is not necessary on account of the differences in the conductor or connector type or material or of the protective layers applied over the screened cores or over the main insulation part of the accessory, unless these are likely to have a significant effect on the results of the test. In some instances ~~e.g. for extension to three-core cables~~, it may be appropriate to repeat one or more of the type tests (e.g. bending test, heating cycle test and/or compatibility test).

d) the calculated nominal electrical stress **and the impulse voltage stress calculated using nominal dimensions** at the cable conductor screen do not exceed the ~~electrical stress at the conductor screen~~ **respective calculated stresses** of the tested cable system(s) by more than 10 %;

e) the calculated nominal electrical stress at the cable insulation screen ~~does not exceed the electrical stress at the insulation screen~~ **and the impulse voltage stress calculated using nominal dimensions do not exceed the respective calculated stresses** of the tested cable system(s);

f) the calculated nominal electrical stresses **and the impulse voltage stresses calculated using nominal dimensions** within the main insulation parts of the accessory and at the cable and accessory interfaces do not exceed ~~those the respective calculated stresses~~ of the tested cable system(s).

The type tests on cable components (see 12.4.12.5) only need to be carried out on samples from cables of different voltage ratings and/or conductor cross-sectional areas if different materials and/or different manufacturing processes are used to produce them. However, repetition of the ageing tests on pieces of completed cable to check compatibility of materials (see 12.4.4 12.5.4) may be required if the combination of materials applied over the screened core is different from that of the cable on which type tests have been carried out previously.

A type test certificate signed by the representative of a competent witnessing body, or a report by the manufacturer giving the test results and signed by the appropriate qualified officer, or a

type test certificate issued by an independent test laboratory, shall be acceptable as evidence of type testing.

42.212.3 Summary of type tests

The type tests shall comprise the electrical tests on the complete cable system as specified in ~~42.3~~ 12.4, and the appropriate non-electrical tests on cable components and completed cable specified in ~~42.4~~ 12.5.

The non-electrical tests on cable components and complete cable are listed in Table 5, indicating which tests are applicable to each insulation and oversheath material. The test under fire conditions is only required if the manufacturer wishes to claim compliance with this test as a special feature of the design of the cable.

The tests listed in ~~42.3.2~~ 12.4.2 shall be performed on one or more samples of complete cable, depending on the number of accessories involved, at least 10 m in length excluding the accessories.

The minimum length of free cable between accessories shall be 5 m.

The accessories shall be installed after the bending test on the cable. One sample of each accessory type shall be tested.

Cable and accessories shall be assembled in the manner specified by the manufacturer's instructions, with the grade and quantity of materials supplied, including lubricants if any.

The external surface of accessories shall be dry and clean, but neither the cables nor the accessories shall be subjected to any form of conditioning not specified in the manufacturer's instructions which might modify the electrical, thermal or mechanical performance.

During tests c) to g) of ~~42.3.2~~ 12.4.2, it is necessary to test joints with their outer protection fitted. If it can be shown that the outer protection does not influence the performance of the joint insulation, e.g. there are no thermo-mechanical or compatibility effects, the protection need not be fitted.

Measurement of resistivity of semi-conducting screens described in ~~42.3.9~~ 12.4.9 shall be made on a separate sample.

~~42.3~~12.4 Electrical type tests on complete cable systems

~~42.3.1~~12.4.1 Test voltage values

Prior to the electrical type tests, the insulation thickness of the cable shall be measured by the method specified in 8.1 of IEC 60811-1-1:1993 and Amendment 1:2001 on a representative piece of the length to be used for the tests, to check that the average thickness is not excessive compared with the nominal value.

If the average thickness of the insulation does not exceed the nominal value by more than 5 %, the test voltages shall be the values specified in Table 4 for the rated voltage of the cable.

If the average thickness of the insulation exceeds the nominal value by more than 5 % but by not more than 15 %, the test voltage shall be adjusted to give an electrical stress at the conductor screen equal to that applying when the average thickness of the insulation is equal to the nominal value and the test voltages are the normal values specified for the rated voltage of the cable.

The cable length used for the electrical type tests shall not have an average insulation thickness exceeding the nominal value by more than 15 %.

12.3.12.4.2 Tests and sequence of tests

The tests in items a) to h) shall be made in the following sequence:

- a) bending test on the cable (see ~~12.3.3~~ 12.4.3) followed by installation of the accessories and a partial discharge test at ambient temperature (see ~~12.3.4~~ 12.4.4);
- b) $\tan \delta$ measurement (see ~~12.3.5~~ 12.4.5);

NOTE 1 This test may be carried out on a different cable sample with special test terminations from that used for the remainder of the sequence of tests.

- c) heating cycle voltage test (see ~~12.3.6~~ 12.4.6);
- d) partial discharge tests (see ~~12.3.4~~ 12.4.4);
 - at ambient temperature, and
 - at high temperature.

The tests shall be carried out after the final cycle of item c) above or, alternatively, after the lightning impulse voltage test in item e) below;

- e) lightning impulse voltage test followed by a power frequency voltage test (see ~~12.3.7~~ 12.4.7);
- f) partial discharge tests, if not previously carried out in item d) above;
- g) tests of outer protection for ~~buried~~ joints (see Annex ~~H~~ G);

NOTE 4.2 These tests may be applied to a joint which has passed the test in item c), heating cycle voltage test, or to a separate joint which has undergone at least three thermal cycles (see Annex ~~H~~ G).

NOTE 2.3 If the cable and joint are not to be subjected to wet conditions in service (i.e. not directly buried in earth or not intermittently or continuously immersed in water), the tests in ~~item g)~~ Clause G.3 and G.4.2 may be omitted.

- h) examination of the cable system with cable and accessories on completion of the above tests (see ~~12.3.8~~ 12.4.8);
- i) the resistivity of the cable semi-conducting screens (see ~~12.3.9~~ 12.4.9) shall be measured on a separate sample.

Test voltages shall be in accordance with the values given in the appropriate column of Table 4.

12.3.12.4.3 Bending test

The cable sample shall be bent around a test cylinder (for example, the hub of a drum) at ambient temperature for at least one complete turn and unwound, without axial rotation. The sample shall then be rotated through 180 ° and the process repeated.

This cycle of operations shall be carried out three times in total.

The diameter of the test cylinder shall not be greater than

- for cables with plain aluminium sheaths:
 - $36 (d + D) + 5 \%$ for single-core cables;
 - $25 (d + D) + 5 \%$ for three-core cables;
- for cables with lead, lead-alloy, corrugated metallic sheaths or with longitudinally applied metal ~~tape~~ or foils (overlapped or welded) bonded to the oversheath:
 - $25 (d + D) + 5 \%$ for single-core cables;
 - $20 (d + D) + 5 \%$ for three-core cables;
- for other cables:
 - $20 (d + D) + 5 \%$ for single-core cables;
 - $15 (d + D) + 5 \%$ for three-core cables;

where

d is the nominal diameter of the conductor, in millimetres (see Clause 6, item i));

D is the nominal overall diameter of the cable, in millimetres (see Clause 6, item j)).

NOTE A negative tolerance is not specified, but testing at diameters below the specified values should only be done by agreement with the manufacturer.

12.3.412.4.4 Partial discharge tests

The tests shall be performed in accordance with IEC 60885-3, the sensitivity being 5 pC or better.

The test voltage shall be raised gradually to and held at $1,75 U_0$ for 10 s and then slowly reduced to $1,5 U_0$ (see Table 4, column 5).

When performed at high temperature, the test shall be carried out on the assembly at a cable conductor temperature $5\text{ }^{\circ}\text{C K}$ to $10\text{ }^{\circ}\text{C K}$ above the maximum cable conductor temperature in normal operation. The conductor temperature shall be maintained within the stated temperature limits for at least 2 h.

The assembly shall be heated by conductor current only, until the cable reaches the required temperature.

NOTE If, for practical reasons, the test temperature cannot be reached, additional thermal insulation may be applied.

There shall be no detectable discharge exceeding the declared sensitivity from the test object at $1,5 U_0$.

12.3.512.4.5 Tan δ measurement

The sample shall be heated by a suitable method conductor current only and the temperature of the conductor determined either by measuring its resistance or by thermocouples temperature sensors on the surface of the screen/sheath, or by thermocouples temperature sensors on the conductor of another sample of the same cable heated by the same means.

The sample shall be heated until the conductor reaches a temperature which shall be $5\text{ }^{\circ}\text{C K}$ to $10\text{ }^{\circ}\text{C K}$ above the maximum conductor temperature in normal operation.

NOTE If, for practical reasons, the test temperature cannot be reached, additional thermal insulation may be applied.

The tan δ shall then be measured at a power frequency voltage of U_0 at the temperature specified above (see Table 4, column 6).

The measured value shall not exceed the value given in Table 3.

12.3.612.4.6 Heating cycle voltage test

The cable shall have a U-bend with a diameter as specified in 12.3.3 12.4.3.

The assembly shall be heated by conductor current only, until the cable conductor reaches a steady temperature $5\text{ }^{\circ}\text{C K}$ to $10\text{ }^{\circ}\text{C K}$ above the maximum conductor temperature in normal operation.

NOTE 1 If, for practical reasons, the test temperature cannot be reached, additional thermal insulation may be applied.

The heating shall be applied for at least 8 h. The conductor temperature shall be maintained within the stated temperature limits for at least 2 h of each heating period. This shall be followed by at least 16 h of natural cooling to a conductor temperature **less than or equal to 30 °C or within 10 °C K of the test ambient temperature, whichever is the higher**. The conductor current during the last 2 h of each heating period shall be recorded.

The cycle of heating and cooling shall be carried out 20 times.

During the whole of the test period, a voltage of $2 U_0$ shall be applied to the assembly (see Table 4, column 7).

Interruption of the test is allowed provided 20 complete heating cycles in total under voltage are completed.

NOTE 2 Heating cycles with a conductor temperature higher than 10 K above the maximum conductor temperature in normal operation are considered valid.

12.3.8.12.4.7 Lightning impulse voltage test followed by a power frequency voltage test

The **test assembly** shall be **performed on the assembly with heated by conductor current only, until the cable conductor reaches a steady temperature 5 °C K to 10 °C K above the maximum conductor temperature in normal operation.**

The conductor temperature shall be maintained within the stated temperature limits for at least 2 h.

NOTE If, for practical reasons, the test temperature cannot be reached, additional thermal insulation may be applied.

The **lightning** impulse voltage shall be applied according to the procedure given in IEC 60230.

The assembly shall withstand without failure or flashover 10 positive and 10 negative voltage impulses of the appropriate value given in Table 4, column 8.

After the **lightning** impulse voltage test, the assembly shall be subjected to a power frequency voltage test at $2,5 U_0$ for 15 min (see Table 4, column **4 9**). At the discretion of the manufacturer, this test may be carried out either during the cooling period or at ambient temperature.

No breakdown of the insulation or flashover shall occur.

12.3.8.12.4.8 Examination

12.3.8.12.4.8.1 Systems Cable and accessories

Examination of the cable **by dissection of a sample** and, whenever possible, of the accessories **by dismantling**, with normal or corrected vision without magnification, shall reveal no signs of deterioration (e.g. electrical degradation, leakage, corrosion or harmful shrinkage) which could affect the system in service operation.

12.3.8.12.4.8.2 Cables with a longitudinally applied metal tape or foil, bonded to the oversheath

A 1 m sample shall be taken from the cable length and subjected to the tests in **12.4.19 12.5.15**.

12.3.912.4.9 Resistivity of semi-conducting screens

Measurement of resistivity of the cable semi-conducting screens shall be made on a separate sample.

The resistivity of extruded semi-conducting screens applied over the conductor and over the insulation shall be determined by measurements on test pieces taken from the core of a sample of cable as manufactured, and a sample of cable which has been subjected to the ageing treatment to test the compatibility of component materials specified in ~~12.4.4~~ 12.5.4.

~~12.3.9.1~~12.4.9.1 Procedure

The test procedure shall be in accordance with Annex D.

The measurements shall be made at a temperature within ± 2 °C K of the maximum conductor temperature in normal operation.

~~12.3.9.2~~12.4.9.2 Requirements

The resistivity, both before and after ageing, shall not exceed the following values:

- conductor screen: 1 000 $\Omega \cdot m$;
- insulation screen: 500 $\Omega \cdot m$.

~~12.4.12.5~~ Non-electrical type tests on cable components and on complete cable

The tests are as follows:

- a) check of cable construction (see ~~12.4.4~~ 12.5.1);
- b) tests for determining the mechanical properties of insulation before and after ageing (see ~~12.4.2~~ 12.5.2);
- c) tests for determining the mechanical properties of oversheaths before and after ageing (see ~~12.4.3~~ 12.5.3);
- d) ageing tests on pieces of complete cable to check compatibility of materials (see ~~12.4.4~~ 12.5.4);
- e) loss of mass test on PVC oversheaths of type ST₂ (see ~~12.4.5~~ 12.5.5);
- f) pressure test at high temperature on oversheaths (see ~~12.4.6~~ 12.5.6);
- g) tests on PVC oversheaths (ST₁, ST₂) at low temperature (see ~~12.4.7~~ 12.5.7);
- h) heat shock test for PVC oversheaths (ST₁ and ST₂) (see ~~12.4.8~~ 12.5.8);
- i) ozone resistance test for EPR and HEPR insulations (see ~~12.4.9~~ 12.5.9);
- j) hot set test for EPR, HEPR and XLPE insulations (see ~~12.4.10~~ 12.5.10);
- k) measurement of density of HDPE insulation (see ~~12.4.11~~ 12.5.11);
- l) measurement of carbon black content of black PE oversheaths (ST₃ and ST₇, see ~~12.4.12~~ 12.5.12);
- m) test under fire conditions (see 12.5.13);
- n) water penetration test (see 12.5.14);
- o) tests on components of cables with a longitudinally applied metal tape or foil, bonded to the oversheath (see 12.5.15);
- ~~m) p) shrinkage test for PE, HDPE and XLPE insulations (see ~~12.4.13~~ 12.5.16);~~
- ~~n) q) shrinkage test for PE oversheaths (ST₃ and ST₇) (see ~~12.4.14~~ 12.5.17);~~
- ~~o) r) determination of hardness of HEPR insulation (see ~~12.4.15~~ 12.5.18);~~
- ~~p) s) determination of the elastic modulus of HEPR insulation (see ~~12.4.16~~ 12.5.19);~~
- ~~q) test under fire conditions (see 12.4.17);~~
- ~~r) water penetration test (see 12.4.18);~~
- ~~s) tests on components of cables with a longitudinally applied metal foil (see 12.4.19).~~

12.4.412.5.1 Check of cable construction

The examination of the conductor and measurements of insulation, oversheath and metal sheath thicknesses shall be carried out in accordance with, and shall comply with, the requirements given in 10.4, 10.6 and 10.7.

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

12.4.2.112.5.2.1 Sampling

Sampling and preparation of test pieces shall be carried out in accordance with 9.1 of IEC 60811-1-1:1993 and Amendment 1:2001.

12.4.2.212.5.2.2 Ageing treatment

The ageing treatment shall be carried out in accordance with 8.1 of IEC 60811-1-2:1985 and Amendment 1:1989 and Amendment 2:2000 under the conditions specified in Table 6.

12.4.2.312.5.2.3 Conditioning and mechanical tests

Conditioning and measurement of mechanical properties shall be carried out in accordance with 9.1 of IEC 60811-1-1:1985.

12.4.2.412.5.2.4 Requirements

The test results for unaged and aged test pieces shall comply with the requirements given in Table 6.

12.4.312.5.3 Tests for determining the mechanical properties of oversheaths before and after ageing

12.4.3.112.5.3.1 Sampling

Sampling and preparation of test pieces shall be carried out in accordance with 9.2 of IEC 60811-1-1:1993 and Amendment 1:2001.

12.4.3.212.5.3.2 Ageing treatment

The ageing treatment shall be carried out in accordance with 8.1 of IEC 60811-1-2:1985 and Amendment 1:1989 and Amendment 2:2000 under the conditions given in Table 7.

12.4.3.312.5.3.3 Conditioning and mechanical tests

Conditioning and the measurement of mechanical properties shall be carried out in accordance with 9.2 of IEC 60811-1-1:1993 and Amendment 1:2001.

12.4.3.412.5.3.4 Requirements

The test results for unaged and aged test pieces shall comply with the requirements given in Table 7.

12.4.412.5.4 Ageing tests on pieces of complete cable to check compatibility of materials

12.4.4.112.5.4.1 General

The ageing test on pieces of completed cable shall be carried out to check that the insulation, the extruded semi-conducting layers and the oversheath are not liable to deteriorate excessively in operation due to contact with other components in the cable.

The test is applicable to cables of all types.

12.4.4.2 12.5.4.2 Sampling

Samples for the test on insulation and oversheath shall be taken from the completed cable as described in 8.1.4 of IEC 60811-1-2:1985 and Amendment 1:1989 and Amendment 2:2000.

12.4.4.3 12.5.4.3 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 60811-1-2:1985 and Amendment 1:1989 and Amendment 2:2000, under the following conditions:

- temperature: $(10 \pm 2) ^\circ\text{C}$ K above the maximum conductor temperature of the cable in normal operation (see Table 1);
- duration: 7×24 h.

12.4.4.4 12.5.4.4 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 60811-1-2:1985 and Amendment 1:1989 and Amendment 2:2000.

12.4.4.5 12.5.4.5 Requirements

The variations between the median values of tensile strength and elongation at break after ageing and the corresponding values obtained without ageing (see 12.4.2 12.5.2 and 12.4.3 12.5.3) shall not exceed the values applying to the test after ageing in an air oven given in Table 6 for insulations and in Table 7 for oversheaths.

12.4.5 12.5.5 Loss of mass test on PVC oversheaths of type ST₂

12.4.5.1 12.5.5.1 Procedure

The loss of mass test for ST₂ oversheaths shall be carried out as described in 8.2 of IEC 60811-3-2:1985 and Amendment 1:1993 and Amendment 2:2003 under the conditions given in Table 9.

12.4.5.2 12.5.5.2 Requirements

The results shall comply with the requirements given in Table 9.

12.4.6 12.5.6 Pressure test at high temperature on oversheaths

12.4.6.1 12.5.6.1 Procedure

The pressure test at high temperature for ST₁, ST₂ and ST₇ oversheaths shall be carried out as described in 8.2 of IEC 60811-3-1:1985 and Amendment 1:1994 and Amendment 2:2001, employing the test conditions given in the test method and in Table 7.

12.4.6.2 12.5.6.2 Requirements

The results shall comply with the requirements given in 8.2 of IEC 60811-3-1:1985 and Amendment 1:1994 and Amendment 2:2001.

12.4.7.12.5.7 Test on PVC oversheaths (ST₁, ST₂) at low temperature

12.4.7.12.5.7.1 Procedure

The test at low temperature for ST₁ and ST₂ oversheaths shall be carried out as described in Clause 8 of IEC 60811-1-4:1985 and Amendment 1:1993 and Amendment 2:2001, employing the test temperature given in Table 9.

12.4.7.12.5.7.2 Requirements

The results of the test shall comply with the requirements given in Clause 8 of IEC 60811-1-4:1985 and Amendment 1:1993 and Amendment 2:2001.

12.4.8.12.5.8 Heat shock test for PVC oversheaths (ST₁ and ST₂)

12.4.8.12.5.8.1 Procedure

The heat shock test on ST₁ and ST₂ oversheaths shall be carried out as described in 9.2 of IEC 60811-3-1:1985 and Amendment 1:1994 and Amendment 2:2001, the test temperature and duration being in accordance with Table 9.

12.4.8.12.5.8.2 Requirements

The results of the test shall comply with the requirements given in 9.2 of IEC 60811-3-1:1985 and Amendment 1:1994 and Amendment 2:2001.

12.4.9.12.5.9 Ozone resistance test for EPR and HEPR insulations

12.4.9.12.5.9.1 Procedure

EPR and HEPR insulations shall be tested for resistance to ozone using the sampling and test procedure described in Clause 8 of IEC 60811-2-1:1998 and Amendment 1:2001. The ozone concentration and test duration shall be in accordance with Table 8.

12.4.9.12.5.9.2 Requirements

The results of the test shall comply with the requirements given in Clause 8 of IEC 60811-2-1:1998 and Amendment 1:2001.

12.4.10.12.5.10 Hot set test for EPR, HEPR and XLPE insulations

EPR, HEPR and XLPE insulations shall be subjected to the hot set test described in 10.9 and shall comply with its requirements.

12.4.11.12.5.11 Measurement of density of HDPE insulation

The density of HDPE insulation shall be measured in accordance with 10.11 and shall comply with its requirements.

12.4.12.12.5.12 Measurement of carbon black content of black PE oversheaths (ST₃ and ST₇)

12.4.12.12.5.12.1 Procedure

The carbon black content of ST₃ and ST₇ oversheaths shall be measured using the sampling and test procedure described in Clause 11 of IEC 60811-4-1:2004.

12.4.12.12.5.12.2 Requirements

The nominal value of the carbon black content shall be (2,5 ± 0,5) %.

NOTE Lower values are allowed for special application not exposed to UV.

~~12.4.13 Shrinkage test for PE, HDPE and XLPE insulations see 12.5.16 to 12.5.19~~

~~12.4.13.1 Procedure~~

~~The shrinkage test shall be carried out on insulations of PE, HDPE or XLPE using the sampling and test procedure described in Clause 10 of IEC 60811-1-3 and the conditions specified in Table 8.~~

~~12.4.13.2 Requirements~~

~~The results of the test shall comply with the requirements given in Table 8.~~

~~12.4.14 Shrinkage test for PE oversheaths (ST₃ and ST₇)~~

~~12.4.14.1 Procedure~~

~~The shrinkage test shall be carried out on PE oversheaths using the sampling and test procedure described in Clause 11 of IEC 60811-1-3 under the following conditions:~~

- ~~— temperature: (80 ± 2) °C~~
- ~~— duration of heating: 5 h~~
- ~~— number of heating cycles: 5~~

~~12.4.14.2 Requirements~~

~~The shrinkage shall not exceed 3 %.~~

~~12.4.15 Determination of hardness of HEPR insulation~~

~~12.4.15.1 Procedure~~

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

~~12.4.15.2 Requirements~~

~~The results of the test shall comply with Table 8.~~

~~12.4.16 Determination of the elastic modulus of HEPR insulation~~

~~12.4.16.1 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.~~

~~12.4.16.2 Requirements~~

~~The results of the test shall comply with the requirements of Table 8.~~

12.4.17 12.5.13 Test under fire conditions

The test under fire condition in accordance with IEC 60332-1-2 shall be carried out on a sample of completed cable, ~~if it has an ST₁ or ST₂ oversheath and~~ if the manufacturer wishes to claim that the particular design of cable complies with the requirements.

The results shall comply with the requirements given in IEC 60332-1-2.

12.4.18 12.5.14 Water penetration test

The water penetration test shall be applied to those designs of cable where barriers to longitudinal water penetration have been included as declared in Clause 6, item c) and Clause 6, item f). The test is designed to meet the requirements for buried cables and is not intended to apply to cables which are constructed for use as submarine cables.

The apparatus, sampling, test procedure and requirements shall be in accordance with Annex ~~FE~~.

~~For cables with a longitudinally applied metal foil, a 1 m sample shall be taken from the cable length and subjected to the tests in 12.4.19.~~

12.4.19 12.5.15 Tests on components of cables with a longitudinally applied metal tape or foil, bonded to the oversheath

~~A 1 m~~ The sample shall be ~~taken from the completed cable and~~ subjected to the following tests:

- a) visual examination (see Clause ~~G.1 F.1~~);
- b) adhesion strength of metal foil (see Clause ~~G.2 F.2~~);
- c) peel strength of overlapped metal foil (see Clause ~~G.3 F.3~~).

The apparatus, test procedure and requirements shall be in accordance with Annex ~~G F~~.

12.5.16 Shrinkage test for PE, HDPE and XLPE insulations

12.5.16.1 Procedure

The shrinkage test shall be carried out on insulations of PE, HDPE or XLPE using the sampling and test procedure described in Clause 10 of IEC 60811-1-3:1993 and Amendment 1:2001 and the conditions specified in Table 8.

12.5.16.2 Requirements

The results of the test shall comply with the requirements given in Table 8.

12.5.17 Shrinkage test for PE oversheaths (ST₃ and ST₇)

12.5.17.1 Procedure

The shrinkage test shall be carried out on PE oversheaths of ST₃ and ST₇ using the sampling and test procedure described in Clause 11 of IEC 60811-1-3:1993 and Amendment 1:2001 and the conditions specified in Table 7.

12.5.17.2 Requirements

The results of the test shall comply with the requirements given in Table 7.