

# INTERNATIONAL STANDARD

## NORME INTERNATIONALE



**High voltage direct current (HVDC) power transmission – Cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages up to 320 kV for land applications – Test methods and requirements**

**Câbles haute tension en courant continu (CCHT) – Câbles d'énergie à isolation extrudée et leurs accessoires pour des tensions assignées jusqu'à 320 kV pour les applications terrestres – Méthodes et exigences d'essai**



## THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2017 IEC, Geneva, Switzerland

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

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

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

Tel.: +41 22 919 02 11  
Fax: +41 22 919 03 00  
[info@iec.ch](mailto:info@iec.ch)  
[www.iec.ch](http://www.iec.ch)

### About the IEC

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

### About IEC publications

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

#### IEC Catalogue - [webstore.iec.ch/catalogue](http://webstore.iec.ch/catalogue)

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

#### IEC publications search - [www.iec.ch/searchpub](http://www.iec.ch/searchpub)

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

#### IEC Just Published - [webstore.iec.ch/justpublished](http://webstore.iec.ch/justpublished)

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

#### Electropedia - [www.electropedia.org](http://www.electropedia.org)

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 16 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

#### IEC Glossary - [std.iec.ch/glossary](http://std.iec.ch/glossary)

65 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

#### IEC Customer Service Centre - [webstore.iec.ch/csc](http://webstore.iec.ch/csc)

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

---

### A propos de l'IEC

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

### A propos des publications IEC

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

#### Catalogue IEC - [webstore.iec.ch/catalogue](http://webstore.iec.ch/catalogue)

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

#### Recherche de publications IEC - [www.iec.ch/searchpub](http://www.iec.ch/searchpub)

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

#### IEC Just Published - [webstore.iec.ch/justpublished](http://webstore.iec.ch/justpublished)

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

#### Electropedia - [www.electropedia.org](http://www.electropedia.org)

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 16 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

#### Glossaire IEC - [std.iec.ch/glossary](http://std.iec.ch/glossary)

65 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

#### Service Clients - [webstore.iec.ch/csc](http://webstore.iec.ch/csc)

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

# INTERNATIONAL STANDARD

# NORME INTERNATIONALE



---

**High voltage direct current (HVDC) power transmission – Cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages up to 320 kV for land applications – Test methods and requirements**

**Câbles haute tension en courant continu (CCHT) – Câbles d'énergie à isolation extrudée et leurs accessoires pour des tensions assignées jusqu'à 320 kV pour les applications terrestres – Méthodes et exigences d'essai**

INTERNATIONAL  
ELECTROTECHNICAL  
COMMISSION

COMMISSION  
ELECTROTECHNIQUE  
INTERNATIONALE

---

ICS 29.060.20

ISBN 978-2-8322-4292-6

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

## CONTENTS

FOREWORD.....	7
INTRODUCTION.....	9
1 Scope.....	10
2 Normative references .....	10
3 Terms and definitions .....	11
3.1 Definitions of dimensional values (thicknesses, cross-sections, etc.) .....	11
3.2 Definitions concerning tests .....	12
3.3 Other definitions .....	12
4 Voltage designations and materials .....	13
4.1 Rated voltage .....	13
4.2 (spare).....	14
4.3 Cable insulating materials.....	14
4.4 Cable metal screens/sheaths .....	14
4.4.1 General .....	14
4.4.2 Metal sheath.....	14
4.4.3 Combined design (CD) .....	14
4.4.4 Separate design (SD) .....	14
4.5 Cable oversheathing materials.....	15
5 Precautions against longitudinal water penetration in cables .....	15
6 Cable characteristics .....	15
7 Accessory characteristics .....	16
8 Test objects & conditions.....	16
8.1 Definitions concerning test objects.....	16
8.2 Test voltages .....	17
8.3 Thermal conditions.....	18
8.4 Polarity reversal test .....	19
8.5 Superimposed impulse voltage test.....	19
8.5.1 General .....	19
8.5.2 Superimposed lightning impulse voltage .....	20
8.5.3 Superimposed switching impulse voltage.....	20
8.6 Relationship between test voltages and rated voltages .....	20
8.7 Determination of the cable conductor temperature .....	20
8.8 Rest period .....	20
9 Routine tests on cables and on the main insulation of prefabricated accessories.....	20
9.1 General.....	20
9.2 Voltage test .....	21
9.3 Electrical test on oversheath of the cable.....	21
10 Sample tests on cables.....	21
10.1 General.....	21
10.2 Frequency of tests .....	21
10.3 Repetition of tests.....	21
10.4 Conductor examination .....	22
10.5 Measurement of electrical resistance of conductor and of metal screen/sheath .....	22

10.6	Measurement of thickness of insulation and cable oversheath .....	22
10.6.1	General .....	22
10.6.2	Requirements for the insulation .....	22
10.6.3	Requirements for the cable oversheath.....	22
10.7	Measurement of thickness of metal sheath.....	23
10.7.1	Lead or lead alloy sheath.....	23
10.7.2	Plain or corrugated aluminium sheath .....	23
10.8	Measurement of diameter .....	24
10.9	Hot set test for XLPE and EPR insulations .....	24
10.9.1	Procedure.....	24
10.9.2	Requirements .....	24
10.10	Measurement of capacitance .....	24
10.11	Measurement of density of HDPE insulation.....	24
10.11.1	Procedure.....	24
10.11.2	Requirements .....	24
10.12	Impulse voltage test.....	24
10.13	Water penetration test.....	25
10.14	Adhesion and peel strength of the laminated metal foil.....	25
11	Sample tests on accessories .....	25
11.1	Tests on components .....	25
11.2	Tests on complete accessory .....	25
12	Type tests on cable systems.....	25
12.1	General.....	25
12.2	Range of type approval .....	25
12.3	Summary of type tests .....	26
12.4	Electrical type tests on complete cable systems.....	27
12.4.1	Test voltage values.....	27
12.4.2	Tests and sequence of tests .....	27
12.4.3	Bending test .....	27
12.4.4	Heating cycle voltage test.....	28
12.4.5	Superimposed impulse voltage test.....	29
12.4.6	Examination.....	30
12.4.7	Resistivity of semi-conducting screens .....	30
12.5	Non-electrical type tests on cable components and on complete cable.....	31
12.5.1	General .....	31
12.5.2	Check of cable construction.....	31
12.5.3	Tests for determining the mechanical properties of insulation before and after ageing .....	31
12.5.4	Tests for determining the mechanical properties of oversheaths before and after ageing .....	32
12.5.5	Ageing tests on pieces of complete cable to check compatibility of materials .....	32
12.5.6	Loss of mass test on PVC oversheaths of type ST <sub>2</sub> .....	32
12.5.7	Pressure test at high temperature on oversheaths .....	33
12.5.8	Test on PVC oversheaths (ST <sub>1</sub> and ST <sub>2</sub> ) at low temperature.....	33
12.5.9	Heat shock test for PVC oversheaths (ST <sub>1</sub> and ST <sub>2</sub> ).....	33
12.5.10	Ozone resistance test for EPR insulation .....	33
12.5.11	Hot set test for EPR and XLPE insulations.....	33
12.5.12	Measurement of density of HDPE insulation .....	33

12.5.13	Measurement of carbon black content of black PE oversheaths (ST <sub>3</sub> and ST <sub>7</sub> ) .....	33
12.5.14	Test under fire conditions .....	34
12.5.15	Water penetration test .....	34
13	Prequalification test of the cable system .....	34
13.1	General and range of prequalification test approval .....	34
13.2	Prequalification test on complete cable system .....	35
13.2.1	Summary of prequalification tests .....	35
13.2.2	Test voltage values .....	35
13.2.3	Test arrangement .....	35
13.2.4	Heating cycle voltage test .....	36
13.2.5	Superimposed impulse voltage test .....	36
13.2.6	Examination .....	36
13.3	Tests for the extension of the PQ of a cable system .....	37
14	Type test on cables .....	37
15	Type test on accessories .....	37
16	Electrical tests after installation .....	37
16.1	General .....	37
16.2	DC voltage test of the oversheath .....	37
16.3	High voltage test of the insulation .....	37
16.4	TDR measurement .....	37
Annex A	(informative) Determination of the cable conductor temperature .....	45
A.1	Purpose .....	45
A.2	Calibration of the temperature of the main test loop .....	45
A.2.1	General .....	45
A.2.2	Installation of cable and temperature sensors .....	45
A.2.3	Calibration method .....	47
A.3	Heating for the test .....	47
Annex B	(normative) Rounding of numbers .....	49
Annex C	(informative) List of type and prequalification tests of cable systems .....	50
Annex D	(normative) Method of measuring resistivity of semi-conducting screens .....	51
Annex E	(normative) Water penetration test .....	53
E.1	Test piece .....	53
E.2	Test .....	53
E.3	Requirements .....	53
Annex F	(normative) Tests on components of cables with a longitudinally applied metal tape or foil, bonded to the oversheath .....	55
F.1	Visual inspection .....	55
F.2	Adhesion strength of metal foil – Procedure .....	55
F.3	Peel strength of overlapped metal foil – Procedure .....	56
Annex G	(informative) Development test on cable and cable system with longitudinal applied metal foil, bonded to the oversheath .....	57
G.1	General .....	57
G.2	List of tests .....	57
G.2.1	Tests on cable .....	57
G.2.2	Tests on cable system – Short circuit test including accessories .....	57

Annex H (normative) Tests of outer protection for joints.....	58
H.1    General.....	58
H.2    Range of approval.....	58
H.3    Water immersion and heat cycling.....	58
H.4    Voltage tests.....	58
H.4.1    General .....	58
H.4.2    Assemblies embodying accessories without sheath sectionalizing insulation.....	58
H.4.3    Assemblies embodying accessories with sheath sectionalizing insulation.....	59
H.5    Examination of test assembly.....	59
Annex I (normative) Return cable.....	60
Annex J (informative) TDR measurement.....	61
Bibliography.....	62
Figure 1 – Example of configuration of test objects within a test loop.....	17
Figure 2 – Schematic representations of the switching impulse and lightning impulse test voltages .....	18
Figure A.1 – Schematic of sensor position in test set-up for the reference loop and the main test loop .....	46
Figure A.2 – Example of an arrangement of the temperature sensors on the conductor of the reference loop.....	47
Figure D.1 – Preparation of samples for measurement of resistivity of conductor and insulation screens .....	52
Figure E.1 – Schematic diagram of apparatus for water penetration test.....	54
Figure F.1 – Test arrangement for adhesion strength of metal foil.....	55
Figure F.2 – Example of overlapped metal foil .....	56
Figure F.3 – Test arrangement for peel strength of overlapped metal foil .....	56
Figure J.1 – Circuit diagram for TDR testing, traditional transmission line diagram, $\pi$ - model .....	61
Table 1 – Insulation compounds for cables .....	38
Table 2 – Oversheathing compounds for cables .....	38
Table 3 – Test requirements for particular characteristics of insulating compounds for cables.....	38
Table 4 – Non-electrical type tests for insulating and oversheath compounds for cables .....	39
Table 5 – Test requirements for adhesion or peel strength forces .....	39
Table 6 – Sequence of heating cycle voltage test for LCC type test .....	39
Table 7 – Sequence of heating cycle voltage test for VSC type test .....	40
Table 8 – Sequence of switching and lightning impulse test for LCC type test.....	40
Table 9 – Sequence of switching and lightning impulse test for VSC type test.....	40
Table 10 – Test requirements for mechanical characteristics of insulating compounds for cables (before and after ageing) .....	41
Table 11 – Test requirements for mechanical characteristics of oversheathing compounds for cables (before and after ageing) .....	42
Table 12 – Test requirements for particular characteristics of PVC oversheathing for cables.....	43

Table 13 – Sequence of heating cycle voltage test for LCC PQ test .....	43
Table 14 – Sequence of heating cycle voltage test for VSC PQ test .....	44
Table C.1 – Type tests on cable systems .....	50
Table C.2 – PQ tests on cable systems .....	50
Table H.1 – Impulse voltage tests .....	59

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**HIGH VOLTAGE DIRECT CURRENT (HVDC) POWER TRANSMISSION –  
CABLES WITH EXTRUDED INSULATION AND THEIR ACCESSORIES FOR  
RATED VOLTAGES UP TO 320 kV FOR LAND APPLICATIONS –  
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 62895 has been prepared by IEC technical committee 20: Electric cables.

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

FDIS	Report on voting
20/1708A/FDIS	20/1726/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 website under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

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

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

## INTRODUCTION

As a result of major developments in cable systems with extruded insulation for high voltage DC (HVDC) applications, CIGRE study committee B1 set up working group (WG) B1.32 in 2008 with the aim to prepare recommendations for testing DC extruded cable systems for power transmission at a rated voltage of up to 500 kV.

The recommendations of WG B1.32 were published in TB 496 in April 2012. At the time of preparing the CIGRE recommendation there was laboratory experience at voltages up to and including 500 kV, but operating experience was limited to 200 kV. At the time of preparation of this standard several projects up to 320 kV are in progress and many others are planned for the near future.

A list of relevant references is given in the Bibliography.

# HIGH VOLTAGE DIRECT CURRENT (HVDC) POWER TRANSMISSION – CABLES WITH EXTRUDED INSULATION AND THEIR ACCESSORIES FOR RATED VOLTAGES UP TO 320 kV FOR LAND APPLICATIONS – TEST METHODS AND REQUIREMENTS

## 1 Scope

This International Standard specifies test methods and requirements for HVDC transmission power cable systems, employing cables with extruded insulation and their accessories, for fixed land installations, for rated voltages up to and including 320 kV.

Within the scope of this standard “extruded insulation” means insulation manufactured by extrusion of either thermoplastic (e.g. polyethylene) or crosslinked (e.g. crosslinked polyethylene, ethylene propylene rubber, etc.) material. The insulation material may be either unfilled or filled (e.g. with mineral or carbon).

The requirements apply to single-core cables in combination with their accessories, outdoor and terminations for gas insulated systems, joints, and asymmetric joints 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.

## 2 Normative references

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60060-2, *High-voltage test techniques – Part 2: Measuring systems*

IEC 60228, *Conductors of insulated cables*

IEC 60229, *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 60287-1-1:2006/AMD1:2014

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 60502-2:2014, *Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 1 kV ( $U_m = 1,2$  kV) up to 30 kV ( $U_m = 36$  kV) – Part 2: Cables for rated voltages from 6 kV ( $U_m = 7,2$  kV) up to 30 kV ( $U_m = 36$  kV)*

IEC 60502-4, *Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 1 kV ( $U_m = 1,2$  kV) up to 30 kV ( $U_m = 36$  kV) – Part 4: Test requirements on accessories for cables with rated voltages from 6 kV ( $U_m = 7,2$  kV) up to 30 kV ( $U_m = 36$  kV)*

IEC 60811-201, *Electric and optical fibre cables – Test methods for non-metallic materials – Part 201: General tests – Measurement of insulation thickness*

IEC 60811-202, *Electric and optical fibre cables – Test methods for non-metallic materials – Part 202: General tests – Measurement of thickness of non-metallic sheath*

IEC 60811-203, *Electric and optical fibre cables – Test methods for non-metallic materials – Part 203: General tests – Measurement of overall dimensions*

IEC 60811-401, *Electric and optical fibre cables – Test methods for non-metallic materials – Part 401: Miscellaneous tests – Thermal ageing methods – Ageing in an air oven*

IEC 60811-403, *Electric and optical fibre cables – Test methods for non-metallic materials – Part 403: Miscellaneous tests – Ozone resistance test on cross-linked compounds*

IEC 60811-409, *Electric and optical fibre cables – Test methods for non-metallic materials – Part 409: Miscellaneous tests – Loss of mass test for thermoplastic insulations and sheaths*

IEC 60811-412, *Electric and optical fibre cables – Test methods for non-metallic materials – Part 412: Miscellaneous tests – Thermal ageing methods – Ageing in an air bomb*

IEC 60811-501, *Electric and optical fibre cables – Test methods for non-metallic materials – Part 501: Mechanical tests – Tests for determining the mechanical properties of insulating and sheathing compounds*

IEC 60811-505, *Electric and optical fibre cables – Test methods for non-metallic materials – Part 505: Mechanical tests – Elongation at low temperature for insulations and sheaths*

IEC 60811-506, *Electric and optical fibre cables – Test methods for non-metallic materials – Part 506: Mechanical tests – Impact test at low temperature for insulations and sheaths*

IEC 60811-507, *Electric and optical fibre cables – Test methods for non-metallic materials – Part 507: Mechanical tests – Hot set test for cross-linked materials*

IEC 60811-508, *Electric and optical fibre cables – Test methods for non-metallic materials – Part 508: Mechanical tests – Pressure test at high temperature for insulation and sheaths*

IEC 60811-509, *Electric and optical fibre cables – Test methods for non-metallic materials – Part 509: Mechanical tests – Test for resistance of insulations and sheaths to cracking (heat shock test)*

IEC 60811-605, *Electric and optical fibre cables – Test methods for non-metallic materials – Part 605: Physical tests – Measurement of carbon black and/or mineral filler in polyethylene compounds*

IEC 60811-606, *Electric and optical fibre cables – Test methods for non-metallic materials – Part 606: Physical tests – Methods for determining the density*

IEC 62067, *Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages above 150 kV ( $U_m = 170$  kV) up to 500 kV ( $U_m = 550$  kV) – Test methods and requirements*

### **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 1 to entry: In this standard, nominal values usually give rise to values to be checked by measurements taking into account specified tolerances.

##### **3.1.2**

##### **median value**

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

## 3.2 Definitions concerning tests

### 3.2.1

#### **routine test**

test carried out 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**

test carried out by the manufacturer on samples of complete cable, or components taken from a complete cable or accessory, at a specified frequency, so as to verify that the finished product meets the specified requirements

### 3.2.3

#### **type test**

test carried out before supplying, on a general commercial basis, a type of cable system, in order to demonstrate satisfactory performance characteristics to meet the intended application

Note 1 to entry: 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**

##### **PQ test**

test carried out before supplying, on a general commercial basis, a type of cable system, in order to demonstrate satisfactory long term performance of the complete cable system

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

Note 2 to entry: 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 not to constitute a substantial change.

### 3.2.5

#### **electrical test after installation**

test carried out to demonstrate the integrity of the cable system as installed

### 3.2.6

#### **development test**

test carried out on test objects to characterize the properties and performance of elements of the cable system or of selected materials and material combinations

## 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 and constant material characteristics

Note 1 to entry: See 4.1.

### 3.3.3

#### **test object**

object which is a cable length or an accessory to be subjected to testing

### 3.3.4

#### **return cable**

cable, which is typically a low/medium voltage DC cable used for the return current in monopolar operation of HVDC schemes.

Note 1 to entry: A return cable can either be connected over the full length between the converters or can only be connected for part of the length connecting a converter to an electrode station

### 3.3.5

#### **transmission cable**

cable which is a high voltage cable of a monopolar or bipolar scheme, and which is connected to the HV terminal at the DC side of the converter

### 3.3.6

#### **test loop**

cable loop which is a combination of series connected test objects simultaneously under test

SEE: Figure 1.

### 3.3.7

#### **line commutated converter**

#### **LCC**

converter system that has the feature of changing voltage polarity on the cable system when the direction of power flow is reversed

Note 1 to entry: See IEC 60633.

Note 2 to entry: This note 2 only applies to the French language.

### 3.3.8

#### **voltage source converter**

#### **VSC**

converter system that does not change the voltage polarity of the cable system when the direction of power flow is reversed

Note 1 to entry: This note only applies to the French language.

### 3.3.9

#### **extrusion length**

length of cable conductor with the insulation and semiconducting layers continuously extruded in the same non-interrupted extrusion operation

### 3.3.10

#### **manufacturing length**

whole extrusion length (or parts thereof if cut), where construction elements (outside the outer semiconducting layer) have been applied

### 3.3.11

#### **delivery length**

typically the completed cable length on a drum for a cable

### 3.3.12

#### **field joint**

joint between two cables that is completed with all construction elements and in a state as installed in the field in the actual cable system

### 3.3.13

#### **asymmetric joint**

joint, which connects two cables with the same insulation system, but of different design

Note 1 to entry: An asymmetric joint is for instance a joint between cables of different conductor, insulation or screen dimension

## **4 Voltage designations and materials**

### **4.1 Rated voltage**

$U_0$  is the rated DC voltage between conductor and metal screen/sheath for which the cable system is designed. It is used to determine the DC test voltages  $U_T$ ,  $U_{TP1}$  and  $U_{TP2}$ .

## 4.2 (spare)

## 4.3 Cable insulating materials

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

For insulation materials, which deviate from this list of materials, the test program for all non electrical tests on the insulation material shall be agreed between manufacturer and customer.

## 4.4 Cable metal screens/sheaths

### 4.4.1 General

This standard applies to the various designs in use. It covers designs providing a radial water tightness, as follows:

- metal sheaths,
- metal screens, as described in IEC TR 61901:2016, 3.3:
  - longitudinally applied metal tapes or foils bonded to the oversheath,
  - composite screens, involving a bundle of screen wires and, in addition, a metal tape or foil bonded to the oversheath, acting as a radial water impermeable barrier.

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

### 4.4.2 Metal sheath

A metal sheath made of lead or aluminium or their alloys, which is seamless or welded and smooth or corrugated.

### 4.4.3 Combined design (CD)

A metal screen in combined design combines radial watertightness and electrical properties, by different components:

- insulation system;
- semi-conductive bedding (water swellable if required);
- thick metal foil either welded or glued, that carries the full short circuit current
  - coated, and
  - bonded to the outer sheath, usually ST<sub>7</sub>.

Additional wires can be added to match the short circuit requirement. The metal foil is usually aluminium; copper can be used as well.

### 4.4.4 Separate design (SD)

A metal screen in separate design manages radial watertightness and electrical properties, by different metal components:

- insulation system;
- copper or aluminium wires;
- water swellable tapes to block the screen area;
- coated laminated metal foil i.e. for example Al 0,2 mm + 0,05 mm coating on one side;
- oversheath, usually ST<sub>7</sub>.

The foil is usually aluminium; copper or other metal laminated foils can be used.

#### 4.5 Cable oversheathing materials

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

- ST<sub>1</sub> and ST<sub>2</sub> based on polyvinyl chloride (PVC);
- ST<sub>3</sub> and ST<sub>7</sub> based on polyethylene (PE).

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

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

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

#### 5 Precautions against longitudinal water penetration in cables

The cable can include a system preventing the longitudinal penetration of water between the insulation screen and the metal screen/sheath, or in the conductor.

Longitudinal water barriers may 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 Annex E.

If water blocking materials are used, special care for detrimental effect of such materials to the insulation properties is required.

NOTE A test for radial water penetration is under consideration.

#### 6 Cable characteristics

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

- a) Name of manufacturer, type, designation and manufacturing date or date code.
- b) Rated voltage  $U_0$  (see 4.1).
- c) Type of conductor, its material and nominal cross-section, in square millimetres; conductor construction; 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 DC conductor resistance corrected to 1 km length and to 20 °C shall be declared.
- d) Material and nominal thickness of insulation ( $t_n$ ) (see 3.1 and 4.3).
- e) Type of manufacturing process for insulation system.
- f) Presence, if any, and nature of watertightness measures in the screen area.
- g) Material and construction of metal screen, for example number and diameter of wires, whether the metal screen is in combined or separate design – where applicable (the DC 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.
- h) Material and nominal thickness of oversheath.
- i) Nominal diameter of the conductor ( $d$ ).
- j) Nominal overall diameter of the cable ( $D$ ).
- k) Nominal inner diameter ( $d_{ii}$ ) and calculated nominal outer diameter ( $D_{io}$ ) of the insulation.
- l) Nominal capacitance for a frequency between 49 Hz and 61 Hz, corrected to 1 km length, between conductor and metal screen/sheath.

- m) Calculated Laplace nominal electrical stress at the conductor screen ( $E_i$ ) and at the insulation screen ( $E_o$ ): for constant material properties and without field distortion from space charges

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

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

where

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

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

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

$t_n$  is the declared nominal insulation thickness.

NOTE Due to different effects the real stress in the cable can be different from this calculated Laplace nominal stress.

- n) Calculated average nominal stress, which is the rated voltage  $U_0$  divided by the nominal insulation thickness  $t_n$ .
- o) Maximum temperature difference  $\Delta T_{\max}$  over the cable insulation in steady state (not including semiconducting screens) at which the cable is designed to operate.
- p) Maximum declared conductor temperature  $T_{\text{cond,max}}$ , which is defined by the cable manufacturer and shall not be exceeded during operation. This maximum declared conductor temperature shall be lower than or equal to the material specific maximum conductor temperature of 4.3.

## 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 according to 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 Clause 6, item b) above),
  - installation instructions (reference and date).

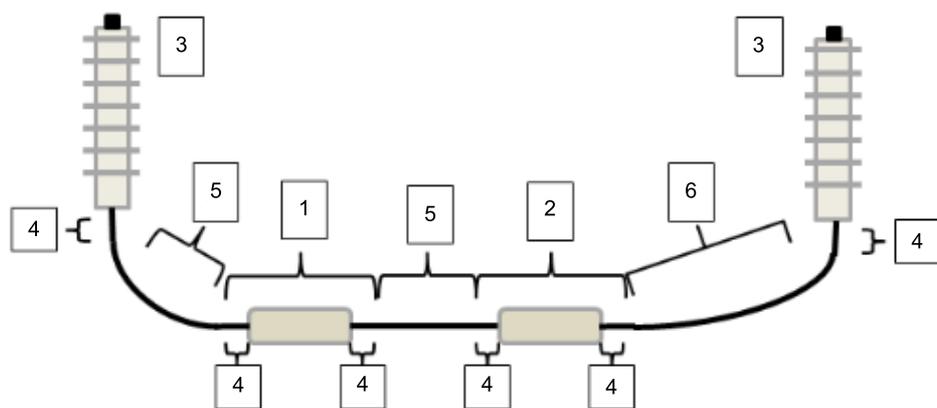
## 8 Test objects & conditions

### 8.1 Definitions concerning test objects

Test objects are transmission cables and their accessories. 0,5 m of cable on either side of an accessory is considered to be part of the accessory for both determination of tested cable

length and allocation of failure between cable and accessory, should this occur. The return cable is referred to in Annex I.

A possible configuration of test objects in a test loop is shown in Figure 1. Special definitions are described hereafter.



#### Key

- 1 Test object joint
- 2 Optional, one or more additional test objects
- 3 Test object termination (may be of different design)
- 4 0,5 m cable next to the accessory is deemed to be part of the accessory
- 5 Minimum 5 m cable between the accessories
- 6 Test object cable: min. 10 m

**Figure 1 – Example of configuration of test objects within a test loop**

## 8.2 Test voltages

$U_T$  is the DC voltage during the type test and routine test. For the scope of this standard  $U_T = 1,85 U_0$ .

$U_{TP1}$  is the DC voltage during the PQ test (heating cycle test), type test (polarity reversal test) and test after installation. For the scope of this standard  $U_{TP1} = 1,45 U_0$ .

$U_{TP2}$  is the DC voltage during the PQ polarity reversal test. For the scope of this standard  $U_{TP2} = 1,25 U_0$ .

$U_{P1}$  is, for the type test,  $1,15 \times$  the maximum absolute peak value (Figure 2) of the lightning impulse voltage, which the cable system can experience when the impulse has the opposite polarity to the actual DC voltage. For the PQ test,  $U_{P1} = 2,1 U_0$ , if required.

$U_{P2,S}$  is  $1,15 \times$  the maximum absolute peak value (Figure 2) of the switching impulse voltage, which the cable system can experience when the impulse has the same polarity as the actual DC voltage.

$U_{P2,O}$  is, for the type test,  $1,15 \times$  the maximum absolute peak value (Figure 2) of the switching impulse voltage which the cable system can experience when the impulse has the opposite polarity to the actual DC voltage.

For the PQ test,  $U_{P2,O} = 1,2 U_0$ .

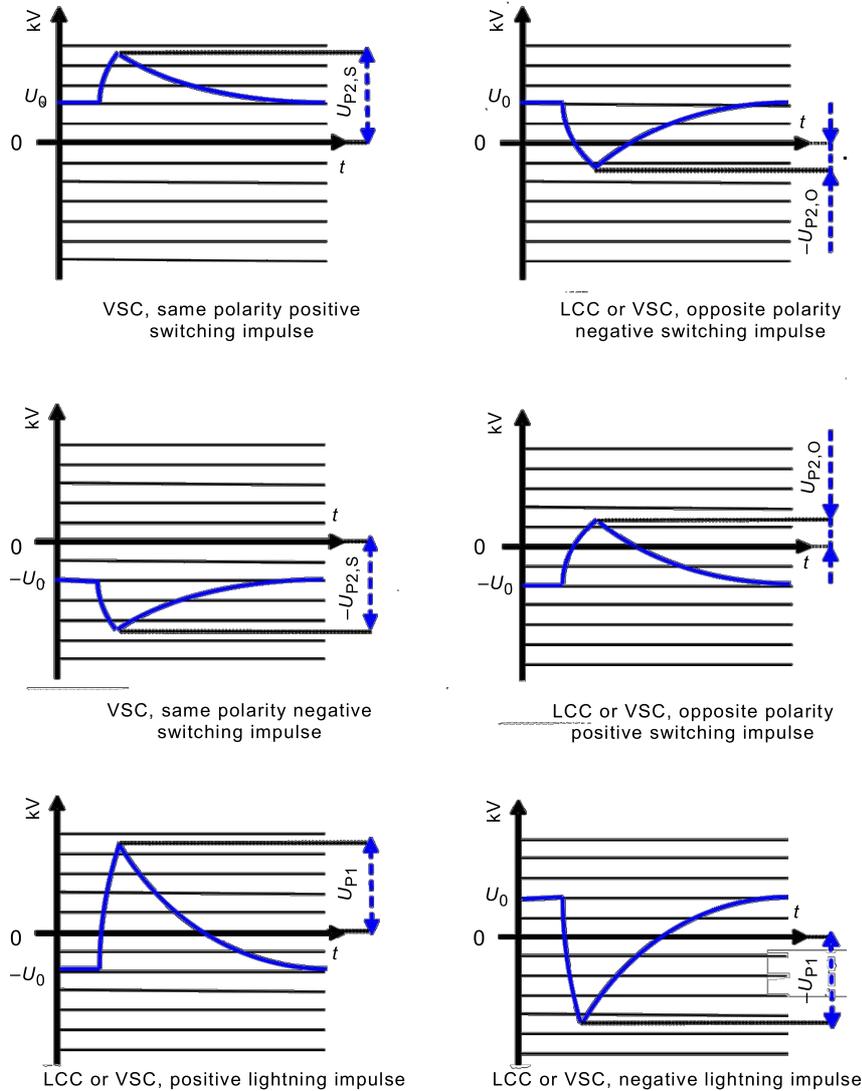
$U_{RC,AC}$  is the maximum peak voltage a return cable can be subjected to due to temporary damped alternating overvoltage. This voltage is typically induced by a commutation failure, and the value should be supported by the customer.

$U_{RC,DC}$  is the maximum DC voltage in normal operation of the return cable.

The ripple content of the DC test voltages shall not be greater than 3 %.

Measuring shall be done with an approved measuring system according to IEC 60060-2.

NOTE 1 The basis for the selection of test factors is described in CIGRE Technical Brochure 496.



IEC

**Figure 2 – Schematic representations of the switching impulse and lightning impulse test voltages**

NOTE 2 Due to the constraints within the DC system design,  $U_{P2,S}$  does not necessarily equal  $U_{P2,O}$ , i.e. the same polarity impulse is limited by surge arresters, but the opposite polarity impulse can be limited by the converter.

### 8.3 Thermal conditions

The heating method used shall be conductor heating only. The heating may be achieved by either DC or AC current, possibly in combination with external thermal insulation. Conductor temperature, external cable temperature on the oversheath and ambient temperature shall be measured and reported during the whole duration of the tests. The actual  $\Delta T_{max}$  and  $T_{cond}$  during testing need to be demonstrated (see Annex A).

NOTE 1 Typical tolerance of  $T_{cond}$  is -0 K +5 K but heating cycles with higher values are valid.

NOTE 2 The temperature difference  $\Delta T_{max}$  can be calculated from the measured conductor temperature and the measured temperature on the outer surface of the insulation screen

Heating cycles (HC)	<p>heating cycles consist of both a heating period and a cooling period.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• “24 hours” heating cycles (for PQ and type tests) consist of at least 8 h of heating followed by at least 16 h of natural cooling. During at least the last 2 h of the heating period, the conductor temperature <math>\geq T_{\text{cond,max}}</math> and a temperature drop across the insulation <math>\geq \Delta T_{\text{max}}</math> shall be maintained. For the type test the temperature of the conductor before beginning the next heating cycle shall not be higher than the ambient temperature + 15 K; this value shall be lower than 45 °C.</li> <li>• “48 hours” heating cycles (for type test only) consist of at least 24 h of heating followed by at least 24 h of natural cooling. During at least the last 18 h of the heating period, the conductor temperature <math>\geq T_{\text{cond,max}}</math> and a temperature drop across the insulation <math>\geq \Delta T_{\text{max}}</math> shall be maintained. The temperature of the conductor before beginning the next heating cycle shall not be higher than the ambient temperature + 15 K; this value shall be lower than 45 °C. 48 h heating cycles are only required as part of the type test procedure to ensure that electrical stress inversion is well advanced within the cycle.</li> </ul>
Continuous heating (CH)	<p>Within the first 8 h of the continuous heating period a conductor temperature <math>\geq T_{\text{cond,max}}</math> and a temperature drop across the insulation <math>\geq \Delta T_{\text{max}}</math> shall be achieved and maintained for the rest of this period .</p> <p>If, for practical reasons, the specified temperatures cannot be reached within the first 8 h, a longer time may be used. This additional time shall not be constituted as being part of the test period.</p>
Zero heating (ZH)	No heating is applied.
Impulse test	Conductor temperature $\geq T_{\text{cond,max}}$ and temperature drop across the insulation $\geq \Delta T_{\text{max}}$ shall be reached for a minimum 10 h before voltage impulses (superimposed impulse, switching, lightning) are applied and shall be maintained throughout the duration of the test .
Ambient temperature	Unless otherwise specified in the details for the particular test, tests shall be carried out at an ambient temperature of $(20 \pm 15)$ °C.

#### 8.4 Polarity reversal test

The voltage and temperature conditions are defined in 8.2 and 8.3 respectively. Starting with positive voltage, the voltage polarity shall be reversed three times every “24 hours” heating cycle (evenly distributed) and one reversal shall coincide with the cessation of heating current in every “24 hours” heating cycle. The recommended time duration for a polarity reversal is within two minutes.

If, for practical reasons, polarity reversals cannot be achieved within two minutes, the duration for polarity reversals shall be agreed between customer and supplier.

#### 8.5 Superimposed impulse voltage test

##### 8.5.1 General

Prior to the first impulse of each test the test object shall be heated so that the steady state temperature conditions as defined in 8.3 (CH) are achieved for at least 10 h and the test object shall have been subjected to  $U_0$  (of the relevant polarity) for at least 10 h. In the case of interruptions of DC voltage of less than 5 minutes the total time of application of DC voltage need not be increased. However in the case of interruption of the DC voltage of more than 5 minutes up to a maximum of 90 minutes the DC voltage can be reapplied and the total time of

application of the DC voltage must be increased by 120 minutes. These conditions have been selected to reflect the electrical dynamics present within extruded insulations used for HVDC. Superimposed impulse voltage shall be applied according to the procedure given in IEC 60230.

### **8.5.2 Superimposed lightning impulse voltage**

The test waveform shall be according to IEC 60230.

### **8.5.3 Superimposed switching impulse voltage**

The test waveform shall be according to IEC 60230.

## **8.6 Relationship between test voltages and rated voltages**

The test voltages are specified in this standard as multiples of the rated voltage  $U_0$ .

## **8.7 Determination of the cable conductor temperature**

The test method described in Annex A shall be used to determine the actual conductor temperature.

## **8.8 Rest period**

Between test periods with opposite DC voltage the cable should be exposed to a rest period. In this period the cable is discharged first followed by no voltage under continuous heating at a conductor temperature  $\geq T_{\text{cond,max}}$  and at a temperature drop across the insulation  $\geq \Delta T_{\text{max}}$  for a period of at least 24 h. For not less than 8 h out of this 24 h rest period the conductor should be grounded.

This shall not be applicable to the polarity reversal test of LCC.

During the rest period the outer surface of the cable terminations may be cleaned.

The discharge of the cable should be performed with the help of a discharging resistor dimensioned to avoid rapid voltage change.

## **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 and for each delivered accessory.

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

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

The main insulation of prefabricated accessories shall undergo voltage (see 9.2) routine tests according to either 1), 2) or 3) below:

- 1) on the main insulation of prefabricated 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 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 and essential to control the electrical field distribution in the accessory. Examples are premoulded or precast elastomer or filled epoxy resin insulating components that can be used singly or jointly to provide the necessary insulation or screening of accessories.

## 9.2 Voltage test

Every delivery length of cable and each individual prefabricated accessory shall be submitted to a negative DC voltage equal to the test voltage defined for the heating cycle test  $U_T$  and applied between conductor and metal screen/sheath for 1 h at ambient temperature.

An AC test combined with PD measurement is recommended – where suitable. Test parameters shall be agreed between manufacturer and customer.

No breakdown of the insulation shall occur.

## 9.3 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 IEC 60229:2007, 3.1.

# 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/sheath (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 and EPR insulations (see 10.9);
- g) measurement of capacitance (see 10.10);
- h) measurement of density of HDPE insulation (see 10.11);
- i) impulse voltage test (see 10.12);
- j) water penetration test, if applicable (see 10.13);
- k) adhesion and peel strength of the laminated metal foil of cables with longitudinally applied metal foil, bonded to the oversheath (see 10.14).

If an insulation material that is not given in Table 1 is used, requirements for the non-electrical tests in items f) and h) shall be agreed between manufacturer and customer

## 10.2 Frequency of tests

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

The frequency of the tests in items i) and j) in 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 up to 20 km and one additional test every additional 50 km delivered cable length.

## 10.3 Repetition of tests

If the sample from any length selected for the tests fails in any of the tests in Clause 10, 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 shall be checked by inspection and measurement when practicable.

#### 10.5 Measurement of electrical resistance of conductor and of metal screen/sheath

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 may be measured on a sample of conductor or metal screen, conditioned for at least 1 h in a temperature-controlled liquid bath.

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

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

#### 10.6 Measurement of thickness of insulation and cable oversheath

##### 10.6.1 General

The test method shall be in accordance with IEC 60811-201 for insulation and IEC 60811-202 for sheath.

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:

$$\frac{t_{\max} - t_{\min}}{t_{\max}} \leq 0,10$$

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 sheaths.

## 10.7 Measurement of thickness of metal sheath

### 10.7.1 Lead or lead alloy sheath

#### 10.7.1.1 General

If the cable has a lead or lead alloy sheath, the minimum thickness of the metal 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 lead sheath shall be measured by one of the following methods, at the discretion of the manufacturer.

#### 10.7.1.2 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 lead sheath about 50 mm in length removed from the complete 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 lead sheath and not less than 10 mm away from the edge of the flattened piece to ensure that the minimum thickness is measured.

#### 10.7.1.3 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 lead 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 aluminium 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 diameter

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 IEC 60811-203.

## 10.9 Hot set test for XLPE and EPR insulations

### 10.9.1 Procedure

The sampling and test procedure shall be carried out in accordance with IEC 60811-507, employing the test conditions given in Table 3.

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 3.

## 10.10 Measurement of capacitance

The capacitance shall be measured with a frequency between 49 Hz and 61 Hz between conductor and metal screen/sheath at ambient temperature, and the 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 IEC 60811-606.

### 10.11.2 Requirements

The results of the test shall comply with the requirements given in Table 3.

## 10.12 Impulse voltage test

The test shall be performed on a complete cable at least 10 m in length excluding test accessories, at a conductor temperature 0 K to 5 K above the maximum conductor temperature in normal operation.

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

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

The impulse voltage shall be applied as

- either lightning impulse with the voltage calculated as the sum of the moduli of  $U_0$  and the specified superimposed lightning impulse voltage  $U_{P1}$ , or
- if the lightning impulse is not specified in the individual project, switching impulse at the voltage that is the sum of the moduli of  $U_0$  and the requested opposite switching impulse voltage  $U_{P2,0}$ .

Alternatively it can be applied as superimposed impulse voltage according to 12.4.5

The cable shall withstand without failure 10 positive and 10 negative voltage impulses of the appropriate value.

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 Annex E.

### 10.14 Adhesion and peel strength of the laminated metal foil

For cables with a longitudinally applied metal foil, bonded to the oversheath, a 1 m sample shall be taken from the complete cable and subjected to the tests and requirements in 12.4.3.

## 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 voltage test (see 9.2) shall be carried out by the manufacturer on a fully assembled accessory.

NOTE Examples of main insulations that are not routine tested are 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 Clause 12 are intended to demonstrate the satisfactory performance of cable systems.

The subclause references to be considered during a type test on a cable system is given in Table C.1.

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 h) are met.

- a) The actual designs, materials, manufacturing processes and service conditions for the cable system are in all essential aspects equal.
- b) All service voltages,  $U_0$ ,  $U_{P1}$ ,  $U_{P2,S}$  and  $U_{P2,O}$ , are less than or equal to those of the tested cable system.
- c) The service maximum conductor temperature  $T_{\text{cond,max}}$  is less than or equal to that of the tested cable system.

- d) The maximum temperature drop across the insulation layer  $\Delta T_{\max}$  (excluding the semiconducting screens) is less than or equal to that of the tested cable system.
- e) The actual conductor cross-section is not larger than that of the tested cable system.
- f) The calculated average electrical stress in the insulation (given by  $U_0$  divided by the nominal insulation thickness) is less than or equal to that of the tested system.
- g) The calculated Laplace electrical stress (using nominal dimensions) at the cable conductor and insulation screen is less than or equal to that of the tested system.
- h) A cable system qualified according to this standard for LCC is also qualified for VSC provided that the superimposed impulse withstand tests at  $\pm U_{P2,S}$  voltage levels as specified in 12.4.5.3 are carried out. A cable system qualified according to this standard for VSC is not qualified for LCC.

NOTE 1 Type tests which have been successfully performed according to CIGRE test recommendation TB219 and TB496 are valid.

NOTE 2 For the sake of clarity the conditions for range of approval do not involve considerations of DC electrical fields. In the design of DC cable systems, the DC electrical fields are critical design criteria. The supplier has detailed knowledge of the DC electrical fields in the cable system (cable and accessories) under all operating conditions and is able to present a detailed case upon request of the customer.

The non-electrical type tests need not be carried out on samples from cables of different voltage ratings and/or conductor cross-sectional areas unless different materials and/or different manufacturing processes are used to produce them. However, repetition of the ageing tests on pieces of complete cable to check compatibility of materials (see IEC 62067) 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 complete cable as specified in 12.5.

The non-electrical tests on cable components and complete cable are listed in Table 4, indicating which tests are applicable to each insulation and oversheath material.

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 as reported in Figure 1.

Each cable length used for the type test loop shall undergo a bending test in accordance with 12.4.3 before type tests commence. The accessories shall be installed after the bending test.

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.

Measurement of resistivity of semi-conducting screens described in 12.4.7 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 shall be measured by the method specified in IEC 60811-201 on a representative piece of the length to be used for the tests, to check that the 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 8.2 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 10 %, the test voltage shall be adjusted to give an electrical average stress in the insulation (given by  $U_0$  divided by the actual insulation thickness) 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 10 %.

### 12.4.2 Tests and sequence of tests

The tests in items a) to h) shall be carried out in the following sequence.

- a) Bending test on the cable (see 12.4.3) followed by visual inspection and installation of accessories.
- b) A DC voltage of 8 kV per millimetre of the specified nominal thickness of the extruded oversheath shall be applied for 1 min between the underlying metal layer at negative polarity and the outer conducting layer, subject to a maximum voltage of 25 kV. No breakdown of the oversheath shall occur during the test.

NOTE 1 The outer conducting layer can consist of a conductive layer applied to the extruded oversheath or any auxiliary ground electrode applied for the duration of this test.

- c) Heating cycle voltage test (see 12.4.4).
- d) Superimposed switching impulse voltage test (see 12.4.5.2 and 12.4.5.3).
- e) Superimposed lightning impulse voltage test (see 12.4.5.4).
- f) Subsequent DC test (see 12.4.5.5).
- g) Tests of outer protection for joints (see Annex H).

NOTE 2 These tests can 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.

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 H.3 and H.4.2 can be omitted.

- h) Examination of the cable system with cable and accessories on completion of the above tests (see 12.4.6);
- i) The resistivity of the cable semi-conducting screens (see 12.4.7) shall be measured on a separate sample.

Test voltages shall be in accordance with the values given in 8.2.

### 12.4.3 Bending test

#### 12.4.3.1 Test Conditions

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 a longitudinally applied metal foil, bonded to the oversheath:
  - $20(D + d) + 5\%$  for CD design;

- $25 (D + d) + 5 \%$  for SD and CD + wires designs;
- for cables with plain aluminium sheaths:
  - $36 (d + D) + 5 \%$  for single-core cables;
- for cables with lead, lead-alloy, corrugated metal sheaths:
  - $25 (d + D) + 5 \%$  for single-core cables;
- for other cables:
  - $20 (d + D) + 5 \%$  for single-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)).

#### 12.4.3.2 Examination

After the bending test one sample of 3 m length shall be examined. There shall be no deterioration and in the case of CD and SD designs no delaminating, folding of the metal foil bonded to the oversheath, buckling or crossing of the screen wires.

In the case of CD and SD designs, adhesion and peel tests (see Annex F) shall comply with the requirements of Table 5.

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

#### 12.4.4 Heating cycle voltage test

##### 12.4.4.1 General

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

If the test loop consists of cables with different designs connected with an asymmetric joint, then each cable design is qualified to the relevant thermal conditions ( $T_{\text{cond,max}}$  and  $\Delta T_{\text{max}}$ ) and the asymmetric joint is qualified to the higher temperature.

NOTE This means that the cable on one side of the transition joint under test may not have been qualified in this test to its maximum temperature in the scheme.

The temperature conditions are defined in 8.3.

After any interruption caused by external factors, the test may be resumed. If the interruption is less than 30 min, the specific heating cycles shall be resumed at the point of the cycle when the interruption occurred and the cycle is still valid provided the temperature requirements are met. If the interruption is longer than 30 min, the specific lost heating cycle shall be repeated. If the interruption is longer than 24 h, the actual test block (all “24 hours” heating cycles at negative or positive polarity, all “24 hours” heating cycles with polarity reversals, all “48 hours” heating cycles under positive polarity) shall be repeated.

In case of a breakdown of insulation, when testing several objects simultaneously, the faulty object may be removed and the incident treated as an interruption. The faulty object is considered to have failed the test requirements. Any fault within 0,5 m of cable, which is according to 8.1 part of the accessory, is considered to be associated with that accessory only.

In case of deviations in test parameters during a heating cycle, the heating cycle in question shall be repeated.

##### 12.4.4.2 Heating cycle test for cable system to be qualified for LCC

The test objects shall be subjected to the conditions (definitions of “24 hours” heating cycles and “48 hours” heating cycles are described in 8.3) as specified in Table 6.

Positive polarity was selected for the “48 hours” heating cycles as this is believed to be the most stringent condition for accessories.

#### 12.4.4.3 Heating cycle test for cable system to be qualified for VSC

The test objects shall be subjected to heating cycles according to Table 7.

Positive polarity was selected for the “48 hours” heating cycles as this is believed to be the most stringent condition for accessories.

#### 12.4.5 Superimposed impulse voltage test

##### 12.4.5.1 General

The superimposed impulse voltage test is to be performed on test objects that have successfully passed the heating cycle test.

Deviation of the sequence to perform SI and LI tests with same DC polarity in one block is allowed.

The tests shall be performed with respect to the following requirements:

- The conductor temperature shall be  $\geq T_{\text{condmax}}$  with temperature drop across the insulation  $\geq \Delta T_{\text{max}}$ .

These thermal conditions shall be maintained for at least a minimal duration of 10 h before the tests; moreover, these conditions shall be held during the whole impulse test.

During the 10 h before the application of the first impulse, a direct voltage  $U_0$  with the polarity of the DC voltage of the following superimposed impulse test shall be applied between conductor and metal screen with the screen grounded. The sign of polarity is referred to the voltage of the conductor in respect to ground. The DC voltage shall be maintained during the application of the voltage impulses.

In case of a breakdown of insulation, when testing several objects simultaneously, the faulty object may be removed and the incident treated as an interruption. The faulty object is considered to have failed the test requirements. Any fault within 0,5 m of a test object, for example an accessory, is considered to be associated with that test object only.

In case of deviations in test parameters during superimposed impulse voltage test, the superimposed impulse in question shall be repeated.

The test procedure is described in 8.5.

##### 12.4.5.2 Superimposed switching impulse withstand test for cable system to be qualified for LCC

The definitions of the different levels of voltage are given in 8.2.

The test shall be performed as given in Table 8.

The time between each impulse shall not be shorter than two minutes.

The test waveform shall be according to IEC 60230.

No breakdown of the insulation or flashover along cable terminations shall occur.

##### 12.4.5.3 Superimposed switching impulse withstand test for cable system to be qualified for VSC

The definitions of the different levels of voltage are given in 8.2.

The test shall be performed as given in Table 9.

The time between each impulse shall not be shorter than two minutes.

The test waveform shall be according to IEC 60230.

No breakdown of the insulation or flashover along cable terminations shall occur.

#### **12.4.5.4 Superimposed lightning impulse withstand test**

If the intended installation of the cable system is such that it is not exposed to lightning strikes (direct or indirect), this test need not be done.

20 voltage impulses shall be applied as specified in Table 8 and Table 9.

The time between each impulse shall not be shorter than two minutes.

The test waveform shall be according to IEC 60230.

No breakdown of the insulation or flashover along the cable terminations shall occur.

#### **12.4.5.5 Subsequent DC test**

After the successful completion of the superimposed impulse testing the test object shall be subjected for 2 h at a negative DC voltage of  $U_T$ . At the discretion of the manufacturer this test may be carried out either during the cooling period or at ambient temperature.

A rest period prior to this test is acceptable.

No breakdown of the insulation shall occur.

### **12.4.6 Examination**

#### **12.4.6.1 Cable samples**

Three samples of cable – approximately 1 m each – taken from the whole loop that has undergone tests shall be subjected to examination: two samples shall be taken from the curved part of the loop, and one from a straight part.

#### **12.4.6.2 Examination of 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.

#### **12.4.6.3 Cables with a longitudinally applied metal tape or foil, bonded to the oversheath**

One of the 1 m samples taken from the curved part of the type test loop and used for the examination of 12.4.6.2 shall also be subjected to the examination as described in 12.4.3.2.

### **12.4.7 Resistivity of semi-conducting screens**

#### **12.4.7.1 General**

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 as specified in 12.5.5.

#### **12.4.7.2 Procedure**

The test procedure shall be in accordance with Annex D.

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

#### **12.4.7.3 Requirements**

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

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

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

### **12.5.1 General**

The tests are as follows:

- a) check of cable construction (see 12.5.2);
- b) tests for determining the mechanical properties of insulation before and after ageing (see 12.5.3);
- c) tests for determining the mechanical properties of oversheaths before and after ageing (see 12.5.4);
- d) ageing tests on pieces of complete cable to check compatibility of materials (see 12.5.5);
- e) loss of mass test on PVC oversheaths of type ST<sub>2</sub> (see 12.5.6);
- f) pressure test at high temperature on oversheaths (see 12.5.7);
- g) tests on PVC oversheaths (ST<sub>1</sub> and ST<sub>2</sub>) at low temperature (see 12.5.8);
- h) heat shock test for PVC oversheaths (ST<sub>1</sub> and ST<sub>2</sub>) (see 12.5.9);
- i) ozone resistance test for EPR insulations (see 12.5.10);
- j) hot set test for EPR and XLPE insulations (see 12.5.11);
- k) measurement of density of HDPE insulation (see 12.5.12);
- l) measurement of carbon black content of black PE oversheaths (ST<sub>3</sub> and ST<sub>7</sub>, see 12.5.13);
- m) test under fire conditions (see 12.5.14);
- n) water penetration test (see 12.5.15).

If an insulation material that is not given in Table 1 is used, requirements for the non-electrical tests in items b), d) and j) shall be agreed between manufacturer and customer.

### **12.5.2 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.

### **12.5.3 Tests for determining the mechanical properties of insulation before and after ageing**

#### **12.5.3.1 Sampling**

Sampling and preparation of test pieces shall be carried out in accordance with IEC 60811-501.

#### **12.5.3.2 Ageing treatment**

The ageing treatment shall be carried out in accordance with IEC 60811-401 under the conditions specified in Table 10.

#### **12.5.3.3 Conditioning and mechanical tests**

Conditioning and the measurement of mechanical properties shall be carried out in accordance with IEC 60811-501.

#### **12.5.3.4 Requirements**

The test results for unaged and aged test pieces shall comply with the requirements given in Table 10.

## **12.5.4 Tests for determining the mechanical properties of oversheaths before and after ageing**

### **12.5.4.1 Sampling**

Sampling and preparation of test pieces shall be carried out in accordance with IEC 60811-501.

### **12.5.4.2 Ageing treatment**

The ageing treatment shall be carried out in accordance with IEC 60811-401 under the conditions given in Table 11.

### **12.5.4.3 Conditioning and mechanical tests**

Conditioning and the measurement of mechanical properties shall be carried out in accordance with IEC 60811-501.

### **12.5.4.4 Requirements**

The test results for un-aged and aged test pieces shall comply with the requirements given in Table 11.

## **12.5.5 Ageing tests on pieces of complete cable to check compatibility of materials**

### **12.5.5.1 General**

The ageing test on pieces of complete 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.

### **12.5.5.2 Sampling**

Samples for the test on insulation and oversheath shall be taken from the complete cable as described in IEC 60811-401.

### **12.5.5.3 Ageing treatment**

The ageing treatment of the pieces of cable shall be carried out in an air oven, as described in IEC 60811-401, under the following conditions:

- temperature:  $(10 \pm 2)$  K above the maximum conductor temperature for the insulation material as given in Table 10;
- duration:  $7 \times 24$  h.

### **12.5.5.4 Mechanical tests**

Test pieces of insulation and oversheath from the aged pieces of cable shall be prepared and subjected to mechanical tests as described in IEC 60811-401.

### **12.5.5.5 Requirements**

The variations between the median values of tensile strength and elongation at break after ageing, and the corresponding values obtained without ageing (see 12.5.3 and 12.5.4), shall not exceed the values applying to the test after ageing in an air oven as given in Table 10 for insulations and in Table 11 for oversheaths.

## **12.5.6 Loss of mass test on PVC oversheaths of type ST<sub>2</sub>**

### **12.5.6.1 Procedure**

The loss of mass test for ST<sub>2</sub> oversheaths shall be carried out as described in IEC 60811-409 under the conditions given in Table 12.

### **12.5.6.2 Requirements**

The results shall comply with the requirements given in Table 12.

## **12.5.7 Pressure test at high temperature on oversheaths**

### **12.5.7.1 Procedure**

The pressure test at high temperature for ST<sub>1</sub>, ST<sub>2</sub> and ST<sub>7</sub> oversheaths shall be carried out as described in IEC 60811-508, employing the test conditions given in the test method and in Table 11.

### **12.5.7.2 Requirements**

The results shall comply with the requirements given in IEC 60811-508.

## **12.5.8 Test on PVC oversheaths (ST<sub>1</sub> and ST<sub>2</sub>) at low temperature**

### **12.5.8.1 Procedure**

The test at low temperature for ST<sub>1</sub> and ST<sub>2</sub> oversheaths shall be carried out as described in IEC 60811-505 and IEC 60811-506 respectively, employing the test temperature given in Table 12.

### **12.5.8.2 Requirements**

The results of the test shall comply with the requirements given in IEC 60811-505 and IEC 60811-506 respectively.

## **12.5.9 Heat shock test for PVC oversheaths (ST<sub>1</sub> and ST<sub>2</sub>)**

### **12.5.9.1 Procedure**

The heat shock test on ST<sub>1</sub> and ST<sub>2</sub> oversheaths shall be carried out as described in IEC 60811-509, the test temperature and duration being in accordance with Table 12.

### **12.5.9.2 Requirements**

The results of the test shall comply with the requirements given in IEC 60811-509.

## **12.5.10 Ozone resistance test for EPR insulation**

### **12.5.10.1 Procedure**

EPR insulation shall be tested for resistance to ozone using the sampling and test procedure described in IEC 60811-403. The ozone concentration and test duration shall be in accordance with Table 3.

### **12.5.10.2 Requirements**

The results of the test shall comply with the requirements given in IEC 60811-403.

## **12.5.11 Hot set test for EPR and XLPE insulations**

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

## **12.5.12 Measurement of density of HDPE insulation**

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

## **12.5.13 Measurement of carbon black content of black PE oversheaths (ST<sub>3</sub> and ST<sub>7</sub>)**

### **12.5.13.1 Procedure**

The carbon black content of ST<sub>3</sub> and ST<sub>7</sub> oversheaths shall be measured using the sampling and test procedure described in IEC 60811-605.

### **12.5.13.2 Requirements**

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

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

### 12.5.14 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 recommendations given in IEC 60332-1-2.

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

## 13 Prequalification test of the cable system

### 13.1 General and range of prequalification test approval

The PQ test is intended to indicate the long-term performance of the complete cable system and should normally be completed after the development tests have been carried out. The PQ test need only be carried out once, unless there is a substantial change in the cable system with respect to materials, manufacturing processes, construction or design parameters.

Substantial change is defined as that which might adversely affect the performance of the cable system. The supplier shall provide a detailed case including test evidence if modifications are introduced, which are claimed not to constitute a substantial change.

The PQ test qualifies the manufacturer as a supplier of cable systems provided that the following conditions are fulfilled.

- a) The rated voltage  $U_0$  is not more than 10 % higher than that of the tested cable system.
- b) The calculated average electrical stress in the insulation (given by  $U_0$  divided by the nominal insulation thickness) is less than or equal to that of the tested system.
- c) The calculated Laplace nominal electrical stress at  $U_0$  (using nominal dimensions) at the cable insulation screen calculated according to Clause 6, item m) is less than or equal to that of the tested system.
- d) The maximum conductor temperature  $T_{\text{cond,max}}$  is less than or equal to that of the tested system.
- e) The maximum temperature drop across the insulation layer  $\Delta T_{\text{max}}$  (excluding the semiconducting screens) is less than or equal to that of the tested system.
- f) A cable system prequalified according to this standard for LCC is also prequalified for VSC. A cable system prequalified according to this standard for VSC is not prequalified for LCC.

NOTE For the sake of clarity the conditions for range of approval do not involve considerations of DC electrical fields. In the design of DC cable systems, the DC electrical fields are critical design criteria. The supplier has detailed knowledge of the DC electrical fields in the cable system under all operating conditions and can present a detailed case upon request of the customer.

PQ tests that have been successfully performed according to CIGRE TB 496 are valid.

The reason for the superimposed impulse test at the end of the PQ test is to verify that no major thermo-mechanical changes have taken place during the long-term testing. This test is not intended to qualify the system for a specific impulse level. Project-specific impulse levels should be qualified during the type test.

It is recommended to carry out a PQ test using a cable of a large conductor cross-section.

A list of PQ tests is given in Table C.2.

A PQ 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 PQ test certificate issued by an independent test laboratory shall be acceptable as evidence of PQ testing.

## **13.2 Prequalification test on complete cable system**

### **13.2.1 Summary of prequalification tests**

The PQ test shall comprise the electrical tests on the complete cable system with approximately 100 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. 8.1 applies regarding test objects. The sequence of tests shall be as follows:

- a) bending test on the cable (see 12.4.3.1) followed by installation of accessories;  
for practical reasons the bending test can be performed on the whole length in one operation, or in sections;  
for cable systems with conductive layer on the oversheath a DC voltage test of the oversheath according to IEC 60229 after installation shall be performed;
- b) heating cycle voltage test (see 13.2.4);
- c) superimposed impulse voltage test (see 13.2.5);
- d) 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 did not fulfil all the requirements of the PQ tests in 13.2. After repair of the test assembly, the PQ tests may be continued on the remaining cable system (cable with the remaining accessories). In case 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 PQ. However the test may be continued for PQ 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 PQ, then, after the repair, the PQ test of the complete system shall be started from the beginning of the heating cycle voltage test.

If a breakdown of a test object occurs, causing an interruption to the ongoing testing of connected test objects, the test may be resumed after the failed test object is removed. The actual heating cycle or impulse during which the failure occurred shall be repeated for the remaining test objects. If breakdown occurs during a constant heat period, then the time elapsed without applied voltage shall be added behind the originally planned end date of that period. This means, the overall number of days with voltage remains the same as specified in the test requirements. After any interruption, for example an interruption caused by external factors the test may be resumed. If the interruption is less than 30 min, the specific heating cycle shall be resumed, at the point of the cycle, when the interruption occurred and is still valid. If the interruption is longer than 30 min, then the specific heating cycle shall be repeated. If the interruption occurs during a constant heat period and is longer than 30 min, the test on the day the interruption occurred shall be repeated.

### **13.2.2 Test voltage values**

Prior to the PQ 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.

**NOTE** The main objective of the PQ test is to satisfactorily demonstrate the insulation integrity during long periods under DC, given the long dielectric time constants, compared to AC. It is however recognized that other aspects of a specific installation can be important, such as the thermo-mechanical effects due to the installation conditions. The representation of specific installation conditions in the test set-loop can be considered.

Ambient conditions may vary between installations and during the test and are not considered to have any major influence. The ambient temperature minimum limit of 8.3 does not apply. In

case of change in ambient conditions, the conductor current shall be adjusted to maintain the conductor temperature and temperature drop across the insulation as specified in 8.3.

#### 13.2.4 Heating cycle voltage test

General conditions are as follows.

- a) Minimum duration is 360 days.
- b) Conductor temperature and temperature difference across the insulation shall both be controlled to the design level. Design levels in accessories and adjacent cables may differ.

The sequence of tests for LCC and VSC are shown in Table 13 and Table 14.

Guidance on test conditions are defined in 8.2 and 8.3.

No breakdown of the insulation shall occur.

#### 13.2.5 Superimposed impulse voltage test

After the heating cycle voltage test, and an optional rest period, the superimposed switching impulse voltage test shall be performed as specified in 12.4.5.2 and 12.4.5.3.

The aim of the superimposed impulse test after the long duration test is only to check the integrity of the cable system. Evaluation of available specifications for different projects show that the values of  $U_{P2,0}$  and  $U_{P1}$  vary between the different projects. In this respect, and based on the recorded experience, the impulse voltage values to be considered for the PQ test have been specified in 8.2.

Project specific requirements regarding impulse levels should be covered by the electrical type test 12.4.5.

The test shall be performed according to 8.5 on one or more cable samples and one or more accessories of each type of the tested system, the test objects being taken from the PQ test loop. All test objects together shall have a minimum cumulative active cable length of 30 m. If required for safety reasons, oil or gas filled accessories can be emptied and refilled for the preparation of the test objects. The temperature conditions are defined in 8.3.

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

The test objects shall withstand without failure 10 positive and 10 negative superimposed switching impulses at the voltage levels  $U_{P2,0}$ .

If by agreement between supplier and customer a superimposed lightning impulse test is also to be performed, the test objects shall withstand 10 positive and 10 negative superimposed lightning impulses.

No breakdown of the insulation or flashover along the cable terminations shall occur.

In case of a failure in an accessory during impulse testing and the root cause of the failure is proven to be originated from moving the accessory prior to the impulse test, impulse testing may be repeated on another accessory of the same kind taken from the PQ test loop. That accessory shall still be considered as prequalified, if the repeated test is passed.

#### 13.2.6 Examination

Samples of cable – at least 1 m each – taken from each section of the whole loop representing a laying condition, for example one sample from the curved part of the loop, one sample from the loop that has been exposed to the highest mechanical or thermal constraints and one sample from a straight part.

The cable samples and all accessories of the test loop shall be examined as specified in 12.4.6.2.

### **13.3 Tests for the extension of the PQ of a cable system**

For future consideration.

## **14 Type test on cables**

Cables shall be type tested as part of a cable system.

## **15 Type test on accessories**

Accessories shall be type tested as part of a cable system.

## **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 DC oversheath test according to 16.2 and a DC insulation test according to 16.3 are 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 IEC 60229:2007, Clause 5 shall be applied between the 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 High voltage test of the insulation**

The installed HV cable system shall be subjected to a negative polarity DC voltage of  $U_{TP1}$ . The test duration shall be one hour.

Negative polarity shall be used regardless of the polarity of the pole.

### **16.4 TDR measurement**

An optional TDR measurement according to Annex J may be performed for information.

**Table 1 – Insulation compounds for cables**

Insulating compound		Maximum conductor temperature °C	
		Normal operation <sup>a</sup>	Short-circuit (maximum duration 5 s) <sup>a</sup>
Low density thermoplastic polyethylene (filled or nonfilled)	(PE)	70	130 <sup>b</sup>
High density thermoplastic polyethylene (filled or nonfilled)	(HDPE)	80	160 <sup>b</sup>
Cross-linked polyethylene (filled or nonfilled)	(XLPE)	90	250
Ethylene-propylene rubber (filled or nonfilled)	(EPR)	90	250

<sup>a</sup> The temperatures given here are the maximum temperature for the mechanical characteristics of the material. The maximum operating temperature for the electrical performance of the system shall be equal or lower than the given values here and shall be specified by the cable manufacturer.

<sup>b</sup> 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 <sub>1</sub>	80
	ST <sub>2</sub>	90
Polyethylene (PE)	ST <sub>3</sub>	80
	ST <sub>7</sub>	90

**Table 3 – Test requirements for particular characteristics of insulating compounds for cables**

Designation of compound (see 4.3)	Unit	PE	HDPE	XLPE	EPR
Ozone resistance test (IEC 60811-403)					
Ozone concentration (by volume)	%	–	–	–	0,025 to 0,030
Test duration without cracks	h	–	–	–	24
Hot set test (IEC 60811-507)					
Treatment: air temperature	°C	–	–	200	250
– tolerance	K	–	–	±3	±3
– time under load	min	–	–	15	15
– mechanical stress	N/cm <sup>2</sup>	–	–	20	20
Maximum elongation under load	%	–	–	175	175
Maximum permanent elongation after cooling	%	–	–	15	15
Density (IEC 60811-606)					
Minimum density	g/cm <sup>3</sup>	–	0,94	–	–

**Table 4 – Non-electrical type tests for insulating and oversheath compounds for cables**

Designation of compound (see 4.3 and 4.5)	Insulation				Oversheath			
	PE	HDPE	EPR	XLPE	ST <sub>1</sub>	ST <sub>2</sub>	ST <sub>3</sub>	ST <sub>7</sub>
Checks on construction Water penetration test <sup>a</sup>	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
b) after ageing in air oven	x	x	x	x	x	x	x	x
c) after ageing of the complete cable (compatibility test)	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	–	–	–	–	–
Hot set test	–	–	x	x	–	–	–	–
Measurement of density	–	x	–	–	–	–	–	–
Carbon black content <sup>b</sup>	–	–	–	–	–	–	x	x
Test under fire <sup>c</sup>								
NOTE x indicates that the type test is to be applied.								
<sup>a</sup> To be applied to those designs of cable where the manufacturer claims that barriers to longitudinal water penetration have been included.								
<sup>b</sup> For black oversheaths only.								
<sup>c</sup> 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								

**Table 5 – Test requirements for adhesion or peel strength forces**

	Min adhesion or peel strength (N/mm)	
	CD	SD
copper	1,5	1,0
aluminium	1,5	1,0
overlap	1,5	1,0

**Table 6 – Sequence of heating cycle voltage test for LCC type test**

	HC	RP	HC	HC & PR	HC	RP
Number of cycles	8	Optional, according to 8.8	8	8	3	Optional, according to 8.8
Duration of cycle	24h	Min. 24 h	24 h	24 h	48 h	Min. 24 h

Test Voltage	-		+	+/-	+	
	$U_T$		$U_T$	$U_{TP1}$	$U_T$	
HC = heating cycle, PR = polarity reversal, RP = rest period						

**Table 7 – Sequence of heating cycle voltage test for VSC type test**

	HC	RP	HC	HC	RP
Number of cycles	12	Optional, according to 8.8	12	3	Optional, according to 8.8
Duration of cycle	24 h	Min. 24 h	24 h	48 h	Min. 24 h
Test Voltage	-		+	+	
	$U_T$		$U_T$	$U_T$	
HC = heating cycle, RP = rest period					

**Table 8 – Sequence of switching and lightning impulse test for LCC type test**

	SI	RP	SI	RP	LI	RP	LI	SDT
Duration/number	10	24 h Optional, according to 8.8	10	Optional, according to 8.8	10	24 h Optional, according to 8.8	10	2 h
Impulse voltage	-		+		-		+	n.a.
	$U_{P20}$		$U_{P20}$		$U_{P1}$		$U_{P1}$	
DC test voltage	+		-		+		-	-
	$U_0$		$U_0$		$U_0$		$U_0$	$U_T$
SI = switching impulse, RP = rest period, LI = lightning impulse, SDT = subsequent DC test								

**Table 9 – Sequence of switching and lightning impulse test for VSC type test**

	SI	SI	RP	SI	SI	RP	LI	RP	LI	SDT
Duration/number	10	10	24 h Optional, according to 8.8	10	10	24 h Optional, according to 8.8	10	24 h Optional, according to 8.8	10	2 h
Impulse voltage	+	-		-	+		-		+	n.a.
	$U_{P2S}$	$U_{P20}$		$U_{P2S}$	$U_{P20}$		$U_{P1}$		$U_{P1}$	
DC test voltage	+	+		-	-		+		-	-
	$U_0$	$U_0$		$U_0$	$U_0$		$U_0$		$U_0$	$U_T$
SI = switching impulse, RP = rest period, LI = lightning impulse, SDT = subsequent DC test										

**Table 10 – Test requirements for mechanical characteristics of insulating compounds for cables (before and after ageing)**

Designation of compound (see 4.3)	Unit	PE	HDPE	XLPE	EPR
Maximum conductor temperature in normal operation <sup>a</sup>	°C	70	80	90	90
Without ageing (IEC 60811-501)					
Minimum tensile strength	N/mm <sup>2</sup>	10,0	12,5	12,5	4,2
Minimum elongation at break	%	300	350	200	200
After ageing in air oven (IEC 60811-401)					
Treatment: temperature	°C	100	110	135	135
tolerance	K	±2	±2	±3	±3
duration	h	240	240	168	168
Tensile strength					
a) minimum value after ageing	N/mm <sup>2</sup>	–	–	–	–
b) maximum variation <sup>b</sup>	%	–	–	±25	±30
Elongation at break					
a) minimum value after ageing	%	300	350	–	–
b) maximum variation <sup>b</sup>	%	–	–	±25	±30
<sup>a</sup> The temperatures given here are the maximum temperature for the mechanical characteristics of the material. The maximum operating temperature for the electrical performance of the system shall be equal or lower than the given values here and shall be specified by the cable manufacturer.					
<sup>b</sup> Variation: difference between the median value obtained after ageing and the median value obtained without ageing, expressed as a percentage of the latter.					

**Table 11 – Test requirements for mechanical characteristics of oversheathing compounds for cables (before and after ageing)**

Designation of compound (see 4.5)	Unit	ST <sub>1</sub>	ST <sub>2</sub>	ST <sub>3</sub>	ST <sub>7</sub>
Without ageing (IEC 60811-501)					
Minimum tensile strength	N/mm <sup>2</sup>	12,5	12,5	10,0	12,5
Minimum elongation at break	%	150	150	300	300
After ageing in air oven (of IEC 60811-401)					
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 <sup>2</sup>	12,5	12,5	–	–
b) maximum variation <sup>a</sup>	%	±25	±25	–	–
Elongation at break					
a) minimum value after ageing	%	150	150	300	300
b) maximum variation <sup>a</sup>	%	±25	±25	–	–
Pressure test at high temperature (IEC 60811-508)					
Test temperature	°C	80	90	–	110
Tolerance	K	±2	±2	–	±2
<sup>a</sup> Variation: difference between the median value obtained after ageing and the median value obtained without ageing, expressed as a percentage of the latter.					

**Table 12 – Test requirements for particular characteristics of PVC oversheathing for cables**

Designation of compound (see 4.5)	Unit	ST <sub>1</sub>	ST <sub>2</sub>
Loss of mass in air oven (IEC 60811-409)			
Treatment: temperature	°C	–	100
tolerance	K	–	±2
duration	h	–	168
Maximum permissible loss of mass	mg/cm <sup>2</sup>	–	1,5
Behaviour at low temperature <sup>a</sup>			
Tests to be carried out without previous ageing			
a) Cold elongation test on dumb-bells (IEC 60811-505)			
Test temperature	°C	–15	–15
Tolerance	K	±2	±2
b) Cold impact test (IEC 60811-506)			
Test temperature	°C	–15	–15
Tolerance	K	±2	±2
Heat shock test (IEC 60811-509)			
1) Test temperature	°C	150	150
Tolerance	K	±3	±3
2) Test duration	h	1	1
<sup>a</sup> Due to climatic conditions, national standards may require the use of a lower test temperature.			

**Table 13 – Sequence of heating cycle voltage test for LCC PQ test**

	HC	RP	HC	HC+ PR	CH	RP	CH	ZH	RP	HC	RP	HC	HC+ PR	RP
Number of cycles or duration	30 Cycl.	24h	30 Cycl.	20 Cycl.	40 days	24h	40 days	120 days	24 h	30 Cycl.	24 h	30 Cycl.	20 Cycl.	24 h
Test voltage	+	a	–		+	a	–	–	a	+	a	–		a
	$U_{TP1}$		$U_{TP1}$	$U_{TP2}$	$U_{TP1}$		$U_{TP1}$	$U_{TP1}$		$U_{TP1}$		$U_{TP1}$	$U_{TP2}$	
HC = heating cycle, CH = continuous heating, PR = polarity reversal, ZH = zero heating, RP = rest period.														
<sup>a</sup> Rest period is optional and can be performed according to 8.8.														

**Table 14 – Sequence of heating cycle voltage test for VSC PQ test**

	HC	RP	HC	RP	CH	RP	CH	ZH	RP	HC	RP	HC	RP
Number of cycles or days	40 Cycl.	24 h	40 Cycl.	24 h	40 days	2 4 h	40 days	120 days	24 h	40 Cycl.	24 h	40 Cycl.	24 h
Test Voltage	+	a	–	a	+	a	–	–	a	+	a	–	a
	$U_{TP1}$		$U_{TP1}$		$U_{TP1}$		$U_{TP1}$	$U_{TP1}$		$U_{TP1}$		$U_{TP1}$	

HC = heating cycle, CH = continuous heating, ZH = zero heating, RP = rest period.

<sup>a</sup> Rest period is optional and can be performed according to 8.8.

## **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, while the cable is energized, either at DC 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 shall be maintained within a restricted range (5 K) and the temperature drop across the insulation shall be at or above a specified value, 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 shall be used in which the conductor temperature can be monitored and controlled throughout the duration of the test.

Guidance is given hereafter on the commonly used method.

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

##### **A.2.1 General**

The purpose is to determine the conductor temperature and, calculated from direct measurements, the temperature drop across the insulation of the main loop by direct measurements of the conductor, the insulation screen and the sheath temperature of the reference loop and, for monitoring purpose, the sheath temperature of the main loop 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 manufacturing 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 the one being 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.

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

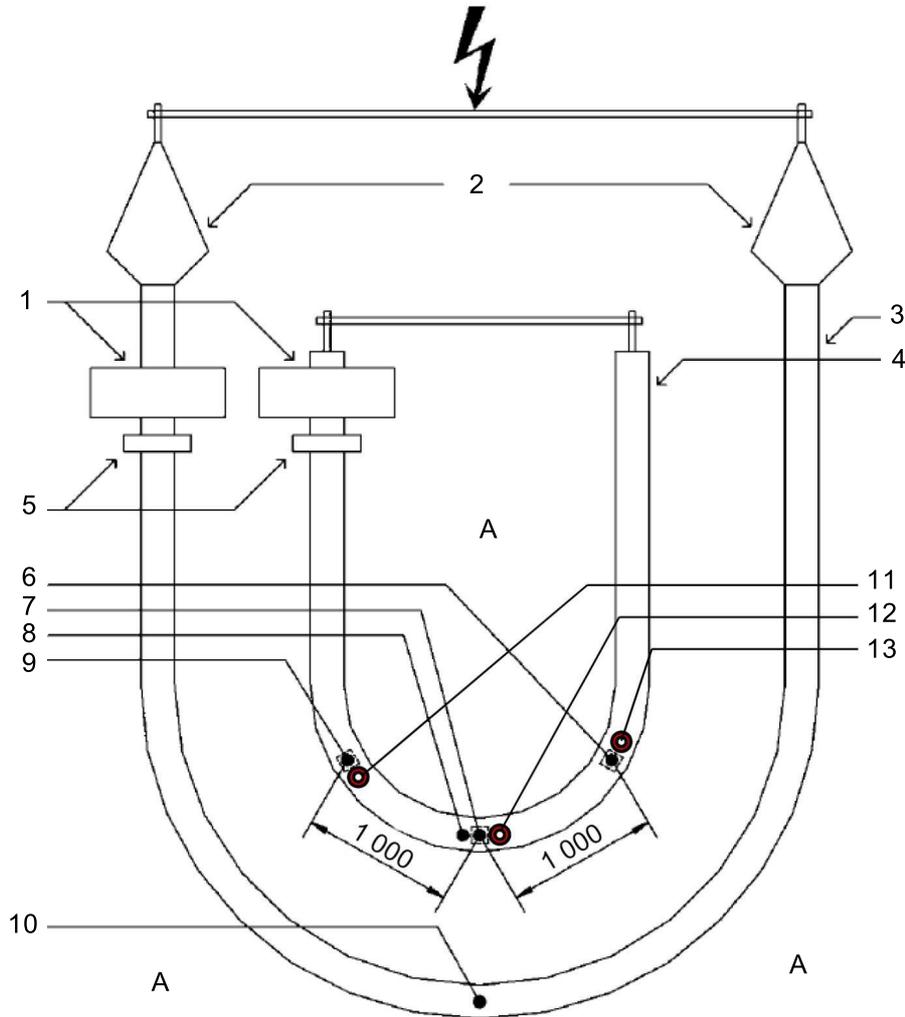
Two other temperature sensors,  $TC_{2c}$  and  $TC_{3c}$ , should be installed on the conductor of the reference cable, each one about 1 m from the middle, and two temperature sensors,  $TC_{2os}$  and  $TC_{3os}$ , should be installed on the insulation screen of the reference cable (see Figure A.1).

The temperature sensors should be attached to the conductor and to the insulation screen by mechanical means since they may move due to expansion and 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.

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, measurements being performed on the hottest cable length (usually the middle length).

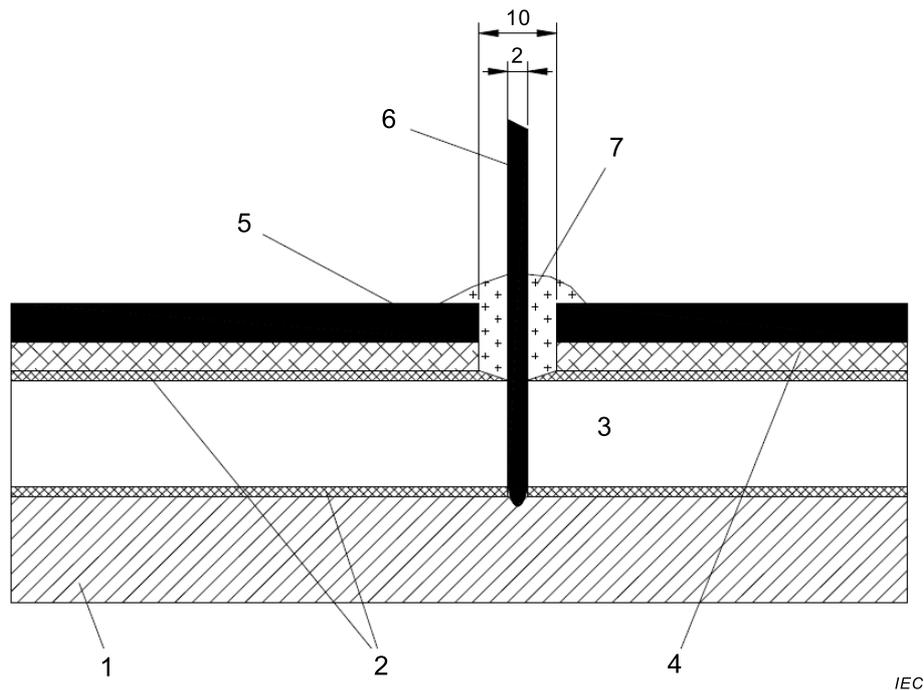
*Dimensions in millimetres*



**Key**

- |   |                                |    |                                       |
|---|--------------------------------|----|---------------------------------------|
| 1 | current inducing transformers  | 8  | TC <sub>1s</sub> (sheath)             |
| 2 | terminations                   | 9  | TC <sub>2c</sub> (conductor)          |
| 3 | cable under test               | 10 | TC <sub>s</sub> (sheath)              |
| 4 | reference cable (≥ 5 m)        | 11 | TC <sub>20s</sub> (insulation screen) |
| 5 | current measuring transformers | 12 | TC <sub>10s</sub> (insulation screen) |
| 6 | TC <sub>3c</sub> (Conductor)   | 13 | TC <sub>30s</sub> (insulation screen) |
| 7 | TC <sub>1c</sub> (Conductor)   | A  | ambient temperature                   |

**Figure A.1 – Schematic of sensor position in test set-up for the reference loop and the main test loop**

**Key**

- |                           |  |
|---------------------------|--|
| 1 conductor               | 5 cable overshooth                     |
| 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, insulation screen, overshooth and ambient temperatures simultaneously.

The cable should be heated until the conductor temperature, indicated by temperature sensor  $\text{TC}_{1\text{c}}$  of Figure A.1, has stabilized and reached the following temperatures: between 0 K and 5 K above the maximum conductor temperature of the cable in normal operation.

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

- conductor temperature: average value at positions 1, 2 and 3;
- insulation screen temperature: average value at positions 1, 2 and 3;
- overshooth temperature at position  $\text{TC}_{1\text{s}}$ ;
- ambient temperature; average value of 3 positions around the test loop;
- heating current.

**A.3 Heating for the test**

A reference cable identical to the cable should be used for the test, 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 the 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 sensors  $TC_{1c}$  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 can be slightly higher than that of the reference loop because of dielectric losses.

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.

## 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
25,047 8	≈	25,048	rounded to three decimal places
25,047 8	≈	25,05	rounded to two decimal places
25,047 8	≈	25,0	rounded to one decimal place

## Annex C (informative)

### List of type and prequalification tests of cable systems

Type tests of cable systems are covered by Clause 12.

Table C.1 gives a summary and references for type testing of these cable systems.

PQ tests of cable systems are covered by 13.1 and 13.2.

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

**Table C.1 – Type tests on cable systems**

Item	Test	Clauses
		Cable systems
a	General	12.1
b	Range of type approval	12.2
c	Electrical type tests	12.4
d	Test voltage values	12.4.1
e	Bending test	12.4.3
f	Heating cycle voltage test	12.4.4
g	Superimposed impulse voltage test	12.4.5
h	Subsequent DC test	12.4.5.5
i	Tests of outer protection of joints	Annex H
j	Examination	12.4.6
k	Resistivity of semi-conducting screens	12.4.7
l	Non-electrical type tests on cable components and on completed cable	12.5

**Table C.2 – PQ tests on cable systems**

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

## Annex D (normative)

### Method of measuring resistivity of semi-conducting screens

Each test piece shall be prepared from a 150 mm sample of complete 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 Figure 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 screen and the thicknesses 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  $\rho$  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

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

$R_c$  is the measured resistance, in ohms ( $\Omega$ );

$L_c$  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

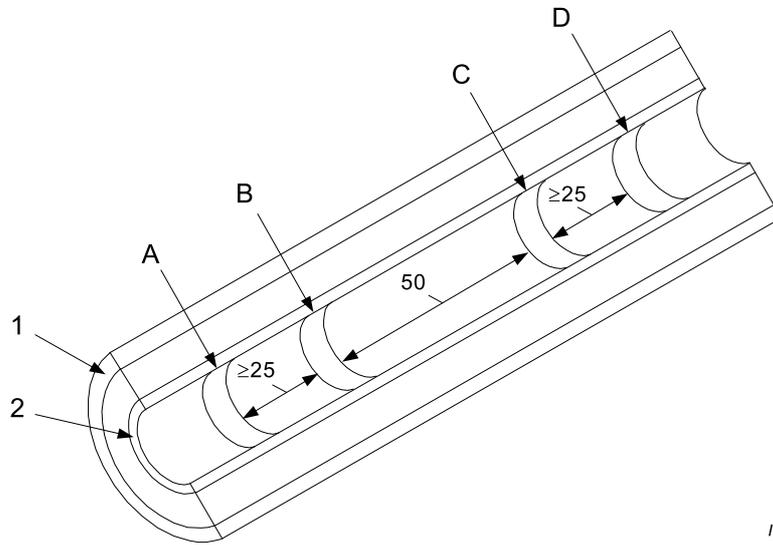
$\rho_i$  is the volume resistivity, in ohm metres ( $\Omega \cdot m$ );

$R_i$  is the measured resistance, in ohms ( $\Omega$ );

$L_i$  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).

*Dimensions in millimetres*



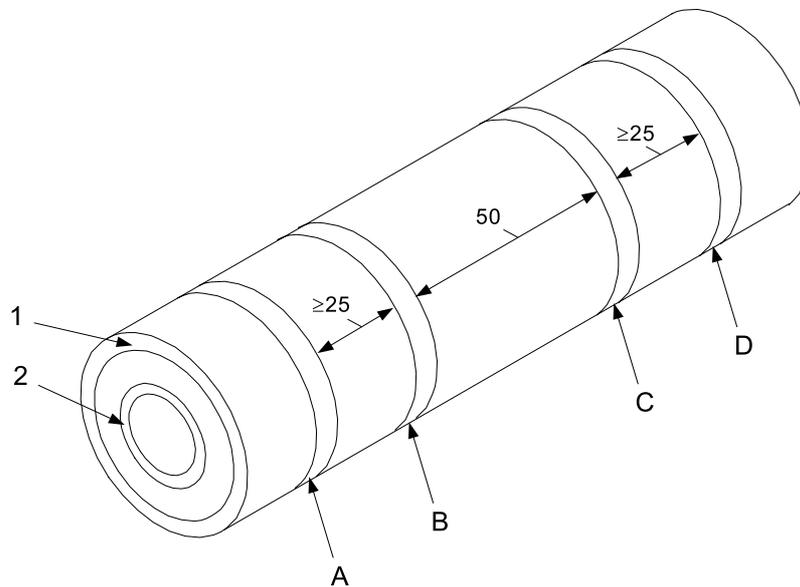
IEC

**Key**

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

**a) Measurement of the volume resistivity of the conductor screen**

*Dimensions in millimetres*



IEC

**Key**

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

**b) 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 complete cable at least 8 m in length which has not been subjected to any of the tests described in 12.4 shall be subjected to the bending test described in 12.4.3.

An 8 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 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.

Examples of such interfaces include

- when the cable only has a conductor barrier,
- when the interface is positioned between the oversheath and the metal sheath.

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.

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 is filled with water within 5 min 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 required 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  $100 ^\circ\text{C}$ .

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.

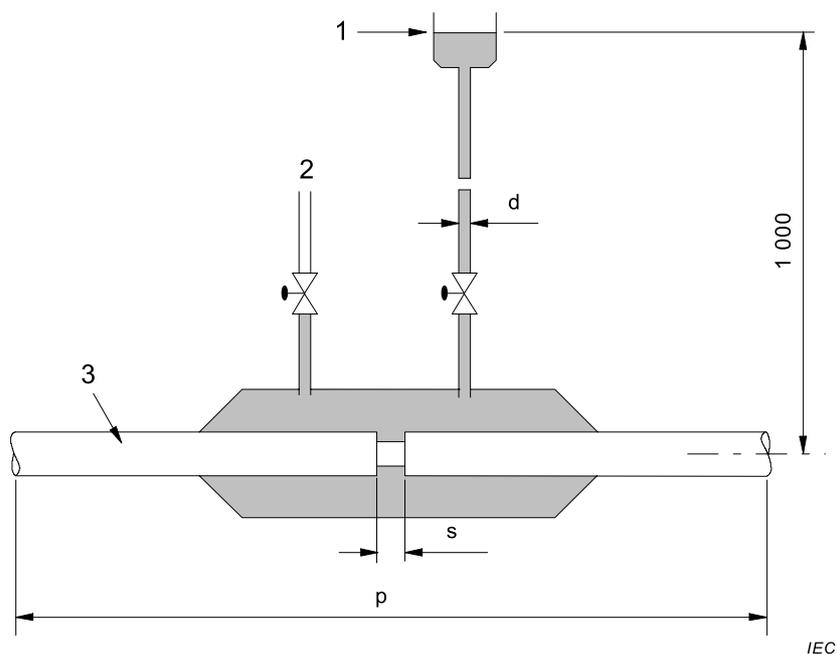
The water head shall be maintained at 1 m.

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.

*Dimensions in millimetres*



**Key**

- |   |                   |   |                        |
|---|-------------------|---|------------------------|
| 1 | water header tank | d | Ø10 mm minimum (inner) |
| 2 | vent              | s | 50 mm approximately    |
| 3 | cable             | p | length = 8 000 mm      |

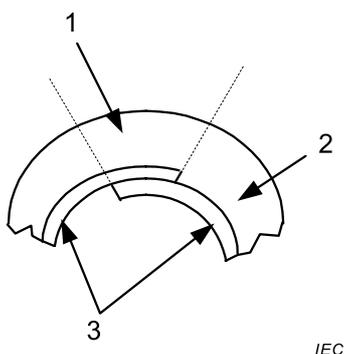
**Figure E.1 – Schematic diagram of apparatus for water penetration test**



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

### F.3 Peel strength of overlapped metal foil – 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.

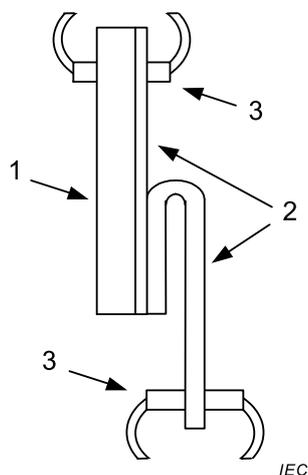


**Key**

- 1 specimen
- 2 overshooth
- 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 overshooth
- 2 metal foil or laminated metal foil
- 3 grip

**Figure F.3 – Test arrangement for peel strength of overlapped metal foil**

When the peel strength is greater than the tensile strength of the metal foil so that the latter breaks with a higher value than specified, but before peeling, the test is passed and the value of break shall be recorded.

## **Annex G** (informative)

### **Development test on cable and cable system with longitudinal applied metal foil, bonded to the oversheath**

#### **G.1 General**

It is recommended to subject the cable and cable system with a longitudinally applied metal foil, bonded to the oversheath to the development tests as specified in IEC TR 61901.

#### **G.2 List of tests**

##### **G.2.1 Tests on cable**

###### **G.2.1.1 Impact test**

Test should be performed in accordance with IEC TR 61901:2016, 4.1.1.

###### **G.2.1.2 Abrasion test**

Test should be performed in accordance with IEC TR 61901:2016, 4.1.2.

###### **G.2.1.3 Sidewall loading test**

Test should be performed in accordance with IEC TR 61901:2016, 4.1.3.

###### **G.2.1.4 Long term ageing of the adhesive bonds of the components of the laminate covering**

Test should be performed in accordance with IEC TR 61901:2016, 4.1.4.

###### **G.2.1.5 Mechanical properties of the welding, when applicable**

Test should be performed in accordance with IEC TR 61901:2016, 4.1.5.

##### **G.2.2 Tests on cable system – Short circuit test including accessories**

Test should be performed in accordance with IEC TR 61901:2016, 4.2.2.

## **Annex H** (normative)

### **Tests of outer protection for joints**

#### **H.1 General**

Annex H 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 sectionalizing insulation with screen interruption.

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

#### **H.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 sectionalizing insulation accessory for the diameters of complete cable for which approval is being sought in accordance with 12.2, will give approval to such protection for a similar accessory without sheath sectionalizing 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 H.3 and H.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.

#### **H.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. Water shall have access to the water barrier(s) declared by the manufacturer.

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 heating cycle 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 equal to or less than 30 °C or 10 K above ambient temperature.

#### **H.4 Voltage tests**

##### **H.4.1 General**

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

##### **H.4.2 Assemblies embodying accessories without sheath sectionalizing insulation**

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

### H.4.3 Assemblies embodying accessories with sheath sectionalizing insulation

#### H.4.3.1 DC voltage tests

A test voltage of 25 kV DC 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.

#### H.4.3.2 Impulse voltage tests

For systems, in which no lightning strike can occur, the lightning impulse test is not required.

To test each part to earth, a test voltage in accordance with Table H.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 H.1 – Impulse voltage tests**

Equivalent rated lightning impulse voltage for main insulation	Impulse level			
	Between parts		Each part to earth	
	Bonding leads ≤ 3 m	Bonding leads > 3 m and ≤ 10 m	Bonding leads ≤ 3 m	Bonding leads > 3 m and ≤ 10 m
The equivalent lightning voltage shall be calculated as the sum of the moduli of DC voltage and superimposed lightning impulse voltage				
kV	kV	kV	kV	kV
250 to 325	60	60	30	30
>325 to 750	60	75	30	37,5
>750	60	95	30	47,5

No breakdown shall occur during any of the above tests.

The performing of the voltage tests of Clause H.4 (in reverse order) may be considered before starting the heat cycling in order to check the proper installation of the assembly.

### H.5 Examination of test assembly

On completion of the tests described in Clause H.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 and no sign of corrosion of any metal part of the accessory: connection of the cable to the accessory, accessory screen, accessory bonding leads.

## **Annex I** (normative)

### **Return cable**

Return cables are grounded at one end and are subjected to a DC voltage determined by the converter configuration and the cable characteristics.

The nature of any overvoltage depends upon the configuration of the HVDC system and needs to be calculated for each case, to determine the relevant temporary over-voltages in the power frequency domain for the return cable for the actual link. In particular, temporary over-voltages caused by commutation failure may be the criteria for dimensioning of the return cable insulation and accessories. To verify that the cable system can withstand over-voltages caused by commutation failure, the return cable and accessories shall be in accordance with IEC 60502-2 and IEC 60502-4 respectively with a rated voltage  $U$  of at least  $U_{RC,AC}$ .

If different designs (different insulation thicknesses) are used along the return path, each design shall be considered individually.

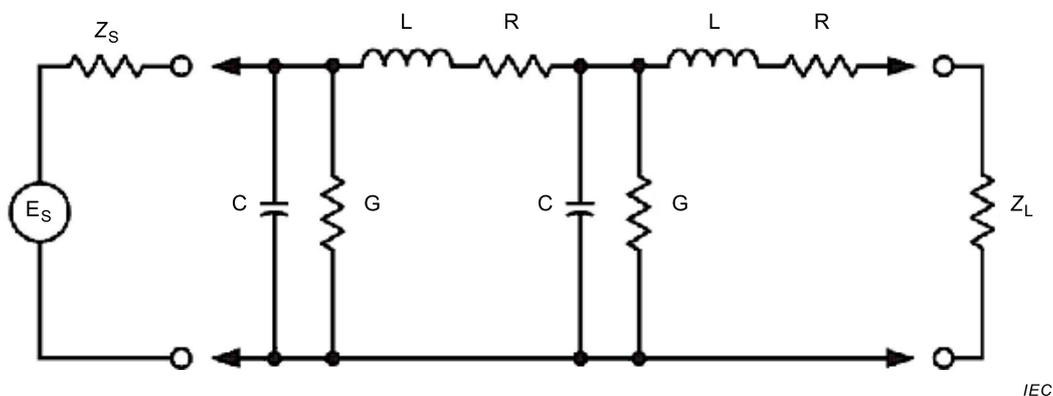
After installation the return cable system shall be subjected to the DC electrical test after installation according to 20.3.2 of IEC 60502-2:2014.

## Annex J (informative)

### TDR measurement

A time domain reflectometry (TDR) measurement could be performed for engineering information.

If TDR equipment is to be used during the operation of the cable link it is advisable to perform a TDR measurement after installation to obtain a “fingerprint” of the wave propagation characteristics of the cable. The propagation of the pulses used during TDR measurements is dependent upon resistance, capacitance and inductance of the cable. As all electrical signals travel so as to consume a minimum of energy, the pulse propagates where the inductance/resistance is its lowest. Power cables have a metallic screen and the pulses do not propagate outside the screen since the inductance (and impedance) would increase considerably. Hence the pulse is not affected by the coiling on a drum or after installation. See Figure J.1.



IEC

- $E_S, Z_S$ : Equivalent circuit of the voltage source  
 $C, G, L, R$ : Equivalent circuit of the cable;  
 $Z_L$ : Impedance to terminate the cable link

**Figure J.1 – Circuit diagram for TDR testing, traditional transmission line diagram,  $\pi$ -model**

## Bibliography

IEC 60633, *Terminology for high-voltage direct current (HVDC) transmission*

CIGRE Technical Brochure 496, *Recommendations for testing DC extruded cable systems for power transmission at a rated voltage up to 500 kV*; CIGRE Working Group B1.32; 2012

IEC TR 61901:2016, *Development tests recommended on cables with a longitudinally applied metal foil for rated voltages above 30 kV ( $U_m = 36$  kV)*

IEC 60183, *Guidance for the selection of high-voltage A.C. cable systems*

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

IEC 60840, *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*

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*

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

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. 227, *Revision of qualification procedures for extruded high voltage AC underground cable systems*, August 2006, pp 31-37

CIGRE Technical brochure 289, *VSC Transmission*, Cigré WG B4.37, April 2005

Electra No. 72, *Recommendations for tests of power transmission DC cables for a rated voltage up to 800 kV (1980 – revision)*, April 2000

Electra No 189 (2000), *Recommendations for test of power transmission DC Cables for a rated voltage up to 800 kV*

---



## SOMMAIRE

AVANT-PROPOS .....	69
INTRODUCTION .....	71
1 Domaine d'application .....	72
2 Références normatives .....	72
3 Termes et définitions .....	74
3.1 Définitions de valeurs dimensionnelles (épaisseurs, sections, etc.) .....	74
3.2 Définitions relatives aux essais .....	74
3.3 Autres définitions .....	75
4 Désignations des tensions et matériaux .....	76
4.1 Tension assignée .....	76
4.2 (en attente) .....	76
4.3 Mélanges isolants pour câbles .....	76
4.4 Écrans et gaines métalliques pour câbles .....	77
4.4.1 Généralités .....	77
4.4.2 Gaine métallique .....	77
4.4.3 Construction combinée (CD) .....	77
4.4.4 Construction séparée (SD) .....	77
4.5 Mélanges pour gaines extérieures de câbles .....	77
5 Précautions contre l'entrée longitudinale d'eau dans les câbles .....	78
6 Caractéristiques du câble .....	78
7 Caractéristiques des accessoires .....	79
8 Objets et conditions d'essai .....	80
8.1 Définitions relatives aux objets d'essai .....	80
8.2 Tensions d'essai .....	80
8.3 Conditions thermiques .....	82
8.4 Essai d'inversion de polarité .....	83
8.5 Essai de tensions de choc superposées .....	84
8.5.1 Généralités .....	84
8.5.2 Tension de choc de foudre superposée .....	84
8.5.3 Tension de choc de manœuvre superposée .....	84
8.6 Relation entre tensions d'essai et tensions assignées .....	84
8.7 Détermination de la température de l'âme du câble .....	84
8.8 Période de repos .....	84
9 Essais individuels de série des câbles et de l'isolation principale des accessoires préfabriqués .....	85
9.1 Généralités .....	85
9.2 Essai de tension .....	85
9.3 Essai électrique sur la gaine extérieure du câble .....	85
10 Essais sur prélèvements des câbles .....	85
10.1 Généralités .....	85
10.2 Fréquence des essais .....	86
10.3 Répétition des essais .....	86
10.4 Examen de l'âme .....	86
10.5 Mesure de la résistance électrique de l'âme et de l'écran/la gaine métallique .....	86
10.6 Mesure de l'épaisseur de l'enveloppe isolante et de celle de la gaine extérieure du câble .....	87

10.6.1	Généralités .....	87
10.6.2	Exigences relatives à l'enveloppe isolante .....	87
10.6.3	Exigences relatives à la gaine extérieure du câble .....	87
10.7	Mesure de l'épaisseur de la gaine métallique .....	88
10.7.1	Gaine en plomb ou en alliage de plomb .....	88
10.7.2	Gaine lisse ou ondulée en aluminium .....	88
10.8	Mesure des diamètres .....	89
10.9	Essai d'allongement à chaud des enveloppes isolantes en PR et en EPR .....	89
10.9.1	Mode opératoire .....	89
10.9.2	Exigences .....	89
10.10	Mesure de la capacité .....	89
10.11	Mesure de la masse volumique des enveloppes isolantes en PEHD .....	89
10.11.1	Mode opératoire .....	89
10.11.2	Exigences .....	89
10.12	Essai de tension de choc .....	89
10.13	Essai de pénétration d'eau .....	90
10.14	Essais d'adhérence et de résistance au décollement de la feuille métallique .....	90
11	Essais sur prélèvements des accessoires .....	90
11.1	Essais des composants .....	90
11.2	Essais sur accessoires complets .....	90
12	Essais de type des systèmes de câble .....	91
12.1	Généralités .....	91
12.2	Étendue de l'acceptation de type .....	91
12.3	Récapitulatif des essais de type .....	92
12.4	Essais électriques de type sur systèmes de câble complet .....	92
12.4.1	Valeurs des tensions d'essai .....	92
12.4.2	Essais et séquence d'essais .....	93
12.4.3	Essai d'enroulement .....	93
12.4.4	Essai de cycles de chauffage sous tension .....	94
12.4.5	Essai de tension de choc superposée .....	95
12.4.6	Examen .....	97
12.4.7	Résistivité des écrans semi-conducteurs .....	97
12.5	Essais non électriques de type sur les constituants du câble et sur câble complet .....	97
12.5.1	Généralités .....	97
12.5.2	Vérification de la constitution du câble .....	98
12.5.3	Détermination des propriétés mécaniques des enveloppes isolantes avant et après vieillissement .....	98
12.5.4	Détermination des propriétés mécaniques des enveloppes isolantes avant et après vieillissement .....	98
12.5.5	Essais de vieillissement sur tronçons de câble complet pour vérifier la compatibilité des matériaux .....	99
12.5.6	Essai de perte de masse pour les gaines extérieures en PVC du type ST <sub>2</sub> .....	100
12.5.7	Essai de pression à température élevée pour les gaines extérieures .....	100
12.5.8	Essai à basse température pour les gaines extérieures en PVC (ST <sub>1</sub> et ST <sub>2</sub> ) .....	100
12.5.9	Essai de choc thermique pour les gaines extérieures en PVC (ST <sub>1</sub> et ST <sub>2</sub> ) .....	100
12.5.10	Essai de résistance à l'ozone des enveloppes isolantes en EPR .....	100

12.5.11	Essai d'allongement à chaud pour les enveloppes isolantes en EPR et en PR .....	101
12.5.12	Mesure de la masse volumique des enveloppes isolantes en PEHD .....	101
12.5.13	Mesure du taux de noir de carbone des gaines extérieures en PE de couleur noire (ST <sub>3</sub> et ST <sub>7</sub> ).....	101
12.5.14	Essai des câbles soumis au feu .....	101
12.5.15	Essai de pénétration d'eau .....	101
13	Essai de préqualification sur le système de câble .....	101
13.1	Généralités et étendue d'acceptation de l'essai de préqualification .....	101
13.2	Essai de préqualification sur système de câble complet .....	102
13.2.1	Récapitulatif des essais de préqualification .....	102
13.2.2	Valeurs des tensions d'essai .....	103
13.2.3	Montage d'essai .....	103
13.2.4	Essai de cycles de chauffage sous tension .....	104
13.2.5	Essai de tension de choc superposée .....	104
13.2.6	Examen .....	105
13.3	Essais d'extension de préqualification d'un système de câble .....	105
14	Essai de type des câbles .....	105
15	Essai de type des accessoires .....	105
16	Essais électriques après pose .....	105
16.1	Généralités .....	105
16.2	Essai sous tension continue de la gaine extérieure .....	105
16.3	Essai sous haute tension de l'enveloppe isolante .....	105
16.4	Mesure par réflectométrie dans le domaine temporel .....	106
Annexe A (informative)	Détermination de la température de l'âme du câble .....	114
A.1	Objectif .....	114
A.2	Étalonnage de la température de la boucle d'essai principale .....	114
A.2.1	Généralités .....	114
A.2.2	Montage du câble et des capteurs de température .....	114
A.2.3	Méthode d'étalonnage .....	117
A.3	Chauffage pour l'essai .....	118
Annexe B (normative)	Arrondissement des nombres .....	119
Annexe C (informative)	Liste des essais de type et des essais de préqualification des systèmes de câbles .....	120
Annexe D (normative)	Méthode de mesure de la résistivité des écrans semi-conducteurs.....	122
Annexe E (normative)	Essai de pénétration d'eau .....	125
E.1	Éprouvette .....	125
E.2	Essai .....	125
E.3	Exigences .....	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 .....	127
F.1	Inspection visuelle .....	127
F.2	Force d'adhérence de la feuille métallique – Mode opératoire .....	127
F.3	Force de décollement du recouvrement de la feuille métallique – Mode opératoire .....	128

Annexe G (informative) Essais de développement sur câble et système de câble comportant une feuille métallique posée en long et contrecollée à la gaine extérieure .....	130
G.1 Généralités .....	130
G.2 Liste des essais .....	130
G.2.1 Essais sur câble .....	130
G.2.2 Essais sur système de câble – Essai de court-circuit incluant les accessoires .....	130
Annexe H (normative) Essais des protections extérieures des jonctions .....	131
H.1 Généralités .....	131
H.2 Étendue de l'acceptation .....	131
H.3 Immersion dans l'eau et cycles thermiques .....	131
H.4 Essais de tension .....	132
H.4.1 Généralités .....	132
H.4.2 Montages comportant des accessoires sans arrêt d'écran .....	132
H.4.3 Montages comportant des accessoires à arrêt d'écran .....	132
H.5 Examen du montage d'essai .....	133
Annexe I (normative) Câble de retour .....	134
Annexe J (informative) Mesure par réflectométrie dans le domaine temporel .....	135
Bibliographie .....	136
Figure 1 – Exemple de configuration d'objets d'essai dans une boucle d'essai .....	80
Figure 2 – Représentations schématiques des tensions de choc de manœuvre et de choc de foudre .....	81
Figure A.1 – Représentation schématique de la position des capteurs dans le montage d'essai de la boucle de référence et de la boucle principale d'essai .....	116
Figure A.2 – Exemple de disposition 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 .....	124
Figure E.1 – Représentation schématique de l'appareillage pour l'essai de pénétration d'eau .....	126
Figure F.1 – Montage d'essai d'adhérence de la feuille métallique .....	127
Figure F.2 – Exemple de feuille métallique avec recouvrement .....	128
Figure F.3 – Montage d'essai de force de décollement au recouvrement de la feuille métallique .....	129
Figure J.1 – Schéma de circuit pour mesure par réflectométrie dans le domaine temporel, schéma de ligne de transmission classique, modèle $\pi$ .....	135
Tableau 1 – Mélanges isolants pour câbles .....	106
Tableau 2 – Mélanges pour gaines extérieures de câbles .....	106
Tableau 3 – Exigences d'essai pour les caractéristiques particulières des mélanges isolants pour câbles .....	107
Tableau 4 – Essais non électriques de type des mélanges pour enveloppes isolantes de câbles et des mélanges pour gaines extérieures de câbles .....	108
Tableau 5 – Exigences d'essai pour les forces d'adhérence ou de résistance au décollement .....	108
Tableau 6 – Séquence d'essai de tension de cycles de chauffage pour essai de type de LCC .....	109

Tableau 7 – Séquence d’essai de tension de cycles de chauffage pour essai de type de VSC .....	109
Tableau 8 – Séquence d’essai de tensions de chocs de manœuvre et de foudre pour essai de type de LCC.....	109
Tableau 9 – Séquence d’essai de tensions de chocs de manœuvre et de foudre pour essai de type de VSC .....	110
Tableau 10 – Exigences d’essai pour les caractéristiques mécaniques des mélanges pour enveloppes isolantes de câbles (avant et après vieillissement) .....	110
Tableau 11 – Exigences d’essai pour les caractéristiques mécaniques des mélanges pour gaines extérieures de câbles (avant et après vieillissement) .....	111
Tableau 12 – Exigences d’essai pour les caractéristiques particulières des mélanges à base de PVC pour gaines extérieures de câbles .....	112
Tableau 13 – Séquence d’essai de tension de cycles de chauffage pour essai de préqualification de LCC.....	112
Tableau 14 – Séquence d’essai de tension de cycles de chauffage pour essai de préqualification de VSC .....	113
Tableau C.1 – Essais de type sur des systèmes de câbles .....	120
Tableau C.2 – Essais de préqualification sur des systèmes de câbles .....	121
Tableau H.1 – Essais de tension de choc.....	132

## COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**CÂBLES HAUTE TENSION EN COURANT CONTINU (CCHT) –  
CÂBLES D'ÉNERGIE À ISOLATION EXTRUDÉE ET LEURS ACCESSOIRES  
POUR DES TENSIONS ASSIGNÉES JUSQU'À 320 kV POUR LES  
APPLICATIONS TERRESTRES – MÉTHODES ET EXIGENCES D'ESSAI**

## AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale IEC 62895 a été établie par le comité d'études 20 de l'IEC: Câbles électriques.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
20/1708A/FDIS	20/1726/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/IEC, 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 l'IEC sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

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

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

## INTRODUCTION

En raison des développements importants des réseaux de câbles à isolation extrudée pour applications haute tension en courant continu (CCHT), le comité d'études B1 du CIGRÉ a constitué un groupe de travail (GT) B1.32 en 2008, dans le but de préparer des recommandations pour les essais relatifs aux systèmes de câbles à isolation extrudée pour applications en courant continu destinés au transport d'énergie à des tensions assignées jusqu'à 500 kV.

Les recommandations du GT B1.32 ont été publiées dans la Brochure Technique (BT) 496 en avril 2012. A la date de l'élaboration de la recommandation du CIGRÉ, des expériences en laboratoire avaient été réalisées à des tensions jusqu'à 500 kV inclus, mais les expériences en conditions réelles étaient limitées à 200 kV. Au moment de l'élaboration de la présente norme, plusieurs projets à des tensions jusqu'à 320 kV étaient en cours et de nombreux autres sont prévus dans un futur proche.

Une liste des références appropriées est donnée dans la Bibliographie.

# CÂBLES HAUTE TENSION EN COURANT CONTINU (CCHT) – CÂBLES D'ÉNERGIE À ISOLATION EXTRUDÉE ET LEURS ACCESSOIRES POUR DES TENSIONS ASSIGNÉES JUSQU'À 320 kV POUR LES APPLICATIONS TERRESTRES – MÉTHODES ET EXIGENCES D'ESSAI

## 1 Domaine d'application

La présente Norme internationale spécifie les méthodes et exigences d'essai applicables aux systèmes de câbles d'énergie à haute tension en courant continu, comprenant les câbles à isolation extrudée et leurs accessoires, pour installations terrestres fixes, pour des tensions assignées jusqu'à 320 kV.

Dans le cadre du domaine d'application de la présente norme, le terme «extrudé» signifie une enveloppe réalisée par extrusion de matières thermoplastiques (par exemple, polyéthylène) ou de matières réticulées (par exemple, polyéthylène réticulé, caoutchouc éthylène-propylène, etc.). Le matériau peut être non chargé ou chargé (par exemple, de matière minérale ou de carbone).

Les exigences sont applicables aux câbles monoconducteurs combinés à leurs accessoires, extrémités extérieures et pour postes sous enveloppe métallique à isolation gazeuse, jonctions et jonctions asymétriques, pour des conditions habituelles d'installation et de fonctionnement, mais 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.

## 2 Références normatives

Les documents suivants cités dans le texte constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

IEC 60060-2, *Techniques des essais à haute tension – Partie 2: Systèmes de mesure*

IEC 60228, *Ames des câbles isolés*

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

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

IEC 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*  
IEC 60287-1-1:2006/AMD1:2014

IEC 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*

IEC 60502-2:2014, *Câbles d'énergie à isolant extrudé et leurs accessoires pour des tensions assignées de 1 kV ( $U_m = 1,2$  kV) à 30 kV ( $U_m = 36$  kV) – Partie 2: Câbles de tensions assignées de 6 kV ( $U_m = 7,2$  kV) à 30 kV ( $U_m = 36$  kV)*

IEC 60502-4, *Câbles d'énergie à isolant extrudé et leurs accessoires pour des tensions assignées de 1 kV ( $U_m = 1,2$  kV) à 30 kV ( $U_m = 36$  kV) – Partie 4: Exigences d'essai pour accessoires de câbles de tensions assignées de 6 kV ( $U_m = 7,2$  kV) à 30 kV ( $U_m = 36$  kV)*

IEC 60811-201, *Câbles électriques et à fibres optiques – Méthodes d'essai pour les matériaux non-métalliques – Partie 201: Essais généraux – Mesure de l'épaisseur des enveloppes isolantes*

IEC 60811-202, *Câbles électriques et à fibres optiques – Méthodes d'essai pour les matériaux non-métalliques – Partie 202: Essais généraux – Mesure de l'épaisseur des gaines non métalliques*

IEC 60811-203, *Câbles électriques et à fibres optiques – Méthodes d'essai pour les matériaux non-métalliques – Partie 203: Essais généraux – Mesure des dimensions extérieures*

IEC 60811-401, *Câbles électriques et à fibres optiques – Méthodes d'essai pour les matériaux non-métalliques – Partie 401: Essais divers – Méthodes de vieillissement thermique – Vieillissement en étuve à air*

IEC 60811-403, *Câbles électriques et à fibres optiques – Méthodes d'essai pour les matériaux non-métalliques – Partie 403: Essais divers – Essai de résistance à l'ozone sur les mélanges réticulés*

IEC 60811-409, *Câbles électriques et à fibres optiques – Méthodes d'essai pour les matériaux non-métalliques – Partie 409: Essais divers – Essai de perte de masse des enveloppes isolantes et gaines thermoplastiques*

IEC 60811-412, *Câbles électriques et à fibres optiques – Méthodes d'essai pour les matériaux non-métalliques – Partie 412: Essais divers – Méthodes de vieillissement thermique – Vieillissement dans une bombe à air*

IEC 60811-501, *Câbles électriques et à fibres optiques – Méthodes d'essai pour les matériaux non-métalliques – Partie 501: Essais mécaniques – Détermination des propriétés mécaniques des mélanges pour les enveloppes isolantes et les gaines*

IEC 60811-505, *Câbles électriques et à fibres optiques – Méthodes d'essai pour les matériaux non-métalliques – Partie 505: Essais mécaniques – Essai d'allongement à basse température pour les enveloppes isolantes et les gaines*

IEC 60811-506, *Câbles électriques et à fibres optiques – Méthodes d'essai pour les matériaux non-métalliques – Partie 506: Essais mécaniques – Essai de choc à basse température pour les enveloppes isolantes et les gaines*

IEC 60811-507, *Câbles électriques et à fibres optiques – Méthodes d'essai pour les matériaux non-métalliques – Partie 507: Essais mécaniques – Essai d'allongement à chaud pour les matériaux réticulés*

IEC 60811-508, *Câbles électriques et à fibres optiques – Méthodes d'essai pour les matériaux non-métalliques – Partie 508: Essais mécaniques – Essai de pression à température élevée pour les enveloppes isolantes et les gaines*

IEC 60811-509, *Câbles électriques et à fibres optiques – Méthodes d'essai pour les matériaux non-métalliques – Partie 509: Essais mécaniques – Essai de résistance à la fissuration des enveloppes isolantes et des gaines (essai de choc thermique)*

IEC 60811-605, *Câbles électriques et à fibres optiques – Méthodes d'essai pour les matériaux non-métalliques – Partie 605: Essais physiques – Mesure du taux de noir de carbone et/ou des charges minérales dans les mélanges en polyéthylène*

IEC 60811-606, *Câbles électriques et à fibres optiques – Méthodes d'essai pour les matériaux non-métalliques – Partie 606: Essais physiques – Méthodes de détermination de la masse volumique*

IEC 62067, *Câbles d'énergie à isolation extrudée et leurs accessoires pour des tensions assignées supérieures à 150 kV ( $U_m = 170$  kV) et jusqu'à 500 kV ( $U_m = 550$  kV) – Méthodes et prescriptions d'essai*

### 3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants 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 1 à l'article: Dans cette norme, les valeurs nominales correspondent généralement à des valeurs qui sont vérifiées par des mesures, en tenant compte des tolérances spécifiées.

##### 3.1.2

##### **valeur médiane**

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

#### 3.2 Définitions relatives aux essais

##### 3.2.1

##### **essai individuel de série**

essai effectué par le fabricant sur chacun des composants fabriqués (longueur de câble ou accessoire) afin de vérifier qu'il répond aux exigences spécifiées

##### 3.2.2

##### **essai sur prélèvement**

essai effectué 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 exigences spécifiées

##### 3.2.3

##### **essai de type**

essai effectué avant la livraison, sur une base commerciale, d'un type de système de câble, afin de démontrer que ses caractéristiques de performance répondent à l'application prévue

Note 1 à l'article: Cet essai est de nature telle qu'après avoir été effectué avec succès, il n'est pas nécessaire de le répéter, à moins que des modifications n'aient été introduites dans le câble ou les accessoires, portant sur les matériaux, le procédé de fabrication, la conception ou les gradients électriques de conception, et ne soient susceptibles d'en modifier les caractéristiques de performance.

##### 3.2.4

##### **essai de préqualification**

essai effectué avant la livraison, sur une base commerciale générale, d'un type de système de câble, afin de démontrer que les performances à long terme de l'ensemble du système de câble sont satisfaisantes

Note 1 à l'article: L'essai de préqualification n'a besoin d'être effectué qu'une seule fois, à moins qu'une modification significative n'ait été introduite dans le système de câble, portant sur le matériau, le procédé de fabrication, la conception ou les gradients électriques de conception.

Note 2 à l'article: Une modification significative est définie comme une modification susceptible d'affecter les performances du système de câble. Il convient que le fournisseur présente un dossier détaillé, incluant des résultats d'essais, si des modifications réputées non significatives sont introduites.

### 3.2.5

#### **essai électrique après pose**

essai effectué pour vérifier l'intégrité du système de câble après la pose

### 3.2.6

#### **essai de développement**

essai effectué sur des objets pour caractériser les propriétés et les performances d'éléments du système de câble ou de matériaux et de combinaisons de matériaux sélectionnés

## 3.3 Autres définitions

### 3.3.1

#### **système de câble**

câble équipé de ses accessoires, y compris les composants utilisés pour la réduction 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  $U_0$  en utilisant les dimensions nominales et des caractéristiques constantes pour les matériaux

Note 1 à l'article: Voir 4.1.

### 3.3.3

#### **objet d'essai**

objet consistant en une longueur de câble ou en un accessoire devant être soumis à un essai

### 3.3.4

#### **câble de retour**

câble moyenne/basse tension en courant continu, utilisé pour le courant de retour en fonctionnement monopolaire de liaisons CCHT

Note 1 à l'article: Un câble de retour peut être soit raccordé sur toute la longueur entre les convertisseurs, soit raccordé seulement sur la partie de la longueur reliant un convertisseur à un poste d'électrodes

### 3.3.5

#### **câble de transmission**

câble haute tension d'une liaison de type monopolaire ou bipolaire, relié à la borne HT Courant Continu du convertisseur

### 3.3.6

#### **boucle d'essai**

boucle de câble constituée d'une combinaison d'objets d'essai montés en série et soumis à essai simultanément

VOIR: Figure 1.

### 3.3.7

#### **convertisseur commuté par le réseau**

##### **LCC**

convertisseur qui a pour caractéristique de changer la polarité du système de câble lorsque le sens du flux d'énergie est inversé

Note 1 à l'article: Voir l'IEC 60633.

Note 2 à l'article: L'abréviation «LCC» est dérivée du terme anglais développé correspondant à «line commutated converter».

### **3.3.8**

#### **convertisseur source de tension**

##### **VSC**

convertisseur qui ne modifie pas la polarité de la tension du système de câble lorsque le sens du flux d'énergie est inversé

Note 1 à l'article: L'abréviation «VSC» est dérivée du terme anglais développé correspondant «voltage source converter».

### **3.3.9**

#### **longueur d'extrusion**

longueur de l'âme du câble avec les couches isolantes et semi-conductrices extrudées en continu lors de la même opération d'extrusion ininterrompue

### **3.3.10**

#### **longueur de fabrication**

longueur d'extrusion totale (ou de parties de celle-ci si elle est découpée), où les éléments constitutants (à l'extérieur de la couche semi-conductrice sur isolant) ont été appliqués

### **3.3.11**

#### **longueur de livraison**

en général, la longueur complète de câble sur touret

### **3.3.12**

#### **jonction sur site**

jonction entre deux câbles complets avec tous les éléments constitutants et dans un état conforme à l'installation sur site dans le système de câble réel

### **3.3.13**

#### **jonction asymétrique**

jonction reliant deux câbles ayant le même système d'isolation, mais de construction différente

Note 1 à l'article: Une jonction asymétrique est, par exemple, une jonction entre des câbles de dimensions différentes de l'âme, de l'enveloppe isolante ou de l'écran

## **4 Désignations des tensions et matériaux**

### **4.1 Tension assignée**

$U_0$  est la tension continue assignée entre l'âme et l'écran ou la gaine métallique, pour laquelle le système de câble est conçu. Elle est utilisée pour déterminer les tensions d'essai en courant continu  $U_T$ ,  $U_{TP1}$  et  $U_{TP2}$ .

### **4.2 (en attente)**

### **4.3 Mélanges isolants pour câbles**

La présente norme s'applique aux câbles isolés au moyen des mélanges énumérés dans le Tableau 1. Elle 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.

Pour les mélanges isolants ne figurant pas dans cette liste, le programme d'essai relatif à tous les essais non électriques sur les mélanges isolants doit faire l'objet d'un accord entre le fabricant et le client.

## 4.4 Écrans et gaines métalliques pour câbles

### 4.4.1 Généralités

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

- les gaines métalliques,
- les écrans métalliques, tels que décrits dans l'IEC TR 61901:2016, 3.3:
  - les feuilles ou rubans métalliques posés en long et contrecollés à la gaine extérieure,
  - les écrans composites, incluant une nappe de fils d'écran et, en complément, un ruban ou une feuille métallique contrecollé(e) à la gaine extérieure, et jouant le rôle d'une barrière d'étanchéité radiale à l'eau.

Dans tous les cas, il convient que l'écran ou la gaine métallique soit capable de véhiculer la totalité du courant de défaut.

### 4.4.2 Gaine métallique

Une gaine métallique réalisée en plomb ou en aluminium ou leurs alliages, avec ou sans soudure, de surface lisse ou annelée.

### 4.4.3 Construction combinée (CD)

L'écran métallique combine les fonctions électriques et d'étanchéité radiale à l'eau, par différents composants:

- système d'isolation;
- matelas semi-conducteur (gonflable dans l'eau, si nécessaire);
- feuille métallique épaisse, soudée ou collée, destinée à véhiculer tout le courant de court-circuit
  - appliquée, et
  - collée à la gaine extérieure (en général ST<sub>7</sub>).

Une couche de fils peut être ajoutée pour satisfaire à l'exigence de court-circuit. En général, la feuille métallique est constituée d'aluminium, mais le cuivre peut être également utilisé.

### 4.4.4 Construction séparée (SD)

Les fonctions électriques et d'étanchéité radiale à l'eau sont remplies par des composants métalliques différents:

- système d'isolation;
- fils en cuivre ou en aluminium;
- bandes gonflables dans l'eau pour assurer l'étanchéité longitudinale;
- feuille métallique contrecollée, c'est-à-dire par exemple, Al 0,2 mm + revêtement 0,05 mm sur un côté;
- gaine extérieure (en général ST<sub>7</sub>).

Le métal est principalement l'aluminium, le cuivre ou d'autres feuilles métalliques laminées peuvent être utilisés.

## 4.5 Mélanges pour gaines extérieures de câbles

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

- ST<sub>1</sub> et ST<sub>2</sub> à base de chlorure de polyvinyle (PVC);

- ST<sub>3</sub> et ST<sub>7</sub> 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 différents types de matériaux de gainage prévus par la norme sont données dans le Tableau 2.

Pour certaines applications, la gaine extérieure peut être couverte par une couche fonctionnelle (par exemple semi-conductrice).

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

Le câble peut comprendre un système empêchant l'eau de pénétrer longitudinalement entre l'écran sur enveloppe isolante et l'écran ou la gaine métallique, ou de pénétrer dans l'âme.

Des barrières d'étanchéité longitudinale peuvent 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 à l'Annexe E.

En cas d'utilisation de matériaux étanches à l'eau, il est nécessaire de veiller tout particulièrement à ce que ces matériaux ne soient pas préjudiciables aux propriétés de l'enveloppe isolante.

NOTE Un essai de pénétration radiale de l'eau est à l'étude.

## 6 Caractéristiques du câble

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

- a) Le nom du fabricant, le type, la désignation et la date de fabrication ou le code de la date.
- b) La tension assignée  $U_0$  (voir 4.1).
- c) Le type d'âme, son matériau constitutif et sa section nominale, exprimée en millimètres carrés; la constitution de l'âme; la présence éventuelle et la nature des dispositions prises pour assurer une étanchéité longitudinale. Si la section nominale n'est pas conforme à l'IEC 60228, la résistance sous courant continu de l'âme rapportée à une longueur de 1 km et à une température de 20 °C doit être déclarée.
- d) Le matériau et l'épaisseur nominale de l'enveloppe isolante ( $t_n$ ) (voir 3.1 et 4.3).
- 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, de l'écran métallique en construction combinée ou séparée, le cas échéant (la résistance sous tension continue 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, le cas échéant.
- h) Le matériau et l'épaisseur nominale de la gaine extérieure.
- i) Le diamètre nominal de l'âme ( $d$ ).
- j) Le diamètre nominal sur câble complet ( $D$ ).
- k) Le diamètre intérieur nominal ( $d_{ij}$ ) et le diamètre extérieur nominal calculé ( $D_{i0}$ ) de l'enveloppe isolante.

- l) La capacité nominale pour une fréquence comprise entre 49 Hz et 61 Hz, rapportée à une longueur de 1 km, entre l'âme et l'écran ou la gaine métallique:
- m) Le gradient électrique nominal calculé au niveau de l'écran sur âme ( $E_i$ ) et de l'écran sur enveloppe isolante ( $E_o$ ): pour des propriétés constantes des matériaux et sans distorsion de champ due aux charges d'espace (champ de Laplace)

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

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

où

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

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

$D_{io}$  est le diamètre extérieur nominal calculé de l'enveloppe isolante;

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

NOTE En raison de divers effets, le gradient réel dans le câble peut être différent de ce gradient nominal calculé.

- n) Le gradient nominal moyen calculé, qui correspond à la tension assignée  $U_0$  divisée par l'épaisseur nominale de l'enveloppe isolante  $t_n$ .
- o) La différence maximale de température,  $\Delta T_{\max}$ , sur l'enveloppe isolante du câble en régime établi (écrans semi-conducteurs non inclus) à laquelle le câble est destiné à fonctionner.
- p) La température maximale déclarée de l'âme,  $T_{\text{cond,max}}$ , qui est définie par le fabricant du câble et qui ne doit pas être dépassée en fonctionnement. Cette température maximale déclarée de l'âme doit être inférieure ou égale à la température maximale de l'âme spécifique au matériau, indiquée en 4.3.

## 7 Caractéristiques des accessoires

Dans le but de réaliser les essais du système de câble ou des accessoires décrits dans la présente norme et d'enregistrer les résultats, l'accessoire doit être identifié.

Les caractéristiques suivantes doivent être connues ou déclarées:

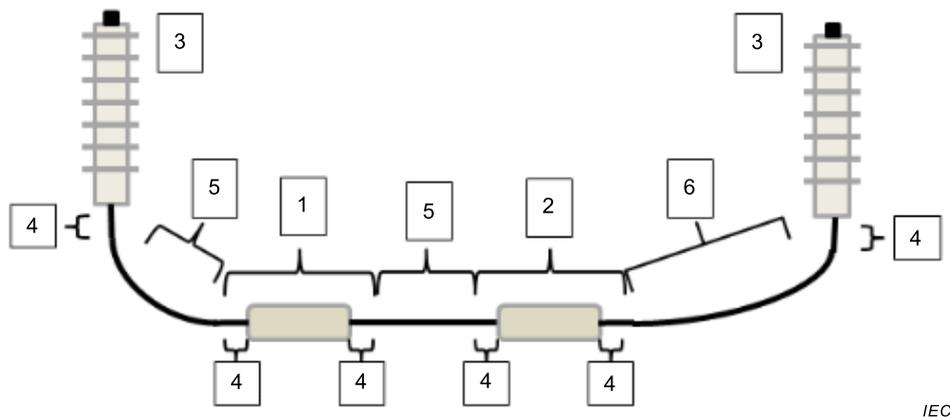
- a) les câbles utilisés pour les essais relatifs aux accessoires doivent être identifiés conformément à l'Article 6;
- b) les raccords de connexion d'âme utilisés dans les accessoires doivent être correctement identifiés, le cas échéant, en ce qui concerne
- la technique de montage,
  - les outils, matrices et matériels nécessaires,
  - la préparation des surfaces de contact,
  - le type, le 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 soumettre aux essais doivent être correctement identifiés en ce qui concerne
- le nom du fabricant,
  - le type, la désignation et la date de fabrication ou le code de la date,
  - la tension assignée (voir l'Article 6, point b) ci-dessus),
  - les instructions de montage (référence et date).

## 8 Objets et conditions d'essai

### 8.1 Définitions relatives aux objets d'essai

Les objets d'essai sont des câbles de transmission et leurs accessoires. Une longueur de câble de 0,5 m d'un côté ou de l'autre de l'accessoire est considérée comme faisant partie de celui-ci à la fois pour la détermination de la longueur de câble soumise à essai et l'attribution de la défaillance entre câble et accessoire, le cas échéant. Le câble de retour est traité à l'Annexe I.

La Figure 1 présente une configuration possible d'objets d'essai dans une boucle d'essai. Des définitions particulières sont données ci-après.



IEC

#### Légende

- 1 Jonction d'objet d'essai
- 2 Facultatif, un ou plusieurs objets d'essai supplémentaires
- 3 Extrémité d'objet d'essai (peuvent être de constructions différentes)
- 4 La longueur de câble de 0,5 m par rapport à l'accessoire est considérée comme faisant partie de celui-ci
- 5 Une longueur de câble de 5 m au minimum entre les accessoires
- 6 Câble d'objet d'essai: 10 m au minimum

**Figure 1 – Exemple de configuration d'objets d'essai dans une boucle d'essai**

### 8.2 Tensions d'essai

- $U_T$  est la tension continue lors de l'essai de type et de l'essai individuel de série. Dans le domaine d'application de la présente norme,  $U_T = 1,85 U_0$ .
- $U_{TP1}$  est la tension continue lors de l'essai de préqualification (essai de cycles de chauffage), de l'essai de type (essai d'inversion de polarité) et de l'essai après pose. Dans le domaine d'application de la présente norme,  $U_{TP1} = 1,45 U_0$ .
- $U_{TP2}$  est la tension continue lors de l'essai de préqualification (essai d'inversion de polarité). Dans le domaine d'application de la présente norme,  $U_{TP2} = 1,25 U_0$ .
- $U_{P1}$  pour l'essai de type, cette tension est égale à 1,15 fois la valeur de crête absolue maximale (Figure 2) de la tension de choc de foudre à laquelle le système de câble peut être soumis lorsque la tension de choc est de polarité opposée par rapport à la tension continue appliquée. Pour l'essai de préqualification, cette tension est égale à  $U_{P1} = 2,1 U_0$ , si nécessaire.
- $U_{P2,S}$  cette tension est égale à 1,15 fois la valeur de crête absolue maximale (Figure 2) de la tension de choc de manœuvre à laquelle le système de câble peut être soumis lorsque la tension de choc a la même polarité que la tension continue appliquée.

$U_{P2,O}$  pour l'essai de type, cette tension est égale à 1,15 fois la valeur de crête absolue maximale (Figure 2) de la tension de choc de manœuvre à laquelle le système de câble peut être soumis lorsque la tension de choc est de polarité opposée par rapport à la tension continue appliquée.

Pour l'essai de préqualification, cette tension est égale à  $U_{P2,O} = 1,2 U_0$ .

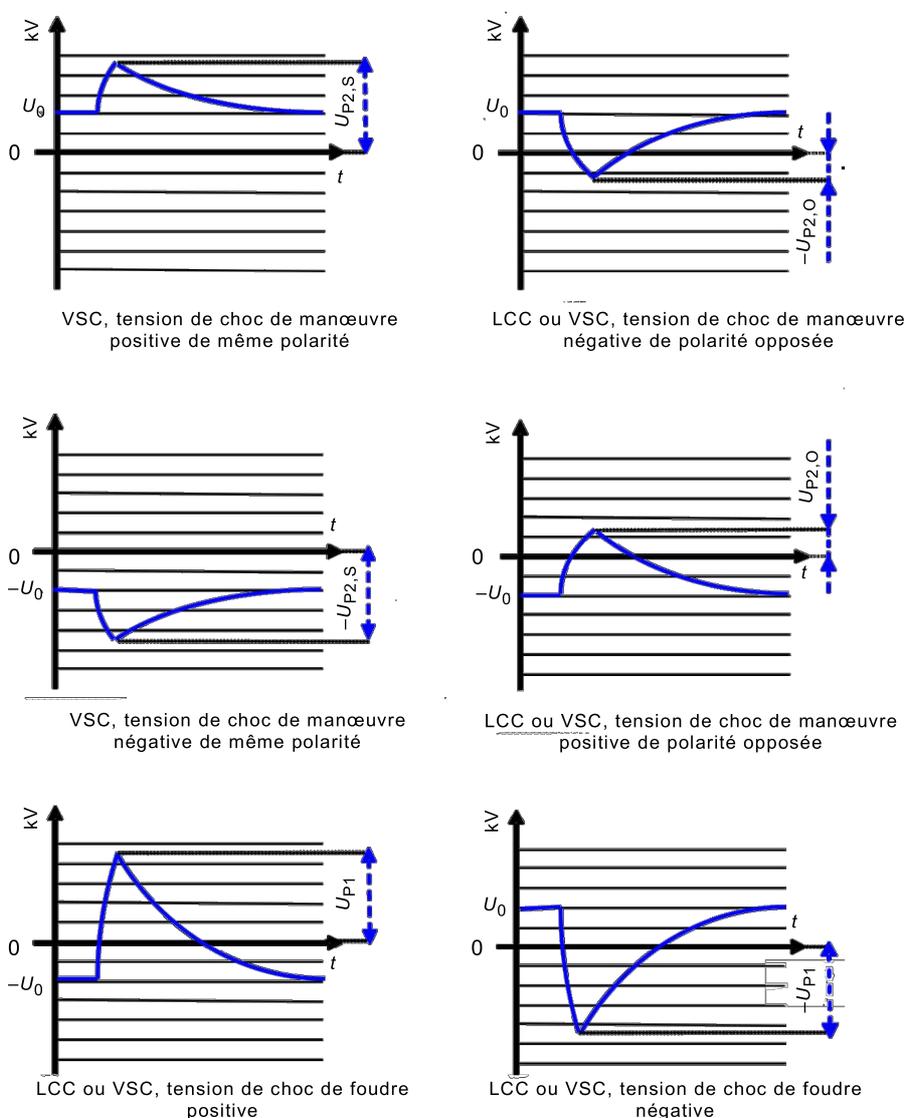
$U_{RC,AC}$  est la tension de crête maximale à laquelle un câble de retour peut être soumis en raison d'une surtension alternative amortie temporaire. Cette tension est généralement induite par un défaut de commutation; il convient que la valeur soit approuvée par le client.

$U_{RC,DC}$  est la tension continue maximale en service normal du câble de retour.

Le taux d'ondulation des tensions d'essai en courant continu ne doit pas être supérieur à 3 %.

Le mesurage doit être effectué à l'aide d'un appareillage conforme à l'IEC 60060-2.

NOTE 1 La base pour le choix des facteurs d'essai est décrite dans la Brochure thématique 496 du CIGRÉ.



**Figure 2 – Représentations schématiques des tensions de choc de manœuvre et de choc de foudre**

NOTE 2 En raison des contraintes dans la conception du système en courant continu,  $U_{P2,S}$  n'est pas nécessairement égale à  $U_{P2,O}$ , c'est-à-dire que la tension de choc de même polarité est arrêtée par des parafoudres, mais que la tension de choc de polarité inverse peut être limitée par le convertisseur.

### 8.3 Conditions thermiques

La méthode de chauffage utilisée ne doit entraîner que le chauffage de l'âme. Le chauffage peut être effectué à l'aide d'un courant continu ou alternatif, éventuellement en combinaison avec une isolation thermique externe. La température de l'âme, la température extérieure du câble sur la gaine extérieure et la température ambiante doivent être mesurées et consignées pendant toute la durée des essais. Les températures  $\Delta T_{\max}$  et  $T_{\text{cond}}$  réelles au cours des essais doivent être démontrées (voir Annexe A).

NOTE 1 La tolérance type de  $T_{\text{cond}}$  est  $-0 \text{ K} +5 \text{ K}$ , mais des cycles de chauffage avec des valeurs plus élevées sont acceptés.

NOTE 2 La différence de température  $\Delta T_{\max}$  peut être calculée à partir de la température mesurée de l'âme et de la température mesurée sur la surface extérieure de l'écran sur enveloppe isolante.

Cycles de chauffage (HC)	<p>Les cycles de chauffage comprennent une période de chauffage et une période de refroidissement.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les cycles de chauffage de «24 heures» (pour les essais de préqualification et les essais de type) comprennent une période d'au moins 8 h de chauffage suivie d'une période d'au moins 16 h de refroidissement naturel. Pendant au moins les deux dernières heures de la période de chauffage, la température de l'âme <math>\geq T_{\text{cond,max}}</math> et une différence de température à travers l'enveloppe isolante <math>\geq \Delta T_{\text{max}}</math> doivent être maintenues. Pour l'essai de type, la température de l'âme avant le début du cycle de chauffage suivant ne doit pas être supérieure à la température ambiante + 15 K; cette valeur doit être inférieure à 45 °C.</li> <li>• Les cycles de chauffage de «48 heures» (pour l'essai de type uniquement) comprennent une période d'au moins 24 h de chauffage suivie d'une période d'au moins 24 h de refroidissement naturel. Pendant au moins les 18 dernières heures de la période de chauffage, la température de l'âme <math>\geq T_{\text{cond,max}}</math> et une différence de température à travers l'enveloppe isolante <math>\geq \Delta T_{\text{max}}</math> doivent être maintenues. La température de l'âme avant le début du cycle de chauffage suivant ne doit pas être supérieure à la température ambiante + 15 K; cette valeur doit être inférieure à 45 °C. Les cycles de chauffage de «48 heures» sont uniquement requis lors de la procédure d'essai de type pour s'assurer que l'inversion du gradient électrique a bien progressé au cours du cycle.</li> </ul>
Chauffage continu (CH)	<p>Durant les huit premières heures de la période de chauffage continu, une température de l'âme <math>\geq T_{\text{cond,max}}</math> et une différence de température à travers l'enveloppe isolante <math>\geq \Delta T_{\text{max}}</math> doivent être atteintes et maintenues jusqu'à la fin de cette période.</p> <p>Si, pour des raisons pratiques, les températures spécifiées ne peuvent pas être atteintes au cours des 8 premières heures, une durée plus longue peut être utilisée. Cette durée supplémentaire ne doit pas être considérée comme faisant partie de la période d'essai.</p>
Pas de chauffage (ZH)	Aucun chauffage n'est appliqué.
Essai aux ondes de choc	La température de l'âme $\geq T_{\text{cond,max}}$ et la différence de température à travers l'enveloppe isolante $\geq \Delta T_{\text{max}}$ doivent être atteintes pendant au moins 10 h avant l'application des tensions de choc (tensions de choc, de choc de manœuvre et de choc de foudre superposées) et doivent être maintenues pendant toute la durée de l'essai.
Température ambiante	Sauf spécification contraire dans les détails relatifs à l'essai particulier, les essais doivent être effectués à une température ambiante de $(20 \pm 15)$ °C.

#### 8.4 Essai d'inversion de polarité

Les conditions de tension et de température sont définies respectivement en 8.2 et 8.3. En partant d'une tension positive, la polarité de la tension doit être inversée trois fois au cours de chaque cycle de chauffage de «24 heures» (réparties uniformément) et une inversion doit coïncider avec l'interruption du courant de chauffage au cours de chaque cycle de chauffage de «24 heures». La durée recommandée pour une inversion de polarité est inférieure ou égale à deux minutes.

Si, pour des raisons pratiques, les inversions de polarité ne peuvent pas avoir lieu dans un délai de deux minutes, la durée pour les inversions de polarité doit être convenue entre le client et le fournisseur.

## **8.5 Essai de tensions de choc superposées**

### **8.5.1 Généralités**

Avant d'appliquer la première tension de choc de chaque essai, l'objet d'essai doit être chauffé de sorte que les conditions de température en régime établi définies en 8.3 (CH) soient obtenues pendant au moins 10 h et que l'objet d'essai ait été soumis à la tension  $U_0$  (avec la polarité appropriée) pendant au moins 10 h. En cas d'interruptions de la tension continue pendant moins de 5 minutes, il n'est pas nécessaire que la durée totale d'application de la tension continue soit prolongée. Toutefois, en cas d'interruption de la tension continue pendant environ 5 minutes à 90 minutes au maximum, la tension continue doit être réappliquée et la durée totale d'application de la tension continue doit être prolongée de 120 minutes. Ces conditions ont été choisies dans le but de refléter la dynamique électrique présente dans les enveloppes isolantes extrudées utilisées pour des applications CCHT. Les tensions de choc superposées doivent être appliquées conformément à la procédure décrite dans l'IEC 60230.

### **8.5.2 Tension de choc de foudre superposée**

La forme d'onde de la tension d'essai doit être conforme à l'IEC 60230.

### **8.5.3 Tension de choc de manœuvre superposée**

La forme d'onde de la tension d'essai doit être conforme à l'IEC 60230.

## **8.6 Relation entre tensions d'essai et tensions assignées**

Les tensions d'essai sont spécifiées dans cette norme comme étant des multiples de la tension assignée  $U_0$ .

## **8.7 Détermination de la température de l'âme du câble**

La méthode d'essai décrite à l'Annexe A doit être utilisée pour déterminer la température réelle de l'âme.

## **8.8 Période de repos**

Entre les périodes d'essai avec une tension continue de polarité inverse, il convient que le câble soit exposé à une période de repos. Au cours de cette période, le câble est d'abord déchargé, puis aucune tension n'est appliquée pendant une période de chauffage continu, jusqu'à une température d'âme  $\geq T_{\text{cond,max}}$  et une différence de température à travers l'enveloppe isolante  $\geq \Delta T_{\text{max}}$  pendant une période d'au moins 24 h. Il convient que l'âme soit raccordée à la terre pendant au moins 8 h durant cette période de repos de 24 h.

Cela ne doit pas être appliqué lors de l'essai d'inversion de polarité du convertisseur commuté par le réseau (LCC).

Pendant la période de repos, il est possible de nettoyer la surface extérieure des extrémités du câble.

Il convient que le câble soit déchargé à l'aide d'une résistance de décharge dimensionnée de manière à éviter une variation rapide de la tension.

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

### 9.1 Généralités

Les essais suivants doivent être effectués sur chaque longueur de câble fabriquée et sur chaque accessoire livré.

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

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

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

- 1) sur l'isolation principale des accessoires préfabriqués 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 de gradient 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 gradients 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. Parmi les exemples, il est possible de citer 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'une enveloppe isolante ou d'un écran des accessoires.

### 9.2 Essai de tension

Chaque longueur de câble livrée et chaque accessoire préfabriqué individuel doit être soumis à une tension continue négative égale à la tension,  $U_T$ , définie pour le cycle d'essai de chauffage et appliquée entre une âme et un écran ou une gaine métallique pendant 1 h à température ambiante.

Si cela est approprié, il est recommandé d'effectuer un essai de tension en courant alternatif combiné à une mesure des décharges partielles. Les paramètres d'essai doivent être convenus entre le fabricant et le client.

Aucun claquage de l'enveloppe isolante ne doit avoir lieu.

### 9.3 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 dans l'IEC 60229:2007, 3.1.

## 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/gaine 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 et en EPR (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 de tension de choc (voir 10.12);
- j) essai de pénétration d'eau, si applicable (voir 10.13);
- k) essais d'adhérence et de résistance au décolllement des constituants de câbles comportant une feuille métallique posée en long et contrecollée à la gaine extérieure (voir 10.14).

En cas d'utilisation d'un mélange isolant ne figurant pas au Tableau 1, les exigences relatives aux essais non électriques énoncés aux points f) et h) doivent faire l'objet d'un accord entre le fabricant et le client.

## 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 livraison prise dans chaque lot de fabrication de câbles de même type et de même section, le nombre de longueurs de livraison 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 atteignant 20 km et un essai supplémentaire doit être effectué tous les 50 km supplémentaires de câble à la livraison.

## 10.3 Répétition des essais

Si l'un des échantillons choisis ne satisfait pas à l'un des essais énumérés à l'Article 10, de nouveaux échantillons doivent être prélevés sur deux autres longueurs de câble du même lot et soumis aux mêmes essais que ceux durant lesquels l'échantillon d'origine n'a pas donné de résultats satisfaisants. Si ces deux longueurs ont satisfait aux essais, les autres câbles du lot dans lequel ces longueurs ont été prélevées doivent être considérés comme conformes aux exigences de cette norme. Si l'une ou l'autre des longueurs est défectueuse, ce lot de câbles doit être considéré comme non conforme.

## 10.4 Examen de l'âme

La conformité aux exigences de l'IEC 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/la gaine métallique

La longueur de câble complète, ou un échantillon prélevé dans celle-ci, doit être placé(e) dans le local d'essai maintenu à une température sensiblement constante pendant au moins 12 h avant l'essai. Si l'on n'est pas sûr que la température de l'âme ou de l'écran métallique est égale à la température du local, la résistance doit être mesurée après un séjour du câble pendant au moins 24 h dans le local d'essai. En variante, la résistance peut être mesurée sur un échantillon d'âme ou d'écran métallique conditionné pendant au moins 1 h dans un bain de liquide à température régulée.

La résistance sous courant continu de l'âme ou de l'écran métallique doit être rapportée à une température de 20 °C et à une longueur de 1 km conformément aux formules et facteurs donnés dans l'IEC 60228. Pour des écrans en matériaux autres que le cuivre ou l'aluminium,

les coefficients de température et les formules de correction doivent être respectivement pris dans le Tableau 1 et dans l'IEC 60287-1-1:2006, 2.1.1.

La résistance sous courant continu de l'âme rapportée à 20 °C ne doit dépasser ni la valeur maximale appropriée spécifiée dans l'IEC 60228 ni la valeur déclarée.

La résistance sous courant continu de l'écran métallique rapportée à 20 °C ne doit pas dépasser 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 l'IEC 60811-201 pour l'enveloppe isolante et à l'IEC 60811-202 pour la gaine.

Chaque longueur de câble choisie pour l'essai doit être 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:

$$\frac{t_{\max} - t_{\min}}{t_{\max}} \leq 0,10$$

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 sur enveloppe isolante ne doit pas être incluse dans l'épaisseur de l'enveloppe isolante.

### 10.6.3 Exigences relatives à la gaine extérieure du câble

La plus faible épaisseur mesurée ne doit pas être inférieure de plus de 0,1 mm à 85 % de la valeur nominale:

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

où

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

$t_n$  est l'épaisseur nominale, en millimètres.

De plus, pour les gaines extérieures 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 extérieures 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

### 10.7.1 Gaine en plomb ou en alliage de plomb

#### 10.7.1.1 Généralités

Lorsque le câble comporte une gaine en plomb ou en alliage de plomb, l'épaisseur minimale de la gaine métallique ne doit pas être inférieure de plus de 0,1 mm, à 95 % de l'épaisseur nominale:

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

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

#### 10.7.1.2 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 effectuée sur une éprouvette de gaine en plomb de 50 mm de longueur environ, prélevée sur le câble complet. L'éprouvette doit être fendue longitudinalement, puis soigneusement redressée. Après nettoyage de l'éprouvette, son épaisseur doit être mesurée le long de la périphérie de la gaine en plomb, à au moins 10 mm du bord de l'éprouvette redressée, en un nombre de points suffisamment grand pour être sûr que l'épaisseur minimale est mesurée.

#### 10.7.1.3 Méthode de l'anneau

Les mesures doivent être effectuées 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 effectuées sur un anneau de gaine en plomb 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

L'épaisseur minimale de la gaine ne doit pas être inférieure de plus de 0,1 mm à 90 % de l'épaisseur nominale, pour une gaine lisse en aluminium:

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

et de plus de 0,1 mm à 85 % de l'épaisseur nominale, pour une gaine ondulée en aluminium:

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

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 en aluminium 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 exige que le diamètre du conducteur et/ou le diamètre extérieur du câble soient mesurés, les mesures doivent être effectuées conformément à l'IEC 60811-203.

## **10.9 Essai d'allongement à chaud des enveloppes isolantes en PR et en EPR**

### **10.9.1 Mode opératoire**

L'échantillonnage et la méthode d'essai doivent être conformes à l'IEC 60811-507, les conditions d'essai étant celles données au Tableau 3.

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 polymérisation utilisé.

### **10.9.2 Exigences**

Les résultats de l'essai doivent satisfaire aux exigences du Tableau 3.

## **10.10 Mesure de la capacité**

La capacité doit être mesurée, à une fréquence comprise entre 49 Hz et 61 Hz, entre l'âme et l'écran ou la gaine métallique à la température ambiante, cette dernière devant être enregistrée en même temps que les valeurs mesurées.

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

## **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 décrits dans l'IEC 60811-606.

### **10.11.2 Exigences**

Les résultats de l'essai doivent satisfaire aux exigences du Tableau 3.

## **10.12 Essai de tension de choc**

L'essai doit être effectué sur un câble complet d'au moins 10 m de longueur, en excluant les accessoires d'essai, l'âme étant à une température comprise entre 0 K et 5 K au-dessus de la température maximale de l'âme en service normal.

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

Si, pour des raisons pratiques, la température d'essai ne peut être atteinte, une isolation thermique supplémentaire peut être appliquée.

La tension d'essai doit être appliquée

- soit en tant que tension de choc de foudre, celle-ci étant calculée comme la somme des modules de  $U_0$  et de la tension de choc de foudre superposée spécifiée,  $U_{P1}$ ,
- soit en tant que tension de choc de manœuvre à la tension correspondant à la somme des modules de  $U_0$  et de la tension de choc de manœuvre de polarité inverse requise  $U_{P2,0}$ , si la tension de choc de foudre n'est pas spécifiée dans le projet particulier.

En variante, elle peut être appliquée en tant que tension de choc superposée selon 12.4.5.

Le câble doit résister, sans claquage, à 10 chocs positifs et à 10 chocs négatifs de tension de valeur appropriée.

Aucun claquage de l'enveloppe isolante ne doit avoir lieu.

### 10.13 Essai de pénétration d'eau

Si cet essai est prescrit, des échantillons de câble complet doivent être prélevés et soumis à cet essai et les exigences doivent être satisfaites conformément à l'Annexe E.

### 10.14 Essais d'adhérence et de résistance au décollement de la feuille métallique

Pour des câbles comportant une feuille métallique posée en long et contrecollée à la gaine extérieure, un échantillon de 1 m doit être prélevé sur le câble complet et soumis aux essais et exigences du 12.4.3.

## 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 particulier, soit par des essais internes.

Le fabricant d'un accessoire particulier 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. Aucun écart par rapport aux tolérances déclarées ne doit être admis.

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 soumise à un essai individuel de série (voir 9.1), l'essai de tension (voir 9.2) doit être effectué par le fabricant sur un accessoire complètement monté.

NOTE Parmi les exemples d'isolations principales ne pouvant pas être soumises à des essais individuels de série, il est possible de citer les isolations rubanées et/ou moulées sur place.

Ces essais doivent être effectués sur un accessoire de chaque type par contrat, si le contrat porte sur la fourniture de plus de 50 accessoires.

Si un échantillon d'accessoire ne satisfait pas à l'un des deux essais ci-dessus, deux autres échantillons du même type d'accessoire doivent être prélevés et soumis aux mêmes essais. Si les deux échantillons supplémentaires satisfont aux essais, les autres accessoires du même type figurant au contrat doivent être considérés comme conformes aux exigences de la présente norme. Si l'un des deux échantillons ne satisfait pas aux essais, ce type d'accessoire du contrat doit être considéré comme non conforme.

## 12 Essais de type des systèmes de câble

### 12.1 Généralités

Les essais spécifiés dans l'Article 12 ont pour but de démontrer le comportement satisfaisant des systèmes de câble.

Les références des paragraphes à considérer pendant un essai de type des systèmes de câbles sont données au Tableau C.1.

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

### 12.2 Étendue de l'acceptation de type

Lorsque les essais de type ont été réalisés avec succès sur un ou plusieurs systèmes de câbles de sections spécifiques et de tensions assignées et de constitutions identiques, l'acceptation de type doit être considérée comme valable pour les systèmes de câbles couverts par le domaine d'application de la présente norme avec d'autres sections, tensions assignées et constitutions si toutes les conditions de a) à h) sont remplies.

- a) Les constructions, matériaux, procédés de fabrication et conditions de service pour le système de câble sont en tous points essentiels identiques.
- b) Toutes les tensions de service,  $U_0$ ,  $U_{P1}$ ,  $U_{P2,S}$  et  $U_{P2,O}$ , sont inférieures ou égales à celles du système de câble soumis à essai.
- c) La température maximale de service de l'âme,  $T_{\text{cond,max}}$ , est inférieure ou égale à celle du système de câble soumis à essai.
- d) La différence maximale de température à travers la couche d'enveloppe isolante  $\Delta T_{\text{max}}$  (écrans semi-conducteurs non compris) est inférieure ou égale à celle du système de câble soumis à essai.
- e) La section réelle de l'âme n'est pas supérieure à celle du système de câble soumis à essai.
- f) Le gradient électrique moyen calculé dans l'enveloppe isolante (donné par  $U_0$  divisée par l'épaisseur nominale de l'enveloppe isolante) est inférieur ou égal à celui du système soumis à essai.
- g) Le gradient électrique de Laplace calculé (en utilisant les dimensions nominales), au niveau de l'âme du câble et de l'écran sur enveloppe isolante, est inférieur ou égal à celui du système soumis à essai.
- h) Un système de câble qualifié, selon la présente norme, pour un convertisseur commuté par le réseau (LCC), est également qualifié pour un convertisseur source de tension (VSC), à condition que soient réalisés les essais de tenue aux tensions de choc superposées, à des niveaux de tension de  $\pm U_{P2,S}$  tels que spécifiés en 12.4.5.3. Un système de câble qualifié, selon la présente norme, pour un convertisseur source de tension (VSC), n'est pas forcément qualifié pour un convertisseur commuté par le réseau (LCC).

NOTE 1 Les essais de type qui ont été réalisés conformément aux recommandations d'essai BT 219 et BT 496 du CIGRÉ restent valables.

NOTE 2 Pour plus de clarté, les conditions relatives à l'étendue de l'acceptation de type n'impliquent pas la prise en compte des champs électriques continus. Lors de la conception de systèmes de câbles en courant continu, les champs électriques continus constituent des critères de conception critiques. Le fournisseur a une connaissance détaillée des champs électriques continus dans le système de câble (câble et accessoires) dans toutes les conditions de fonctionnement. De plus, le fournisseur est en mesure de présenter un dossier détaillé lorsque le client lui en fait la demande.

Les essais de type non électriques 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 ou des procédés de fabrication 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 l'IEC 62067) si la combinaison des matériaux appliqués au-dessus du conducteur isolé est différente de celle du câble qui a été précédemment soumis aux essais de type.

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 Récapitulatif 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 énumérés au Tableau 4, qui indique les essais applicables à chaque type de matériau d'enveloppe isolante et de gaine extérieure.

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 minimale de câble entre accessoires doit être de 5 m, comme représenté à la Figure 1.

Chaque longueur de câble utilisée pour la boucle d'essai de type doit être soumise à un essai d'enroulement conformément au 12.4.3 avant de commencer les essais de type. Les accessoires doivent être montés après l'essai d'enroulement du câble.

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 n'est pas spécifié dans les instructions du fabricant et qui est susceptible de modifier les performances électriques, thermiques ou mécaniques.

La mesure de la résistivité des écrans semi-conducteurs décrite en 12.4.7 doit être effectuée sur un échantillon distinct.

## **12.4 Essais électriques de type 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 dans l'IEC 60811-201, sur un tronçon représentatif de la longueur de câble devant être utilisée pour les essais, 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 avoir les valeurs spécifiées en 8.2 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 10 %, la tension d'essai doit être ajustée de sorte qu'un gradient électrique moyen dans l'enveloppe isolante (donné par  $U_0$  divisée par l'épaisseur réelle de

l'enveloppe isolante) 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 de l'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 10 %.

#### 12.4.2 Essais et séquence d'essais

Les essais de a) à h) doivent être effectués en respectant l'ordre suivant:

- a) Essai d'enroulement du câble (voir 12.4.3) suivi de l'inspection visuelle et de l'installation des accessoires.
- b) Une tension continue de 8 kV par millimètre d'épaisseur nominale spécifiée de gaine extérieure extrudée doit être appliquée pendant 1 min entre la couche de métal sous-jacente à polarité négative et la couche conductrice extérieure, sous réserve d'une tension maximale de 25 kV. Aucun claquage de la gaine extérieure ne doit avoir lieu au cours de l'essai.

NOTE 1 La couche conductrice extérieure peut être constituée d'une couche conductrice appliquée à la gaine extérieure extrudée ou d'une électrode de terre auxiliaire appliquée pendant toute la durée de cet essai.

- c) Essai de cycles de chauffage sous tension (voir 12.4.4).
- d) Essai de tension de choc de manœuvre superposée (voir 12.4.5.2 et 12.4.5.3).
- e) Essai de tension de choc de foudre superposée (voir 12.4.5.4).
- f) Essai subséquent sous tension continue (voir 12.4.5.5).
- g) Essais de la protection extérieure des jonctions (voir Annexe H).

NOTE 2 Ces essais peuvent être réalisés sur une jonction qui a satisfait à l'essai du point c), à l'essai de cycles de chauffage sous tension, ou sur une jonction distincte qui a subi avec succès au moins trois cycles thermiques.

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 décrits en H.3 et H.4.2 peuvent être omis.

- h) Examen du système de câble comprenant le câble et les accessoires, à l'issue des essais ci-dessus (voir 12.4.6).
- i) La mesure de la résistivité des écrans semi-conducteurs (voir 12.4.7) doit être réalisée sur un échantillon distinct.

Les tensions d'essai doivent être conformes aux valeurs données en 8.2.

#### 12.4.3 Essai d'enroulement

##### 12.4.3.1 Conditions d'essai

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. L'échantillon doit ensuite subir une rotation de 180° et le processus doit être répété.

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 comportant une feuille métallique posée en long et contrecollée à la gaine extérieure:
  - $20 (D + d) + 5 \%$  pour construction combinée (CD);
  - $25 (D + d) + 5 \%$  pour constructions séparée (SD) et combinée (CD) + fils;
- pour les câbles sous gaine lisse en aluminium:

- $36(d + D) + 5\%$  pour les câbles monoconducteurs;
- pour les câbles à gaine en plomb, en alliage de plomb, à gaine métallique ondulée:
  - $25(d + D) + 5\%$  pour les câbles monoconducteurs;
- pour les autres câbles:
  - $20(d + D) + 5\%$  pour les câbles monoconducteurs;

où

$d$  est le diamètre nominal de l'âme, en millimètres (voir l'Article 6, point i));

$D$  est le diamètre nominal extérieur du câble, en millimètres (voir l'Article 6, point j)).

#### 12.4.3.2 Examen

À l'issue de l'essai d'enroulement, un échantillon de 3 m de long doit être examiné. Aucune détérioration ne doit être observée et, dans le cas des constructions CD et SD, aucun détachement ni pliage de la feuille métallique contrecollée à la gaine extérieure, ni aucun flambage ni croisement des fils d'écran ne doivent être observés.

Dans le cas des constructions CD et SD, les essais d'adhérence et de résistance au décollement (voir Annexe F) doivent être conformes aux exigences du Tableau 5.

Une tolérance négative n'est pas spécifiée, mais il convient que des essais à des diamètres inférieurs aux valeurs spécifiées ne soient réalisés qu'avec l'accord du fabricant et du client.

#### 12.4.4 Essai de cycles de chauffage sous tension

##### 12.4.4.1 Généralités

Le câble doit être courbé en forme de U selon le diamètre spécifié en 12.4.3.

Si la boucle d'essai est constituée de câbles de constructions différentes reliées à une jonction asymétrique, chaque construction de câble est alors qualifiée par rapport aux conditions thermiques effectives ( $T_{\text{cond,max}}$  et  $\Delta T_{\text{max}}$ ) et la jonction asymétrique est qualifiée par rapport à la température plus élevée.

NOTE Cela signifie que le câble situé d'un côté de la jonction de transition soumise à essai peut ne pas avoir été qualifié durant cet essai par rapport à sa température maximale dans le système.

Les conditions de température sont définies en 8.3.

Après toute interruption due à des facteurs externes, il est possible de reprendre l'essai. Si l'interruption dure moins de 30 min, les cycles de chauffage spécifiques doivent être repris au point du cycle auquel l'interruption a eu lieu et le cycle reste valable sous réserve que les exigences de température soient satisfaites. Si l'interruption dure plus de 30 min, le cycle de chauffage spécifique doit être repris depuis le début. Si l'interruption dure plus de 24 h, l'ensemble de la sous-séquence d'essai (tous les cycles de chauffage de «24 heures» sous polarité négative ou positive, tous les cycles de chauffage de «24 heures» avec inversions de polarité, tous les cycles de chauffage de «48 heures» avec polarité positive) doit être repris depuis le début.

En cas de claquage de l'enveloppe isolante, lors de l'essai simultané de plusieurs objets, il est possible de retirer l'objet défectueux et de traiter l'incident comme une interruption. L'objet défectueux est considéré comme n'ayant pas satisfait aux exigences d'essai. Toute défaillance se produisant à une distance inférieure ou égale à 0,5 m par rapport au câble, qui est selon 8.1 une partie de l'accessoire, est considérée comme étant uniquement associée à l'accessoire en question.

Si des écarts par rapport aux paramètres d'essai sont observés au cours d'un cycle de chauffage, celui-ci doit être repris depuis le début.

#### **12.4.4.2 Essai de cycles de chauffage pour système de câble devant être qualifié pour un convertisseur commuté par le réseau (LCC)**

Les objets d'essai doivent être soumis aux conditions (les définitions des cycles de chauffage de «24 heures» et des cycles de chauffage de «48 heures» sont décrites en 8.3) spécifiées au Tableau 6.

Une polarité positive a été choisie pour les cycles de chauffage de «48 heures» car elle est censée représenter la condition la plus contraignante pour les accessoires.

#### **12.4.4.3 Essai de cycles de chauffage pour système de câble devant être qualifié pour un convertisseur de source de tension (VSC)**

Les objets d'essai doivent être soumis aux cycles de chauffage selon le Tableau 7.

Une polarité positive a été choisie pour les cycles de chauffage de «48 heures» car elle est censée représenter la condition la plus contraignante pour les accessoires.

### **12.4.5 Essai de tension de choc superposée**

#### **12.4.5.1 Généralités**

L'essai de tension de choc superposée doit être effectué sur des objets d'essai ayant subi avec succès l'essai de cycles de chauffage.

Un écart de la séquence pour effectuer les essais de tension de choc superposée et de tension de choc de foudre avec la même polarité en courant continu dans un bloc est accepté.

Les essais doivent être réalisés par rapport aux exigences suivantes:

- La température de l'âme doit être supérieure ou égale à  $T_{\text{condmax}}$ , la différence de température à travers l'enveloppe isolante étant supérieure ou égale à  $\Delta T_{\text{max}}$ .

Ces conditions thermiques doivent être appliquées pendant une durée minimale de 10 h avant les essais; par ailleurs, ces conditions doivent être maintenues pendant toute la durée de l'essai de choc.

Au cours de la période de 10 h avant l'application de la première onde de choc, une tension continue  $U_0$  ayant la polarité de la tension continue de l'essai de tension de choc superposée suivant, doit être appliquée entre l'âme et l'écran métallique, ce dernier étant relié à la terre. Le signe de la polarité est rapporté à la tension de l'âme par rapport à la terre. La tension continue doit être maintenue pendant l'application des tensions de choc.

En cas de claquage de l'enveloppe isolante, lors de l'essai simultané de plusieurs objets, il est possible de retirer l'objet défectueux et de traiter l'incident comme une interruption. L'objet défectueux est considéré comme n'ayant pas satisfait aux exigences d'essai. Toute défaillance se produisant à une distance inférieure ou égale à 0,5 m par rapport à un objet d'essai, par exemple un accessoire, est considérée comme étant uniquement associée à l'objet en question.

Si des écarts par rapport aux paramètres d'essai sont observés au cours de l'essai de tension de choc superposée, l'essai de tension de choc superposée en question doit être repris depuis le début.

Le mode opératoire d'essai est décrit en 8.5.

#### **12.4.5.2 Essai de tenue à la tension de choc de manœuvre superposée pour un système de câble devant être qualifié pour un convertisseur commuté par le réseau (LCC)**

Les définitions des différents niveaux de tension sont données en 8.2.

L'essai doit être effectué comme indiqué au Tableau 8.

L'intervalle de temps entre deux tensions de choc successives ne doit pas être inférieur à deux minutes.

La forme d'onde de la tension d'essai doit être conforme à l'IEC 60230.

Aucun claquage de l'enveloppe isolante, ni contournement le long des extrémités du câble ne doit avoir lieu.

#### **12.4.5.3 Essai de tenue à la tension de choc de manœuvre superposée pour un système de câble devant être qualifié pour un convertisseur de source de tension (VSC)**

Les définitions des différents niveaux de tension sont données en 8.2.

L'essai doit être effectué comme indiqué au Tableau 9.

L'intervalle de temps entre deux tensions de choc successives ne doit pas être inférieur à deux minutes.

La forme d'onde de la tension d'essai doit être conforme à l'IEC 60230.

Aucun claquage de l'enveloppe isolante, ni contournement le long des extrémités du câble ne doit avoir lieu.

#### **12.4.5.4 Essai de tenue à la tension de choc de foudre superposée**

Si l'installation prévue du système de câble est telle que celui-ci n'est pas exposé aux coups de foudre (directs ou indirects), il n'est pas nécessaire d'effectuer cet essai.

Vingt tensions de choc doivent être appliquées comme spécifié au Tableau 8 et au Tableau 9.

L'intervalle de temps entre deux tensions de choc successives ne doit pas être inférieur à deux minutes.

La forme d'onde de la tension d'essai doit être conforme à l'IEC 60230.

Aucun claquage de l'enveloppe isolante, ni contournement le long des extrémités du câble ne doit avoir lieu.

#### **12.4.5.5 Essai subséquent sous tension continue**

Après avoir subi avec succès les essais de tensions de choc superposées, l'objet d'essai doit être soumis pendant 2 h à une tension continue négative  $U_T$ . À la discrétion du fabricant, cet essai peut être effectué soit pendant la période de refroidissement, soit à la température ambiante.

Une période de repos est admise avant cet essai.

Aucun claquage de l'enveloppe isolante ne doit avoir lieu.

## 12.4.6 Examen

### 12.4.6.1 Échantillons de câble

Trois échantillons de câble, chacun d'une longueur de 1 m environ et prélevés dans la boucle complète préalablement soumise aux essais, doivent faire l'objet d'un examen. Deux échantillons doivent être prélevés dans la partie incurvée de la boucle et un échantillon dans une partie rectiligne.

### 12.4.6.2 Examen du câble et des accessoires

L'examen en vision normale ou corrigée sans grossissement de l'échantillon de 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.

### 12.4.6.3 Câbles comportant un ruban ou une feuille métallique posé(e) en long et contrecollé(e) à la gaine extérieure

Un des échantillons d'une longueur de 1 m prélevé dans la partie incurvée de la boucle de l'essai de type et utilisé pour l'examen décrit en 12.4.6.2, doit être soumis à l'examen décrit en 12.4.3.2.

## 12.4.7 Résistivité des écrans semi-conducteurs

### 12.4.7.1 Généralités

La mesure de la résistivité des écrans semi-conducteurs du câble doit être réalisée sur un échantillon distinct.

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 12.5.5, destiné à vérifier la compatibilité des matériaux constitutifs.

### 12.4.7.2 Mode opératoire

Le mode opératoire d'essai doit être conforme à l'Annexe D.

Les mesures doivent être effectuées à la température maximale de l'âme en service normal, à  $\pm 2$  K près.

### 12.4.7.3 Exigences

Avant et après vieillissement, la résistivité ne doit pas être supérieure aux valeurs suivantes:

- écran sur âme:  $1\,000\ \Omega \cdot \text{m}$ ;
- écran sur enveloppe isolante:  $500\ \Omega \cdot \text{m}$ .

## 12.5 Essais non électriques de type sur les constituants du câble et sur câble complet

### 12.5.1 Généralités

Les essais sont les suivants:

- a) vérification de la constitution du câble (voir 12.5.2);
- b) détermination des propriétés mécaniques des enveloppes isolantes avant et après vieillissement (voir 12.5.3);

- c) détermination des propriétés mécaniques des gaines extérieures avant et après vieillissement (voir 12.5.4);
- d) essais de vieillissement sur tronçons de câble complet pour vérifier la compatibilité des matériaux (voir 12.5.5);
- e) essai de perte de masse pour les gaines extérieures en PVC du type ST<sub>2</sub> (voir 12.5.6);
- f) essai de pression à température élevée pour les gaines extérieures (voir 12.5.7);
- g) essai à basse température pour les gaines extérieures en PVC (ST<sub>1</sub> et ST<sub>2</sub>) (voir 12.5.8);
- h) essai de choc thermique pour les gaines extérieures en PVC (ST<sub>1</sub> et ST<sub>2</sub>) (voir 12.5.9);
- i) essai de résistance à l'ozone des enveloppes isolantes en EPR (voir 12.5.10);
- j) essai d'allongement à chaud pour les enveloppes isolantes en EPR et PR (voir 12.5.11);
- k) mesure de la masse volumique des enveloppes isolantes en PEHD (voir 12.5.12);
- l) mesure du taux de noir de carbone des gaines extérieures en PE de couleur noire (ST<sub>3</sub> et ST<sub>7</sub>, voir 12.5.13);
- m) essai des câbles soumis au feu (voir 12.5.14);
- n) essai de pénétration d'eau (voir 12.5.15).

En cas d'utilisation d'un mélange isolant ne figurant pas au Tableau 1, les exigences relatives aux essais non électriques énoncés aux points b), d) et j) doivent faire l'objet d'un accord entre le fabricant et le client.

## **12.5.2 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.

## **12.5.3 Détermination des propriétés mécaniques des enveloppes isolantes avant et après vieillissement**

### **12.5.3.1 Échantillonnage**

L'échantillonnage et la préparation des éprouvettes doivent être effectués conformément à l'IEC 60811-501.

### **12.5.3.2 Traitement de vieillissement**

Le traitement de vieillissement doit être effectué conformément à l'IEC 60811-401, selon les conditions spécifiées au Tableau 10.

### **12.5.3.3 Conditionnement et essais mécaniques**

Le conditionnement et la mesure des propriétés mécaniques doivent être effectués conformément à l'IEC 60811-501.

### **12.5.3.4 Exigences**

Les résultats des essais sur les éprouvettes vieilles et non vieilles doivent satisfaire aux exigences du Tableau 10.

## **12.5.4 Détermination des propriétés mécaniques des enveloppes isolantes avant et après vieillissement**

### **12.5.4.1 Échantillonnage**

L'échantillonnage et la préparation des éprouvettes doivent être effectués conformément à l'IEC 60811-501.

#### **12.5.4.2 Traitement de vieillissement**

Le traitement de vieillissement doit être effectué conformément à l'IEC 60811-401, selon les conditions spécifiées au Tableau 11.

#### **12.5.4.3 Conditionnement et essais mécaniques**

Le conditionnement et la mesure des propriétés mécaniques doivent être effectués conformément à l'IEC 60811-501.

#### **12.5.4.4 Exigences**

Les résultats des essais sur les éprouvettes vieilles et non vieilles doivent satisfaire aux exigences du Tableau 11.

### **12.5.5 Essais de vieillissement sur tronçons de câble complet pour vérifier la compatibilité des matériaux**

#### **12.5.5.1 Généralités**

L'essai de vieillissement sur tronçons de câble complet 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 de manière exagérée en service du fait du contact avec les autres constituants du câble.

L'essai est applicable à tous les types de câbles.

#### **12.5.5.2 Échantillonnage**

Les échantillons destinés à l'essai sur l'enveloppe isolante et sur la gaine extérieure doivent être prélevés sur le câble complet conformément à l'IEC 60811-401.

#### **12.5.5.3 Traitement de vieillissement**

Le traitement de vieillissement des tronçons de câble doit être effectué dans une étuve à air, conformément à l'IEC 60811-401, dans les conditions suivantes:

- température:  $(10 \pm 2)$  K au-dessus de la température maximale de l'âme pour le matériau de l'enveloppe isolante tel qu'indiqué au Tableau 10;
- durée:  $7 \times 24$  h.

#### **12.5.5.4 Essais mécaniques**

Les éprouvettes d'enveloppe isolante et de gaine extérieure provenant des tronçons de câble préalablement vieillis doivent être préparées et soumises aux essais mécaniques conformément à l'IEC 60811-401.

#### **12.5.5.5 Exigences**

Les variations entre les valeurs médianes de résistance à la traction et d'allongement à la rupture après vieillissement et les valeurs correspondantes obtenues sans vieillissement (voir 12.5.3 et 12.5.4) ne doivent pas dépasser les valeurs imposées après vieillissement en étuve à air spécifiées au Tableau 10 pour les enveloppes isolantes et au Tableau 11 pour les gaines extérieures.

## **12.5.6 Essai de perte de masse pour les gaines extérieures en PVC du type ST<sub>2</sub>**

### **12.5.6.1 Mode opératoire**

L'essai de perte de masse pour les gaines extérieures du type ST<sub>2</sub> doit être effectué conformément à l'IEC 60811-409, dans les conditions indiquées au Tableau 12.

### **12.5.6.2 Exigences**

Les résultats de l'essai doivent satisfaire aux exigences indiquées au Tableau 12.

## **12.5.7 Essai de pression à température élevée pour les gaines extérieures**

### **12.5.7.1 Mode opératoire**

L'essai de pression à température élevée sur les gaines extérieures de type ST<sub>1</sub>, ST<sub>2</sub> et ST<sub>7</sub> doit être effectué conformément à l'IEC 60811-508, selon les conditions d'essai indiquées dans la méthode d'essai et dans le Tableau 11.

### **12.5.7.2 Exigences**

Les résultats doivent satisfaire aux exigences indiquées dans l'IEC 60811-508.

## **12.5.8 Essai à basse température pour les gaines extérieures en PVC (ST<sub>1</sub> et ST<sub>2</sub>)**

### **12.5.8.1 Mode opératoire**

Les essais à basse température pour les gaines extérieures ST<sub>1</sub> et ST<sub>2</sub> doivent être effectués conformément à l'IEC 60811-505 et à l'IEC 60811-506 respectivement, en utilisant les températures d'essais données dans le Tableau 12.

### **12.5.8.2 Exigences**

Les résultats de l'essai doivent satisfaire aux exigences indiquées dans l'IEC 60811-505 et l'IEC 60811-506 respectivement.

## **12.5.9 Essai de choc thermique pour les gaines extérieures en PVC (ST<sub>1</sub> et ST<sub>2</sub>)**

### **12.5.9.1 Mode opératoire**

L'essai de choc thermique sur les gaines extérieures de type ST<sub>1</sub> et ST<sub>2</sub> doit être effectué conformément à l'IEC 60811-509, la température d'essai et la durée de chauffage étant conformes au Tableau 12.

### **12.5.9.2 Exigences**

Les résultats de l'essai doivent satisfaire aux exigences indiquées dans l'IEC 60811-509.

## **12.5.10 Essai de résistance à l'ozone des enveloppes isolantes en EPR**

### **12.5.10.1 Mode opératoire**

Les enveloppes isolantes en EPR doivent faire l'objet d'un essai de résistance à l'ozone selon l'échantillonnage et le mode opératoire spécifiés dans l'IEC 60811-403. La concentration en ozone et la durée de l'essai doivent être conformes au Tableau 3.

### **12.5.10.2 Exigences**

Les résultats de l'essai doivent satisfaire aux exigences indiquées dans l'IEC 60811-403.

### **12.5.11 Essai d'allongement à chaud pour les enveloppes isolantes en EPR et en PR**

Les enveloppes isolantes en EPR 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.

### **12.5.12 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.

### **12.5.13 Mesure du taux de noir de carbone des gaines extérieures en PE de couleur noire (ST<sub>3</sub> et ST<sub>7</sub>)**

#### **12.5.13.1 Mode opératoire**

Le taux de noir de carbone des gaines extérieures de type ST<sub>3</sub> et ST<sub>7</sub> doit être mesuré en utilisant l'échantillonnage et le mode opératoire spécifiés dans l'IEC 60811-605.

#### **12.5.13.2 Exigences**

Le taux nominal de noir de carbone doit être de  $(2,5 \pm 0,5)$  %.

De plus faibles valeurs sont permises pour des applications spéciales sans exposition aux UV.

### **12.5.14 Essai des câbles soumis au feu**

L'essai de comportement en présence de feu doit être conforme à l'IEC 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 satisfaire aux recommandations indiquées dans l'IEC 60332-1-2.

### **12.5.15 Essai de pénétration d'eau**

L'essai de pénétration d'eau doit être appliqué aux constructions de câbles comportant des barrières empêchant la pénétration longitudinale de l'eau comme indiqué à l'Article 6, point c) et à l'Article 6, point f).

L'appareillage, l'échantillonnage, la méthode d'essai et les exigences doivent être conformes à l'Annexe E.

## **13 Essai de préqualification sur le système de câble**

### **13.1 Généralités et étendue d'acceptation de l'essai de préqualification**

L'essai de préqualification est destiné à indiquer les performances à long terme du système de câble complet. Il convient généralement que cet essai soit réalisé après les essais de développement. 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, les procédés de fabrication, les paramètres de construction ou de conception.

Une modification majeure est définie comme un changement susceptible d'avoir un effet néfaste sur les performances du système de câble. Le fournisseur doit présenter un dossier détaillé, incluant des résultats d'essais pour justifier que les modifications introduites ne sont pas majeures.

L'essai de préqualification qualifie le fabricant en tant que fournisseur de systèmes de câbles, sous réserve que les conditions suivantes soient remplies.

- a) La tension assignée  $U_0$  n'est pas supérieure de plus de 10 % à celle du système de câble soumis à essai.
- b) Le gradient électrique moyen calculé dans l'enveloppe isolante (donné par  $U_0$  divisée par l'épaisseur nominale de l'enveloppe isolante) est inférieur ou égal à celui du système soumis à essai.
- c) Le gradient électrique nominal de Laplace calculé à  $U_0$  (en utilisant les dimensions nominales), au niveau de l'écran sur enveloppe isolante, calculé conformément à l'Article 6, point m), est inférieur ou égal à celui du système soumis à essai.
- d) La température maximale de l'âme,  $T_{\text{cond,max}}$ , est inférieure ou égale à celle du système de câble soumis à essai.
- e) La différence maximale de température à travers la couche d'enveloppe isolante  $\Delta T_{\text{max}}$  (écrans semi-conducteurs non compris) est inférieure ou égale à celle du système soumis à essai.
- f) Un système de câble préqualifié selon la présente norme, pour un convertisseur commuté par le réseau (LCC) est également préqualifié pour un convertisseur source de tension (VSC). Un système de câble préqualifié selon la présente norme, pour un convertisseur source de tension (VSC), n'est pas préqualifié pour un convertisseur commuté par le réseau (LCC).

NOTE Pour plus de clarté, les conditions relatives à l'étendue de l'acceptation n'impliquent pas la prise en compte des champs électriques continus. Lors de la conception de systèmes de câbles en courant continu, les champs électriques continus constituent des critères de conception critiques. Le fournisseur a une connaissance détaillée des champs électriques continus dans le système de câble dans toutes les conditions de fonctionnement. De plus, le fournisseur est en mesure de présenter un dossier détaillé lorsque le client lui en fait la demande.

Les essais de préqualification qui ont été réalisés avec succès selon le BT 496 du CIGRÉ sont valables.

Le but de l'essai de tension de choc superposée, à l'issue de l'essai de préqualification, est de vérifier qu'aucun changement thermomécanique majeur n'a eu lieu durant les essais de longue durée. Cet essai n'est pas destiné à qualifier le système pour un niveau spécifique de tension de choc. Il convient que les niveaux de tensions de choc spécifiques à un projet soient qualifiés durant l'essai de type.

Il est recommandé d'effectuer un essai de préqualification en utilisant un câble de forte section d'âme.

Le Tableau C.2 fournit une liste des essais de préqualification.

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, doivent constituer des preuves acceptables de l'exécution des essais de préqualification.

## 13.2 Essai de préqualification sur système de câble complet

### 13.2.1 Récapitulatif des essais de préqualification

L'essai de préqualification doit comprendre les essais électriques sur le système de câble complet et porter sur une longueur d'environ 100 m de câble en vraie grandeur muni d'au moins un échantillon de chaque type d'accessoire. La longueur minimale de câble entre accessoires doit être de 10 m. 8.1 s'applique pour les objets d'essai. La séquence normale d'essais doit être la suivante:

- a) essai d'enroulement du câble (voir 12.4.3.1) suivi de l'installation des accessoires;

pour des raisons pratiques, l'essai d'enroulement peut être effectué sur toute la longueur en une seule opération, ou sur des tronçons;

pour les systèmes de câbles ayant une couche conductrice sur la gaine extérieure, un essai sous tension continue de la gaine extérieure doit être effectué après l'installation, conformément à l'IEC 60229;

- b) essai de cycles de chauffage sous tension (voir 13.2.4);
- c) essai de tension de choc superposée (voir 13.2.5);
- d) 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 à toutes les exigences des essais de préqualification du 13.2. Après réparation de la boucle d'essai, les essais de préqualification peuvent être poursuivis sur le système de câble restant (câble avec les accessoires restants). Au cas où le système de câble restant satisfait à toutes les exigences du 13.2, ce système de câble restant est préqualifié. Le ou les accessoires qui ne satisfont pas à toutes les exigences sont exclus de cette préqualification. Cependant, l'essai peut être poursuivi pour la préqualification du câble avec l'accessoire remplacé jusqu'à ce que toutes les exigences du 13.2 soient satisfaites. Si le fabricant décide d'inclure l'accessoire réparé dans la préqualification du système de câble, l'essai de préqualification du système complet doit démarrer, après la réparation, à partir du début de l'essai de cycles de chauffage sous tension.

Si une défaillance de l'objet d'essai se produit, entraînant une interruption de l'essai en cours d'objets raccordés, l'essai peut être repris une fois l'objet défectueux retiré. L'essai de cycles de chauffage ou de tension de choc, au cours duquel la défaillance s'est produite, doit être répété pour les objets d'essai restants. Si la défaillance se produit au cours d'une période de chaleur constante (CH ou ZH), le temps écoulé sans application de tension doit être ajouté après la date initialement planifiée pour la fin de la période en question. Cela signifie que le nombre total de jours avec application de tension reste le même que celui spécifié dans les exigences d'essai. Après toute interruption, due par exemple à des facteurs externes, il est possible de reprendre l'essai. Si l'interruption dure moins de 30 min, le cycle de chauffage spécifique doit être repris au point du cycle auquel l'interruption a eu lieu et le cycle reste valable. Si l'interruption dure plus de 30 min, le cycle de chauffage spécifique doit être repris depuis le début. Si l'interruption se produit au cours d'une période de chauffage constant et qu'elle dure plus de 30 minutes, l'essai du jour où l'interruption a eu lieu doit être repris depuis le début.

### **13.2.2 Valeurs des tensions d'essai**

Avant de procéder aux essais de préqualification, l'épaisseur de l'enveloppe isolante du câble 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 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.

NOTE L'objectif principal de l'essai de préqualification est de démontrer, de façon satisfaisante, l'intégrité de l'enveloppe isolante sur de longues périodes sous tension continue, compte tenu des constantes de temps diélectriques importantes en regard de celles sous tension alternative. Il est toutefois admis que d'autres aspects d'une installation spécifique peuvent être importants, tels que les effets thermomécaniques dus aux conditions d'installation. La représentation des conditions d'une installation spécifique peut être prise en considération.

Les conditions ambiantes peuvent varier entre installations d'essai et au cours de l'essai, mais on considère qu'elles n'ont pas d'influence majeure. La limite minimale indiquée en 8.3 pour la température ambiante ne s'applique pas. En cas de variation des conditions ambiantes, le courant circulant dans l'âme doit être ajusté afin de maintenir la température de l'âme et la différence de température à travers l'enveloppe isolante telles que spécifiées en 8.3.

#### 13.2.4 Essai de cycles de chauffage sous tension

Les conditions générales sont les suivantes.

- a) La durée minimale est de 360 jours.
- b) La température de l'âme et la différence de température à travers l'enveloppe isolante doivent être contrôlées par rapport au niveau calculé. Les niveaux calculés dans les accessoires et dans les câbles adjacents peuvent être différents.

Les séquences des essais pour un convertisseur commuté par le réseau (LCC) et pour un convertisseur source de tension (VSC) sont indiquées au Tableau 13 et au Tableau 14.

Des recommandations pour les conditions d'essai sont données en 8.2 et 8.3.

Aucun claquage de l'enveloppe isolante ne doit avoir lieu.

#### 13.2.5 Essai de tension de choc superposée

Après l'essai de cycles de chauffage sous tension, et au terme d'une période de repos facultative, l'essai de tension de choc de manœuvre superposée doit être effectué comme spécifié en 12.4.5.2 et 12.4.5.3.

Le seul objectif de l'essai de tension de choc superposée après l'essai de longue durée est de vérifier l'intégrité du système de câble. L'évaluation des spécifications disponibles pour différents projets montre que les valeurs de  $U_{P2,0}$  et  $U_{P1}$  varient selon les différents projets. À cet égard, et sur la base de l'expérience acquise, les valeurs des tensions de choc devant être considérées pour l'essai de préqualification ont été spécifiées en 8.2.

Il convient que les exigences spécifiques d'un projet concernant les niveaux des tensions de choc soient couvertes par l'essai électrique de type décrit en 12.4.5.

L'essai doit être effectué conformément au 8.5 sur un ou plusieurs échantillons de câble et sur un ou plusieurs accessoires de chaque type du système soumis à essai, les objets d'essai étant pris dans la boucle d'essai de préqualification. Tous les objets d'essai doivent avoir ensemble une longueur minimale cumulée de câble actif de 30 m. Si cela est requis pour des raisons de sécurité, les accessoires remplis d'huile ou de gaz peuvent être vidés puis remplis pour la préparation des objets d'essai. Les conditions de température sont définies en 8.3.

En variante, l'essai peut être effectué sur l'ensemble de la boucle d'essai.

Les objets d'essai doivent résister, sans défaillance, à 10 tensions de choc de manœuvre superposées positives et à 10 tensions de choc de manœuvre superposées négatives, aux niveaux de tension  $U_{P2,0}$ .

Si, conformément à un accord entre le fournisseur et le client, un essai de tension de choc de foudre superposée doit être également effectué, les objets d'essai doivent résister à 10 tensions de choc de foudre superposées positives et à 10 tensions de choc de foudre superposées négatives.

Aucun claquage de l'enveloppe isolante ni contournement le long des extrémités du câble ne doit avoir lieu.

Si la défaillance d'un accessoire a lieu durant les essais de tensions de chocs et s'il est prouvé que la cause originelle de la défaillance réside dans le déplacement de l'accessoire avant l'essai de tension de choc, les essais de tensions de choc peuvent être répétés sur un autre accessoire du même type pris dans la boucle d'essai de préqualification. Si l'accessoire en question subit avec succès le nouvel essai, il doit être considéré comme préqualifié.

### **13.2.6 Examen**

Échantillons de câble, chacun d'une longueur d'au moins 1 m et prélevés dans chaque section de la boucle complète, par exemple un échantillon prélevé dans la partie incurvée de la boucle, un échantillon prélevé dans la partie de la boucle qui a été exposée aux contraintes mécaniques ou thermiques les plus élevées, et un échantillon prélevé dans la partie rectiligne.

Les échantillons de câble et tous les accessoires de la boucle d'essai doivent être examinés comme spécifié au 12.4.6.2.

### **13.3 Essais d'extension de préqualification d'un système de câble**

Fera l'objet d'une étude ultérieure.

## **14 Essai de type des câbles**

Les câbles doivent être soumis à l'essai de type en tant que partie d'un système de câble.

## **15 Essai de type des accessoires**

Les accessoires doivent être soumis à l'essai de type en tant que partie d'un système de câble.

## **16 Essais électriques après pose**

### **16.1 Généralités**

Des essais sur 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 un essai sous tension continue de l'enveloppe isolante selon 16.3 sont recommandés.

Pour les installations pour lesquelles seul l'essai de la gaine extérieure selon 16.2 est effectué, des procédures d'assurance qualité pendant l'installation des accessoires peuvent, par accord entre le fournisseur et l'acheteur, 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 dans l'IEC 60229:2007, Article 5, doivent être appliqués entre la gaine métallique ou l'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. À cet égard, la présence d'une couche conductrice sur la gaine extérieure peut s'avérer utile.

### **16.3 Essai sous haute tension de l'enveloppe isolante**

Le système de câble HT installé doit être soumis à une tension continue de polarité négative de  $U_{TP1}$ . La durée de l'essai doit être de une heure.

La polarité négative doit être utilisée indépendamment de la polarité du pôle.

### 16.4 Mesure par réflectométrie dans le domaine temporel

Une mesure par réflectométrie dans le domaine temporel, selon l'Annexe J, peut être éventuellement effectuée pour obtenir des informations.

**Tableau 1 – Mélanges isolants pour câbles**

Mélange isolant	Température maximale de l'âme °C	
	Service normal <sup>a</sup>	Court-circuit (durée maximale 5 s) <sup>a</sup>
Polyéthylène thermoplastique à basse densité (chargé ou non chargé) (PE)	70	130 <sup>b</sup>
Polyéthylène thermoplastique à haute densité (chargé ou non chargé) (PEHD)	80	160 <sup>b</sup>
Polyéthylène réticulé (chargé ou non chargé) (PR)	90	250
Caoutchouc d'éthylène-propylène (chargé ou non chargé) (EPR)	90	250

<sup>a</sup> Les températures indiquées ici sont les températures maximales pour les caractéristiques mécaniques du matériau. La température maximale de service pour la performance électrique du système doit être inférieure ou égale aux valeurs indiquées ici et elle doit être spécifiée par le fabricant du câble.

<sup>b</sup> Pour le PE et le PEHD, des températures de court-circuit dépassant de 20 °C les températures indiquées peuvent être acceptées si des couches semi-conductrices appropriées sont utilisées sur l'âme et sur l'enveloppe isolante et après accord entre le fabricant du câble et le client.

**Tableau 2 – Mélanges pour gaines extérieures de câbles**

Mélange pour gaine extérieure	Désignation abrégée	Température maximale de l'âme en service normal
		°C
Polychlorure de vinyle (PVC)	ST <sub>1</sub>	80
	ST <sub>2</sub>	90
Polyéthylène (PE)	ST <sub>3</sub>	80
	ST <sub>7</sub>	90

**Tableau 3 – Exigences d'essai pour les caractéristiques particulières des mélanges isolants pour câbles**

Désignation du mélange (voir 4.3)	Unité	PE	PEHD	PR	EPR
Essai de résistance à l'ozone (IEC 60811-403)					
Concentration en ozone (en volume)	%	–	–	–	0,025 à 0,030
Durée d'essai sans craquelure	h	–	–	–	24
Essai d'allongement à chaud (IEC 60811-507)					
Traitement: température de l'air	°C	–	–	200	250
– tolérance	K	–	–	±3	±3
– temps sous charge	min	–	–	15	15
– contrainte mécanique	N/cm <sup>2</sup>	–	–	20	20
Allongement maximal sous charge	%	–	–	175	175
Allongement permanent maximal après refroidissement	%	–	–	15	15
Masse volumique (IEC 60811-606)					
Masse volumique minimale	g/cm <sup>3</sup>	–	0,94	–	–

**Tableau 4 – Essais non électriques de type des mélanges pour enveloppes isolantes de câbles et des mélanges pour gaines extérieures de câbles**

Désignation du mélange isolant (voir 4.3 et 4.5)	Enveloppe isolante				Gaine extérieure			
	PE	PEHD	EPR	PR	ST <sub>1</sub>	ST <sub>2</sub>	ST <sub>3</sub>	ST <sub>7</sub>
Vérification de la constitution Essai de pénétration d'eau <sup>a</sup>	Applicable quels que soient les matériaux de l'enveloppe isolante et de la gaine extérieure							
Propriétés mécaniques (Résistance à la traction et allongement à la rupture)								
a) sans vieillissement	x	x	x	x	x	x	x	x
b) après vieillissement en étuve à air	x	x	x	x	x	x	x	x
c) après vieillissement du câble complet (essai de compatibilité)	x	x	x	x	x	x	x	x
Essai de pression à température élevée	–	–	–	–	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	–	–	–	–	–
Essai d'allongement à chaud	–	–	x	x	–	–	–	–
Mesure de la masse volumique	–	x	–	–	–	–	–	–
Mesure du taux de noir de carbone <sup>b</sup>	–	–	–	–	–	–	x	x
Essai des câbles soumis au feu <sup>c</sup>								
NOTE x indique que l'essai de type doit être réalisé.								
<sup>a</sup> À appliquer aux constructions de câbles pour lesquelles le fabricant déclare avoir prévu des barrières empêchant la pénétration longitudinale de l'eau.								
<sup>b</sup> Seulement pour les gaines extérieures de couleur noire.								
<sup>c</sup> L'essai de câbles soumis au feu n'est exigé que dans le cas où le fabricant souhaite revendiquer la conformité à cet essai en tant que caractéristique particulière du type du câble.								

**Tableau 5 – Exigences d'essai pour les forces d'adhérence ou de résistance au décollement**

	Force d'adhérence ou de résistance au décollement min. (N/mm)	
	Construction combinée (CD)	Construction séparée (SD)
cuivre	1,5	1,0
aluminium	1,5	1,0
recouvrement	1,5	1,0

**Tableau 6 – Séquence d'essai de tension de cycles de chauffage pour essai de type de LCC**

	HC	RP	HC	HC et PR	HC	RP
Nombre de cycles	8	Facultatif, selon 8.8	8	8	3	Facultatif, selon 8.8
Durée de cycle	24h	Min. 24 h	24 h	24 h	48 h	Min. 24 h
Tension d'essai	–		+	+/-	+	
	$U_T$		$U_T$	$U_{TP1}$	$U_T$	
HC = cycle de chauffage, PR = inversion de polarité, RP = période de repos						

**Tableau 7 – Séquence d'essai de tension de cycles de chauffage pour essai de type de VSC**

	HC	RP	HC	HC	RP
Nombre de cycles	12	Facultatif, selon 8.8	12	3	Facultatif, selon 8.8
Durée de cycle	24 h	Min. 24 h	24 h	48 h	Min. 24 h
Tension d'essai	–		+	+	
	$U_T$		$U_T$	$U_T$	
HC = cycle de chauffage, RP = période de repos					

**Tableau 8 – Séquence d'essai de tensions de chocs de manœuvre et de foudre pour essai de type de LCC**

	SI	RP	SI	RP	LI	RP	LI	SDT
Durée/nombre	10	24 h Facultatif, selon 8.8	10	Facultatif, selon 8.8	10	24 h Facultatif, selon 8.8	10	2 h
Tension de choc	–		+		–		+	Sans objet
	$U_{P20}$		$U_{P20}$		$U_{P1}$		$U_{P1}$	
Tension continue	+		–		+		–	–
	$U_0$		$U_0$		$U_0$	$U_T$		
SI = choc de manœuvre, RP = période de repos, LI = choc de foudre, SDT = essai subséquent sous tension continue								

**Tableau 9 – Séquence d’essai de tensions de chocs de manœuvre et de foudre pour essai de type de VSC**

	SI	SI	RP	SI	SI	RP	LI	RP	LI	SDT
Durée/nom bre	10	10	24 h Facultatif, selon 8.8	10	10	24 h Facultatif, selon 8.8	10	24 h Facultatif, selon 8.8	10	2 h
Tension de choc	+	–		–	+		–		+	Sans objet
	$U_{P2S}$	$U_{P2O}$		$U_{P2S}$	$U_{P2O}$		$U_{P1}$		$U_{P1}$	
Tension continue	+	+		–	–		+		–	–
	$U_0$	$U_0$		$U_0$	$U_0$		$U_0$		$U_0$	$U_T$

SI = choc de manœuvre, RP = période de repos, LI = choc de foudre, SDT = essai subséquent sous tension continue

**Tableau 10 – Exigences d’essai pour les caractéristiques mécaniques des mélanges pour enveloppes isolantes de câbles (avant et après vieillissement)**

Désignation du mélange (voir 4.3)	Unité	PE	PEHD	PR	EPR
Température maximale de l’âme en service normal <sup>a</sup>	°C	70	80	90	90
Sans vieillissement (IEC 60811-501)					
Résistance minimale à la traction	N/mm <sup>2</sup>	10,0	12,5	12,5	4,2
Allongement minimal à la rupture	%	300	350	200	200
Après vieillissement en étuve à air (IEC 60811-401)					
Traitement: température	°C	100	110	135	135
tolérance	K	±2	±2	±3	±3
durée	h	240	240	168	168
Résistance à la traction					
a) valeur minimale après vieillissement	N/mm <sup>2</sup>	–	–	–	–
b) variation maximale <sup>b</sup>	%	–	–	±25	±30
Allongement à la rupture					
a) valeur minimale après vieillissement	%	300	350	–	–
b) variation maximale <sup>b</sup>	%	–	–	±25	±30

<sup>a</sup> Les températures indiquées ici sont les températures maximales pour les caractéristiques mécaniques du matériau. La température maximale de service pour la performance électrique du système doit être inférieure ou égale aux valeurs indiquées ici et elle doit être spécifiée par le fabricant du câble.

<sup>b</sup> Variation: différence entre la valeur médiane obtenue après vieillissement et la valeur médiane obtenue sans vieillissement, exprimée en pourcentage de cette dernière.

**Tableau 11 – Exigences d'essai pour les caractéristiques mécaniques des mélanges pour gaines extérieures de câbles (avant et après vieillissement)**

Désignation du mélange (voir 4.5)	Unité	ST <sub>1</sub>	ST <sub>2</sub>	ST <sub>3</sub>	ST <sub>7</sub>
Sans vieillissement (IEC 60811-501)					
Résistance minimale à la traction	N/mm <sup>2</sup>	12,5	12,5	10,0	12,5
Allongement minimal à la rupture	%	150	150	300	300
Après vieillissement en étuve à air (IEC 60811-401)					
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 <sup>2</sup>	12,5	12,5	–	–
b) variation maximale <sup>a</sup>	%	±25	±25	–	–
Allongement à la rupture					
a) valeur minimale après vieillissement	%	150	150	300	300
b) variation maximale <sup>a</sup>	%	±25	±25	–	–
Essai de pression à température élevée (IEC 60811-508)					
Température d'essai	°C	80	90	–	110
Tolérance	K	±2	±2	–	±2
<sup>a</sup> Variation: différence entre la valeur médiane obtenue après vieillissement et la valeur médiane obtenue sans vieillissement, exprimée en pourcentage de cette dernière.					

**Tableau 12 – Exigences d'essai pour les caractéristiques particulières des mélanges à base de PVC pour gaines extérieures de câbles**

Désignation du mélange (voir 4.5)	Unité	ST <sub>1</sub>	ST <sub>2</sub>
Perte de masse en étuve à air (IEC 60811-409)			
Traitement: température	°C	–	100
tolérance	K	–	±2
durée	h	–	168
Perte de masse maximale admissible	mg/cm <sup>2</sup>	–	1,5
Comportement à basse température <sup>a</sup>			
Essais devant être effectués sans vieillissement préalable:			
a) Allongement à froid sur éprouvettes haltères (IEC 60811-505)			
Température d'essai	°C	–15	–15
Tolérance	K	±2	±2
b) Chocs mécaniques à froid (IEC 60811-506)			
Température d'essai	°C	–15	–15
Tolérance	K	±2	±2
Essai de chocs thermiques (IEC 60811-509)			
1) Température d'essai	°C	150	150
Tolérance	K	±3	±3
2) Durée de l'essai	h	1	1
<sup>a</sup> En raison des conditions climatiques, les normes nationales peuvent nécessiter l'emploi d'une température d'essai plus basse.			

**Tableau 13 – Séquence d'essai de tension de cycles de chauffage pour essai de préqualification de LCC**

	HC	RP	HC	HC+ PR	CH	RP	CH	ZH	RP	HC	RP	HC	HC+ PR	RP
Nombre de cycles ou durée	30 cycles	24 h	30 cycles	20 cycles	40 jours	24 h	40 jours	120 jours	24 h	30 cycles	24 h	30 cycles	20 cycles	24 h
Tension d'essai	+	a	–		+	a	–	–	a	+	a	–		a
	$U_{TP1}$		$U_{TP1}$	$U_{TP2}$	$U_{TP1}$		$U_{TP1}$	$U_{TP1}$		$U_{TP1}$		$U_{TP1}$	$U_{TP2}$	
HC = cycle de chauffage, CH = chauffage continu, PR = inversion de polarité, ZH = pas de chauffage, RP = période de repos.														
<sup>a</sup> La période de repos est facultative et peut être effectuée conformément au 8.8.														

**Tableau 14 – Séquence d'essai de tension de cycles de chauffage pour essai de préqualification de VSC**

	HC	RP	HC	RP	CH	RP	CH	ZH	RP	HC	RP	HC	RP
Nombre de cycles ou de jours	40 cycles	24 h	40 cycles	24 h	40 jours	24 h	40 jours	120 jours	24 h	40 cycles	24 h	40 cycles	24 h
Tension d'essai	+	a	-	a	+	a	-	-	a	+	a	-	a
	$U_{TP1}$		$U_{TP1}$		$U_{TP1}$		$U_{TP1}$	$U_{TP1}$		$U_{TP1}$		$U_{TP1}$	
HC = cycle de chauffage, CH = chauffage continu, ZH = pas de chauffage, RP = période de repos; <sup>a</sup> La période de repos est facultative et peut être effectuée conformément au 8.8.													

## **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, lorsque le câble est alimenté en courant, pour des essais sous tension continue 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 outre, la température de l'âme doit être maintenue dans une plage de température limitée (5 K) et la différence de température à travers l'enveloppe isolante doit se situer à ou au-dessus d'une valeur spécifiée, alors que la température ambiante peut varier sur une plus grande plage.

Même si un étalonnage préliminaire sur le câble en essai ou des calculs peuvent être satisfaisants dans un premier temps, les variations des conditions ambiantes pendant toute la durée de l'essai peuvent faire sortir la température de l'âme hors des plages de tolérances. C'est pour cette raison qu'il faut utiliser des méthodes permettant de surveiller et de réguler la température de l'âme pendant toute la durée de l'essai.

Les méthodes les plus courantes sont présentées ci-après.

#### **A.2 Étalonnage de la température de la boucle d'essai principale**

##### **A.2.1 Généralités**

Le but est de déterminer la température de l'âme et de calculer à partir de mesures directes la différence de température à travers l'enveloppe isolante de la boucle principale par des mesures directes effectuées sur l'âme, la température de l'écran sur gaine isolante, la température de la gaine de la boucle de référence et, à des fins de surveillance, la température de la gaine de la boucle principale pour un courant donné, dans la plage de température requise pour l'essai. Il convient qu'un câble issu de la même longueur de fabrication que le 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 convient d'effectuer l'étalonnage sur une longueur minimale de câble de 5 m, prélevée dans le même câble que celui soumis à essai. Il convient que la longueur soit telle que le transfert longitudinal de la chaleur vers les extrémités du câble n'affecte pas de plus de 2 K la température dans le centre sur une distance de 2 m.

Il convient que les capteurs de température soient fixés au milieu du câble de référence: un sur l'âme ( $TC_{1c}$ ), un autre sur l'écran sur enveloppe isolante ( $TC_{1os}$ ) et un dernier sur ou 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, chacun à 1 m environ du milieu du câble, et que deux autres capteurs de température,  $TC_{2os}$  et  $TC_{3os}$ , soient installés sur l'écran sur enveloppe isolante du câble de référence (voir Figure A.1).

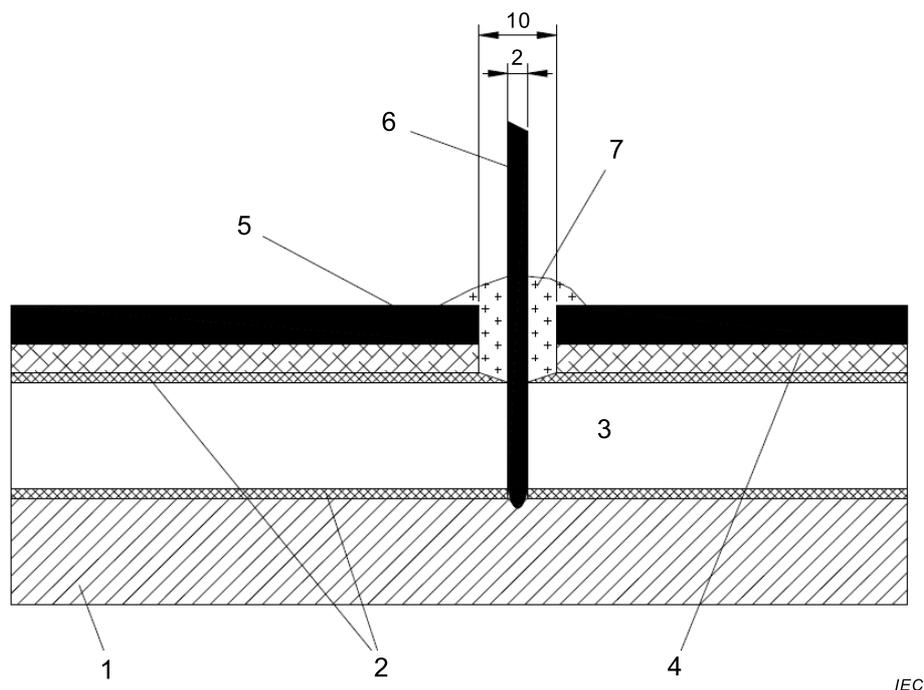
Il convient que les capteurs de température soient fixés à l'âme et à l'écran sur enveloppe isolante par des moyens mécaniques, car ils sont susceptibles de bouger sous l'effet de la dilatation et des vibrations du câble pendant le chauffage. Il convient de prendre des

précautions pour maintenir un bon contact thermique pendant toute la durée des essais et d'éviter une perte de chaleur vers le milieu ambiant. Il est recommandé de monter le(s) capteur(s) de température comme indiqué à la Figure A.2 entre deux fils d'une âme toronnée ou entre l'âme (massive) et l'écran sur conducteur. Afin de permettre l'accès à l'âme au milieu du câble de référence, il est conseillé de pratiquer une petite ouverture en enlevant avec précaution les couches situées au-dessus de l'âme. Une fois le(s) capteur(s) de température installé(s), les couches qui avaient été enlevées peuvent être remises en place. Ceci permet de rétablir le comportement thermique du câble de référence.

Pour s'assurer que le transfert de chaleur vers les extrémités du câble est négligeable, il convient que les différences entre les lectures de  $TC_{1C}$ ,  $TC_{2C}$  et  $TC_{3C}$  soient inférieures à 2 K.

Si la boucle d'essai principale est constituée de plusieurs longueurs de câble montées les unes à côté des autres, ces longueurs sont soumises à un effet d'échauffement mutuel. Il convient donc d'effectuer l'étalonnage en tenant compte de la configuration réelle du montage d'essai, et d'effectuer les mesures sur la longueur la plus chaude (généralement la longueur du milieu).





IEC

**Légende**

- |                           |                             |
|---------------------------|-----------------------------|
| 1 âme                     | 5 gaine extérieure de câble |
| 2 écrans semi-conducteurs | 6 capteur de température    |
| 3 enveloppe isolante      | 7 isolant thermique souple  |
| 4 gaine métallique        |                             |

**Figure A.2 – Exemple de disposition 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  $(20 \pm 15)$  °C.

Il convient d'utiliser des enregistreurs de température pour mesurer simultanément les températures de l'âme, de l'écran sur enveloppe isolante, de la gaine extérieure et la température ambiante.

Il convient de chauffer le câble jusqu'à ce que les valeurs de température de l'âme, indiquées par le capteur de température  $TC_{1c}$  de la Figure A.1, soient stabilisées et aient atteint les valeurs suivantes: de 0 K à 5 K au-dessus de la température maximale de l'âme du câble en service normal.

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 l'écran sur enveloppe isolante: valeur moyenne aux positions 1, 2 et 3;
- la température de la gaine extérieure à la position  $TC_{1s}$ ;
- la température ambiante; valeur moyenne de 3 positions autour de la boucle d'essai;
- le courant de chauffage.

### A.3 Chauffage pour l'essai

Il convient qu'un câble de référence identique au câble en essai soit 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 indiqué à l'Article A.2.

Il convient que le montage d'essai soit tel que

- le câble de référence véhicule à tout moment le même courant que la boucle d'essai principale,
- le câble est installé de sorte que les effets d'échauffement mutuel soient pris en compte pendant toute la durée de l'essai.

Il convient que le courant de chauffage des deux boucles soit ajusté de sorte que la température de l'âme soit maintenue dans les limites spécifiées.

Il convient qu'un capteur de température ( $TC_s$ ) soit monté sur ou sous la surface extérieure de la boucle d'essai principale 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 avec les capteurs de température sur ou sous les gaines extérieures de la boucle d'essai principale ( $TC_s$ ) et de la boucle de référence ( $TC_{1s}$ ) permettent de vérifier que les gaines extérieures des deux boucles sont à la même température.

La température mesurée avec les capteurs de température  $TC_{1c}$  sur l'âme de la boucle de référence peut être considérée comme représentative de la température de l'âme de la boucle d'essai parcourue par le courant.

NOTE 2 La température de l'âme de la boucle d'essai principale peut être légèrement supérieure à celle de la boucle de référence en raison des pertes diélectriques.

Il convient que tous les capteurs de température soient raccordés à un enregistreur afin de permettre la surveillance des températures. Il convient que le courant de chauffage de chaque boucle soit également enregistré pour prouver que les deux courants ont la même valeur pendant toute la durée de l'essai. Il convient que la différence entre les courants de chauffage soit maintenue à  $\pm 1$  %.

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.

## Annexe B (normative)

### Arrondissement des nombres

Lorsqu'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 doit être comme suit.

Si, avant arrondissement, le dernier chiffre décimal à retenir est suivi de 0, 1, 2, 3 ou 4, il doit rester inchangé (arrondissement inférieur).

Si, 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
25,047 8	≈	25,048	arrondi à trois décimales
25,047 8	≈	25,05	arrondi à deux décimales
25,047 8	≈	25,0	arrondi à une décimale

## Annexe C (informative)

### Liste des essais de type et des essais de préqualification des systèmes de câbles

Les essais de type des systèmes de câbles sont couverts par l'Article 12.

Le Tableau C.1 présente un résumé et les références pour des essais de type sur ces systèmes de câbles.

Les essais de préqualification des systèmes de câbles sont couverts par le 13.1 et le 13.2.

Le Tableau C.2 présente un résumé et les références pour des essais de préqualification sur ces systèmes de câbles.

**Tableau C.1 – Essais de type sur des systèmes de câbles**

Point	Essai	Articles
		<b>Systemes de câbles</b>
a	Généralités	12.1
b	Étendue de l'acceptation de type	12.2
c	Essais électriques de type	12.4
d	Valeurs des tensions d'essai	12.4.1
e	Essai d'enroulement	12.4.3
f	Essai de cycles de chauffage sous tension	12.4.4
g	Essai de tension de choc superposée	12.4.5
h	Essai subséquent sous tension continue	12.4.5.5
i	Essais de protection extérieure des jonctions	Annexe H
j	Examen	12.4.6
k	Résistivité des écrans semi-conducteurs	12.4.7
l	Essais de type non électriques sur les constituants du câble et sur câble complet	12.5

**Tableau C.2 – Essais de préqualification sur des systèmes de câbles**

<b>Point</b>	<b>Essai</b>	<b>Articles</b>
		<b> Systèmes de câbles</b>
a	Généralités et étendue d'acceptation de l'essai de préqualification	13.1
b	Essai de préqualification sur système de câble complet	13.2
c	Récapitulatif 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 d'enroulement	13.2.1
g	Essai de cycles de chauffage sous tension	13.2.4
h	Essai de tension de choc superposée	13.2.5
i	Examen	13.2.6

## 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 un échantillon de conducteur 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 doit être déterminée selon la méthode exposée ci-dessous.

Quatre électrodes réalisées à l'aide de peinture argentée A, B, C et D (voir Figure 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, il est nécessaire de 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. Au terme d'une période 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, il est nécessaire de mesurer, 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  $\rho$  en ohm mètres doit ensuite être calculée de la manière suivante:

a) écran sur âme:

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

où

$\rho_c$  est la résistivité volumique, en ohm mètres ( $\Omega \cdot m$ );

$R_c$  est la résistance mesurée, en ohms ( $\Omega$ );

$L_c$  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) écran sur enveloppe isolante:

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

où

$\rho_i$  est la résistivité volumique, en ohm mètres ( $\Omega \cdot m$ );

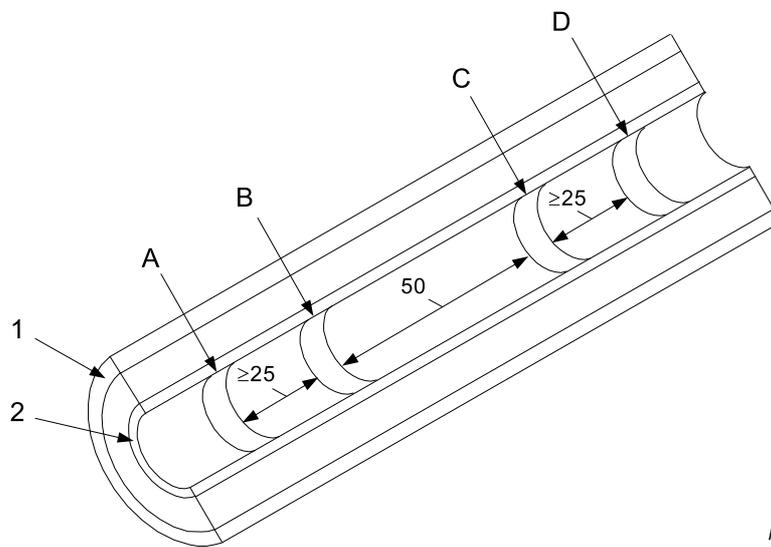
$R_i$  est la résistance mesurée, en ohms ( $\Omega$ );

$L_i$  est la distance entre les électrodes de tension, en mètres (m);

$D_i$  est le diamètre sur l'écran sur âme, en mètres (m);

$T_i$  est l'épaisseur moyenne de l'écran sur âme, en mètres (m).

*Dimensions en millimètres*



IEC

#### Légende

1 écran sur enveloppe isolante

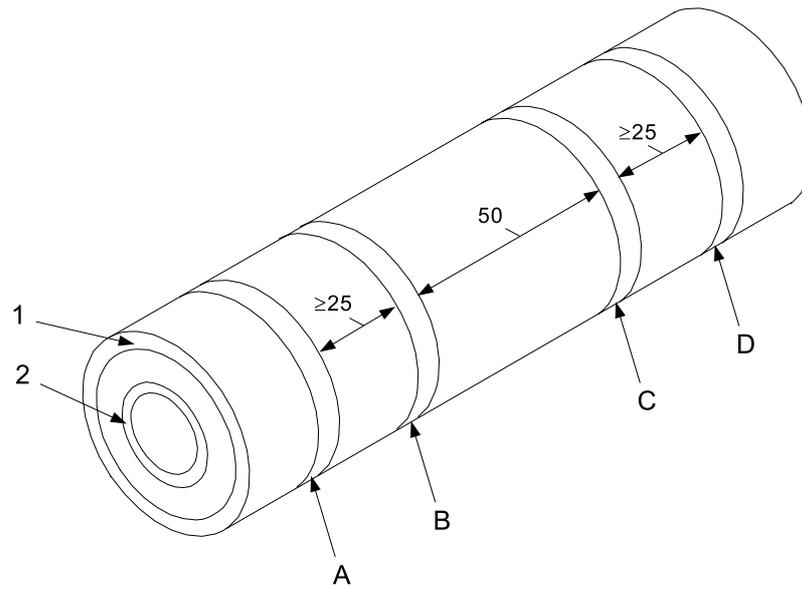
B, C électrodes de tension

2 écran sur âme

A, D électrodes de courant

#### a) Mesure de la résistivité volumique de l'écran sur âme

*Dimensions en millimètres*



IEC

**Légende**

- |   |                              |      |                       |
|---|------------------------------|------|-----------------------|
| 1 | écran sur enveloppe isolante | B, C | électrodes de tension |
| 2 | écran sur âme                | A, D | électrodes de courant |

**b) 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 Éprouvette**

Un échantillon de câble complet d'au moins 8 m de long qui n'a été soumis à aucun des essais décrits en 12.4 doit être soumis à l'essai d'enroulement décrit en 12.4.3.

Une longueur de câble de 8 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 et retiré. 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 destinées à présenter une étanchéité longitudinale à l'eau soient exposées à l'action de l'eau. Les interfaces qui ne sont pas destinées à empêcher la pénétration longitudinale de l'eau doivent être colmatées avec un matériau approprié ou les revêtements extérieurs doivent être ôtés.

Les exemples de telles interfaces comprennent:

- lorsque le câble a seulement une barrière dans l'âme,
- lorsque l'interface se situe entre la gaine extérieure et la gaine métallique.

Prévoir un dispositif approprié (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.

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 à une température de  $(20 \pm 10) ^\circ\text{C}$ , de façon telle que la hauteur d'eau dans le tube se situe à 1 m au-dessus du centre du câble (voir Figure E.1).

Il est nécessaire de 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 stable située entre 5 K et 10 K au-dessus de la température maximale de l'âme en service normal, sans pour autant atteindre  $100 ^\circ\text{C}$ .

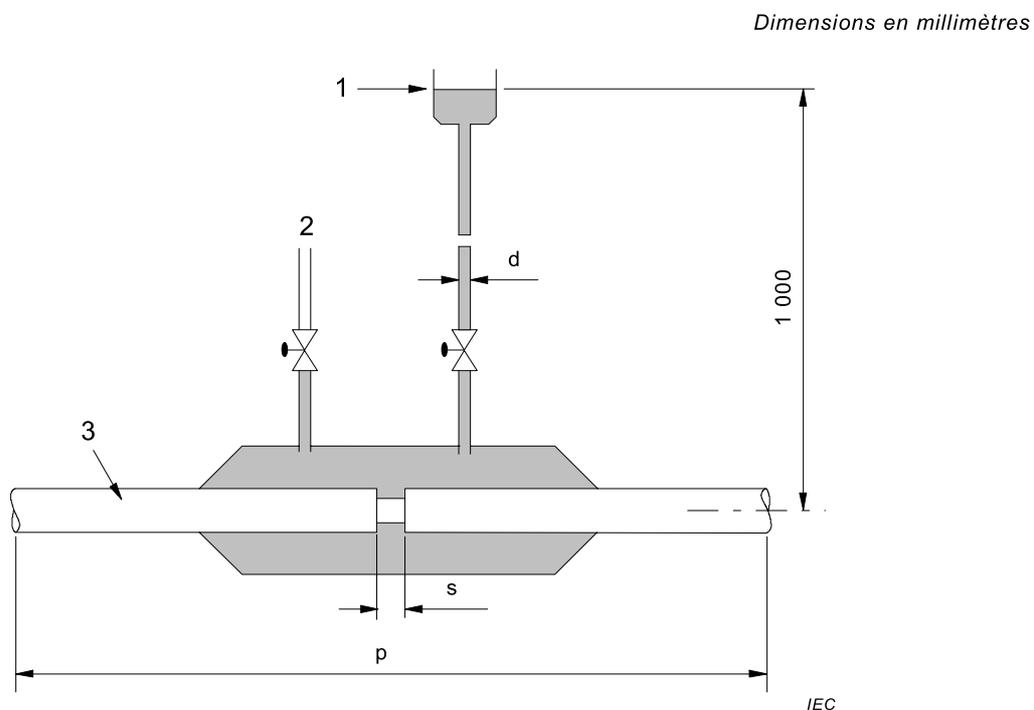
Le chauffage doit être appliqué pendant au moins 8 h. La température de l'âme doit être maintenue dans les limites indiquées pendant au moins 2 h au cours de chaque période de chauffage. Il est ensuite nécessaire de laisser l'échantillon refroidir naturellement pendant au moins 16 h.

La hauteur d'eau doit être maintenue à 1 m.

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	évent	s	50 mm environ
3	câble	p	longueur = 8 000 mm

**Figure E.1 – Représentation schématique 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

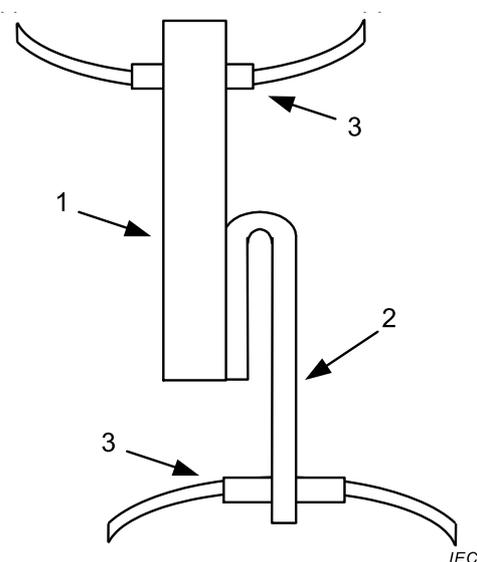
Le câble doit être disséqué et examiné visuellement. L'examen des échantillons en vision normale ou corrigée sans grossissement ne doit pas révéler de craquelures ou de détachement de la feuille métallique de l'enveloppe de l'écran de protection laminé ou des dommages à d'autres parties du câble.

#### F.2 Force d'adhérence de la feuille métallique – Mode opératoire

L'éprouvette doit être prélevée dans l'enveloppe du câble à l'endroit où la feuille métallique adhère à la gaine extérieure.

La longueur et la largeur de l'éprouvette doivent être de 200 mm et 10 mm, respectivement.

Une extrémité de l'éprouvette doit être décollée sur une longueur comprise entre 50 mm et 120 mm et introduite dans une machine d'essai de traction, l'extrémité libre de la gaine extérieure ou de l'écran semi-conducteur étant serrée dans l'un des mors de l'appareil. L'extrémité libre de la feuille métallique doit être repliée à 180° sur elle-même et serrée dans l'autre mors comme représenté à la Figure F.1.



#### Légende

1	gaine extérieure	2	feuille métallique ou feuille métallique contrecollée	3	mors
---	------------------	---	---	---	------

**Figure F.1 – Montage d'essai d'adhérence de la feuille métallique**

L'éprouvette doit être maintenue à peu près verticalement dans le plan des mors pendant l'essai en étant tenue à la main.

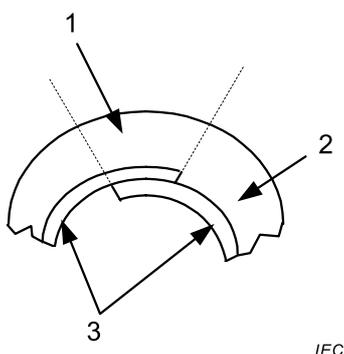
Après ajustement du dispositif d'enregistrement continu, la feuille métallique doit être décollée de l'éprouvette avec un angle d'environ 180° et séparée sur une distance suffisante pour donner une indication de la force d'adhérence. Au moins la moitié de la longueur adhérente restante doit être décollée avec une vitesse de traction de 50 mm/min environ.

La force d'adhérence doit ensuite être calculée en divisant la force de décollement, en Newtons, par la largeur de l'éprouvette, exprimée en millimètres. Au moins cinq éprouvettes doivent être soumises à l'essai. Le résultat d'essai est la plus faible valeur mesurée ou déterminée.

Si la force d'adhérence est supérieure à la résistance à la traction de la feuille métallique au point que celle-ci rompe avant de se décoller, l'essai doit être interrompu et le point de rupture doit être consigné.

### F.3 Force de décollement du recouvrement de la feuille métallique – Mode opératoire

Un échantillon de 200 mm de long, comprenant le recouvrement de la feuille métallique, doit être prélevé dans le câble. L'éprouvette est obtenue par la simple découpe du recouvrement de cet échantillon comme indiqué à la Figure F.2.



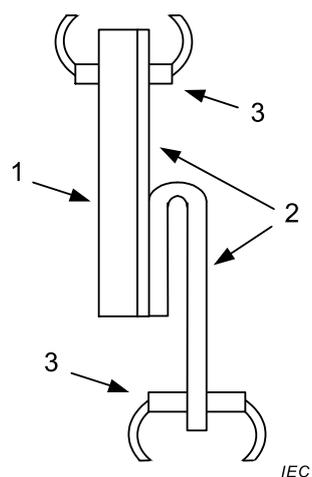
IEC

#### Légende

- |              |                    |   |
|--------------|--------------------|---|
| 1 éprouvette | 2 gaine extérieure | 3 feuille métallique ou feuille métallique contrecollée |
|--------------|--------------------|---|

**Figure F.2 – Exemple de feuille métallique avec recouvrement**

L'essai doit être effectué de la même manière que celle décrite à l'Article F.2. La disposition de l'éprouvette est présentée dans la Figure F.3.

**Légende**

- |   |                  |   |  |   |      |
|---|------------------|---|--|---|------|
| 1 | gaine extérieure | 2 | feuille métallique ou feuille métallique<br>contrecollée | 3 | mors |
|---|------------------|---|--|---|------|

**Figure F.3 – Montage d’essai de force de décollement  
au recouvrement de la feuille métallique**

Si la force de décollement est supérieure à la résistance à la traction de la feuille métallique au point que celle-ci rompe à une valeur supérieure à celle spécifiée, mais ne se décolle pas, l’essai est considéré comme satisfaisant et la valeur de la force de rupture doit être consignée.

## **Annexe G** (informative)

### **Essais de développement sur câble et système de câble comportant une feuille métallique posée en long et contrecollée à la gaine extérieure**

#### **G.1 Généralités**

Il est recommandé de soumettre aux essais de développement spécifiés dans l'IEC TR 61901 le câble et le système de câble comportant une feuille métallique posée en long et contrecollée à la gaine extérieure.

#### **G.2 Liste des essais**

##### **G.2.1 Essais sur câble**

###### **G.2.1.1 Essai de chocs mécaniques**

Il convient que l'essai soit effectué conformément à l'IEC TR 61901:2016, 4.1.1.

###### **G.2.1.2 Essai d'abrasion**

Il convient que l'essai soit effectué conformément à l'IEC TR 61901:2016, 4.1.2.

###### **G.2.1.3 Essai de pression sur les parois**

Il convient que l'essai soit effectué conformément à l'IEC TR 61901:2016, 4.1.3.

###### **G.2.1.4 Essai de vieillissement à long terme de l'adhésion des composants du revêtement laminé**

Il convient que l'essai soit effectué conformément à l'IEC TR 61901:2016, 4.1.4.

###### **G.2.1.5 Propriétés mécaniques de la soudure, le cas échéant**

Il convient que l'essai soit effectué conformément à l'IEC TR 61901:2016, 4.1.5.

##### **G.2.2 Essais sur système de câble – Essai de court-circuit incluant les accessoires**

Il convient que l'essai soit effectué conformément à l'IEC TR 61901:2016, 4.2.2.

## **Annexe H** (normative)

### **Essais des protections extérieures des jonctions**

#### **H.1 Généralités**

L'Annexe H spécifie la procédure à adopter pour les essais d'acceptation de type des protections extérieures des jonctions 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.

#### **H.2 Étendue 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 soumise à essai doit comprendre ces composants particuliers.

Un essai satisfaisant sur une protection externe de jonction pour un accessoire à arrêt d'écran pour les diamètres de câble complet pour lequel l'acceptation est recherchée en conformité avec 12.2, 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 de jonctions proposées par le même fabricant, utilisant les mêmes principes de base et les mêmes matériaux, dans la plage des diamètres soumis à essai, et pour des tensions d'essais inférieures ou égales.

Les essais des Articles H.3 et H.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.

#### **H.3 Immersion dans l'eau et cycles thermiques**

Le montage d'essai doit être immergé dans l'eau à une profondeur d'au moins 1 m au point le plus haut de la protection extérieure. 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. L'eau doit pouvoir atteindre la ou les barrières d'étanchéité déclarées par le fabricant.

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 au-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 naturellement jusqu'à 10 K au-dessus de la température ambiante. La température d'essai 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 chauffage doit être de 12 h et la durée pour porter la température de l'eau à la température spécifiée doit être autant que possible égale à la durée pour refroidir l'eau jusqu'à une température inférieure ou égale à 30 °C ou 10 K au-dessus de la température ambiante.

## H.4 Essais de tension

### H.4.1 Généralités

À 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.

### H.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 la partie externe mise à la terre de la protection extérieure de la jonction.

### H.4.3 Montages comportant des accessoires à arrêt d'écran

#### H.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 ou l'autre des extrémités de l'accessoire, ainsi qu'entre les écrans ou gaines métalliques et la partie externe mise à la terre de la protection extérieure de la jonction.

#### H.4.3.2 Essais de tension de choc

Pour les systèmes dans lesquels aucun coup de foudre ne peut avoir lieu, l'essai de tension de choc n'est pas requis.

Afin de soumettre à essai chaque partie par rapport à la terre, une tension d'essai conforme au Tableau H.1 doit être appliquée entre les écrans ou gaines métalliques et la partie externe du montage encore immergé. S'il n'est pas possible de réaliser l'essai de tension de choc sur le montage immergé, celui-ci peut être retiré de l'eau et soumis à l'essai de tension de choc dans un délai minimal, ou il peut être maintenu humide en l'enveloppant dans 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 retiré de l'eau avant l'essai de tension de choc.

La procédure d'essai doit être mise en œuvre conformément à l'IEC 60230, la jonction étant à la température ambiante.

**Tableau H.1 – Essais de tension de choc**

Tension de choc de foudre assignée équivalente pour l'isolation principale	Niveau de tension de choc			
	Entre parties		Entre chaque partie et la terre	
	Liaisons de raccordement ≤ 3 m	Liaisons de raccordement > 3 m et ≤ 10 m	Liaisons de raccordement ≤ 3 m	Liaisons de raccordement > 3 m et ≤ 10 m
La tension de foudre équivalente doit être calculée comme la somme des modules de la tension continue et de la tension de choc de foudre superposée				
kV	kV	kV	kV	kV
250 à 325	60	60	30	30
>325 à 750	60	75	30	37,5
>750	60	95	30	47,5

Il ne doit se produire aucun claquage pendant les essais ci-dessus.

Il est possible d'envisager de réaliser les essais de tension de l'Article H.4 (dans l'ordre inverse) avant de commencer les cycles de chauffage pour vérifier la bonne installation du montage.

## **H.5 Examen du montage d'essai**

Le montage d'essai doit être examiné à l'issue des essais décrits à l'Article H.4.

Les boîtes de protection extérieure des jonctions remplies de matières amovibles doivent être considérées comme satisfaisantes s'il n'y a aucune trace visible 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 extérieures des jonctions utilisant d'autres techniques et matériaux, il ne doit y avoir aucune trace de pénétration d'eau ni aucun signe de corrosion de toute partie métallique de l'accessoire: raccordement du câble à l'accessoire, à l'écran sur accessoire, aux liaisons de raccordement de l'accessoire.

## **Annexe I** (normative)

### **Câble de retour**

Les câbles de retour sont reliés à la terre à une extrémité et soumis à une tension continue déterminée par la configuration du convertisseur et les caractéristiques des câbles.

La nature de toute surtension dépend de la configuration du système haute tension en courant continu (CCHT) et cette surtension doit être calculée pour chaque cas, afin de déterminer les surtensions temporaires correspondantes dans le domaine de fréquences industrielles du câble de retour pour la liaison réelle. En particulier, les surtensions dues à un raté de commutation peuvent constituer le critère pour le dimensionnement de l'isolation et les accessoires du câble de retour. Pour s'assurer que le système de câble est capable de supporter les surtensions dues à un raté de commutation, le câble de retour et les accessoires doivent être conformes à l'IEC 60502-2 et à l'IEC 60502-4 respectivement avec une tension assignée  $U$  au moins égale à  $U_{RC,AC}$ .

Si différentes constructions (différentes épaisseurs d'enveloppes isolantes) sont utilisées le long du trajet de retour, chaque construction doit être considérée séparément.

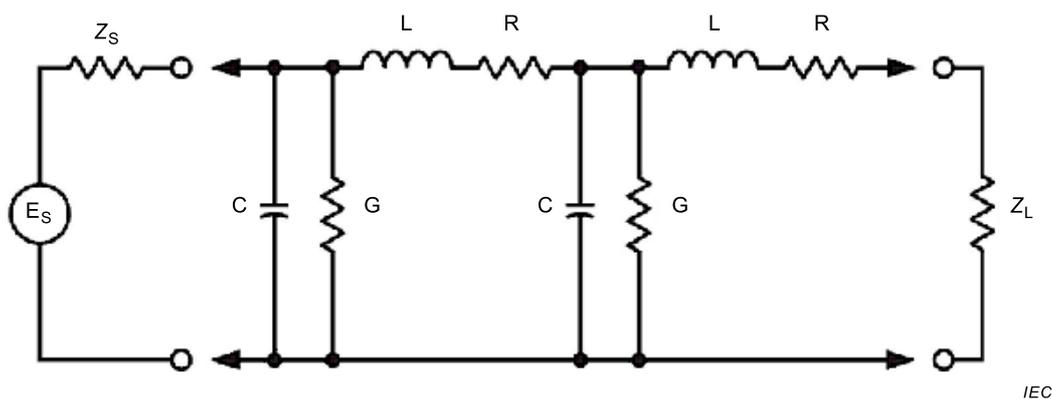
À l'issue de l'installation, le système de câble de retour doit être soumis à l'essai électrique en courant continu conformément à 20.3.2 de l'IEC 60502-2:2014.

## Annexe J (informative)

### Mesure par réflectométrie dans le domaine temporel

Une mesure par réflectométrie dans le domaine temporel pourrait être effectuée pour obtenir des informations techniques.

Si un matériel de réflectométrie dans le domaine temporel doit être utilisé au cours du fonctionnement du câble, il est recommandé d'effectuer une mesure par réflectométrie dans le domaine temporel après l'installation pour obtenir une « empreinte » des caractéristiques de propagation des ondes du câble. La propagation des impulsions utilisées lors des mesures par réflectométrie dans le domaine temporel dépend de la résistance, de la capacité et de l'inductance du câble. Dans la mesure où tous les signaux électriques se déplacent de manière à consommer un minimum d'énergie, les impulsions se propagent lorsque l'inductance ou la résistance est à son niveau le plus faible. Les câbles d'énergie sont munis d'un écran métallique et les impulsions ne se propagent pas à l'extérieur de l'écran, sinon la valeur de l'inductance (et de l'impédance) augmenterait considérablement. Par conséquent, l'impulsion n'est pas affectée par l'enroulement du câble autour d'un touret ou après l'installation. Voir la Figure J.1.



IEC

$E_S, Z_S$ : Circuit équivalent de la source de tension

$C, G, L, R$ : Circuit équivalent du câble;

$Z_L$ : Impédance pour raccorder le câble

**Figure J.1 – Schéma de circuit pour mesure par réflectométrie dans le domaine temporel, schéma de ligne de transmission classique, modèle  $\pi$**

## Bibliographie

IEC 60633, *Terminologie pour le transport d'énergie en courant continu à haute tension (CCHT)*

Brochure thématique 496 du CIGRÉ, *Recommandations concernant les essais des câbles extrudés de transport d'énergie à courant continu pour les tensions assignées jusqu'à 500 kV*; Groupe de travail B1.32 du CIGRÉ; 2012

IEC TR 61901:2016, *Essais de développement recommandés pour les câbles comportant une feuille métallique appliquée longitudinalement pour des tensions assignées supérieures à 30 kV ( $U_m = 36$  kV)*

IEC 60183, *Lignes directrices pour le choix de systèmes de câbles à haute tension en courant alternatif*

IEC 60885-3, *Méthodes d'essais électriques pour les câbles électriques – Partie 3: Méthodes d'essais pour la mesure des décharges partielles sur des longueurs de câbles de puissance extrudés*

IEC 60840, *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*

IEC 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*

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

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

Electra N° 173, *After laying tests on high-voltage extruded insulation cable systems*, Août 1997, pp 32-41

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

CIGRE Technical brochure 289, *VSC Transmission*, Cigré WG B4.37, Avril 2005

Electra No. 72, *Recommendations for tests of power transmission DC cables for a rated voltage up to 800 kV (1980 – revision)*, Avril 2000

Electra No 189 (2000), *Recommendations for test of power transmission DC Cables for a rated voltage up to 800 kV*



INTERNATIONAL  
ELECTROTECHNICAL  
COMMISSION

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

Tel: + 41 22 919 02 11  
Fax: + 41 22 919 03 00  
[info@iec.ch](mailto:info@iec.ch)  
[www.iec.ch](http://www.iec.ch)