

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**High-voltage switchgear and controlgear –
Part 1: Common specifications for alternating current switchgear and
controlgear**

**Appareillage à haute tension –
Partie 1: Spécifications communes pour appareillage à courant alternatif**



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
www.iec.ch

About the IEC

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

About IEC publications

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

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

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

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing 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

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

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

A propos de l'IEC

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

A propos des publications IEC

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

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

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

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

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient 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

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

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

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**High-voltage switchgear and controlgear –
Part 1: Common specifications for alternating current switchgear and
controlgear**

**Appareillage à haute tension –
Partie 1: Spécifications communes pour appareillage à courant alternatif**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 29.130.10; 29.130.99

ISBN 978-2-8322-4353-4

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	8
INTRODUCTION	11
1 Scope	12
2 Normative references	12
3 Terms and definitions	14
3.1 General terms and definitions	15
3.2 Assemblies of switchgear and controlgear	18
3.3 Parts of assemblies	18
3.4 Switching devices	18
3.5 Parts of switchgear and controlgear	18
3.6 Operational characteristics of switchgear and controlgear	22
3.6.5 Terms and definitions relative to pressure (or density)	23
3.6.6 Terms and definitions relating to gas and vacuum tightness	23
3.6.7 Terms and definitions relating to liquid tightness	25
3.7 Characteristic quantities	25
3.8 Index of definitions	26
4 Normal and special service conditions	28
4.1 Normal service conditions	28
4.1.1 General	28
4.1.2 Indoor switchgear and controlgear	28
4.1.3 Outdoor switchgear and controlgear	29
4.2 Special service conditions	29
4.2.1 General	29
4.2.2 Altitude	29
4.2.3 Exposure to pollution	30
4.2.4 Temperature and humidity	30
4.2.5 Exposure to abnormal vibrations, shock or tilting	30
4.2.6 Wind speed	31
4.2.7 Other parameters	31
5 Ratings	31
5.1 General	31
5.2 Rated voltage (U_r)	31
5.2.1 General	31
5.2.2 Range I for rated voltages of 245 kV and below	31
5.2.3 Range II for rated voltages above 245 kV	32
5.3 Rated insulation level (U_d , U_p , U_s)	32
5.4 Rated frequency (f_r)	36
5.5 Rated continuous current (I_r)	36
5.6 Rated short-time withstand current (I_k)	36
5.7 Rated peak withstand current (I_p)	37
5.8 Rated duration of short-circuit (t_k)	37
5.9 Rated supply voltage of auxiliary and control circuits (U_a)	37
5.9.1 General	37
5.9.2 Rated supply voltage (U_a)	37
5.10 Rated supply frequency of auxiliary and control circuits	38
5.11 Rated pressure of compressed gas supply for controlled pressure systems	38

6	Design and construction	39
6.1	Requirements for liquids in switchgear and controlgear	39
6.2	Requirements for gases in switchgear and controlgear	39
6.3	Earthing of switchgear and controlgear	39
6.4	Auxiliary and control equipment and circuits	39
6.4.1	General	39
6.4.2	Protection against electric shock	40
6.4.3	Components installed in enclosures	40
6.5	Dependent power operation	43
6.6	Stored energy operation	43
6.6.1	General	43
6.6.2	Energy storage in gas receivers or hydraulic accumulators	44
6.6.3	Energy storage in springs (or weights)	44
6.6.4	Manual charging	44
6.6.5	Motor charging	44
6.6.6	Energy storage in capacitors	44
6.7	Independent unlatched operation (independent manual or power operation)	44
6.8	Manually operated actuators	45
6.9	Operation of releases	45
6.9.1	General	45
6.9.2	Shunt closing release	45
6.9.3	Shunt opening release	45
6.9.4	Capacitor operation of shunt releases	45
6.9.5	Under-voltage release	46
6.10	Pressure/level indication	46
6.10.1	Gas pressure	46
6.10.2	Liquid level	46
6.11	Nameplates	46
6.11.1	General	46
6.11.2	Application	46
6.12	Locking devices	48
6.13	Position indication	48
6.14	Degrees of protection provided by enclosures	48
6.14.1	General	48
6.14.2	Protection of persons against access to hazardous parts and protection of the equipment against ingress of solid foreign objects (IP coding)	48
6.14.3	Protection against ingress of water (IP coding)	48
6.14.4	Protection against mechanical impact under normal service conditions (IK coding)	48
6.15	Creepage distances for outdoor insulators	49
6.16	Gas and vacuum tightness	49
6.16.1	General	49
6.16.2	Controlled pressure systems for gas	49
6.16.3	Closed pressure systems for gas	49
6.16.4	Sealed pressure systems	50
6.17	Tightness for liquid systems	50
6.17.1	General	50
6.17.2	Leakage rates	50
6.18	Fire hazard (flammability)	50

6.19	Electromagnetic compatibility (EMC).....	50
6.20	X-ray emission.....	51
6.21	Corrosion.....	51
6.22	Filling levels for insulation, switching and/or operation.....	51
7	Type tests.....	51
7.1	General.....	51
7.1.1	Basics.....	51
7.1.2	Information for identification of test objects.....	51
7.1.3	Information to be included in type-test reports.....	52
7.2	Dielectric tests.....	52
7.2.1	General.....	52
7.2.2	Ambient air conditions during tests.....	52
7.2.3	Wet test procedure.....	53
7.2.4	Arrangement of the equipment.....	53
7.2.5	Criteria to pass the test.....	54
7.2.6	Application of the test voltage and test conditions.....	54
7.2.7	Tests of switchgear and controlgear of $U_r \leq 245$ kV.....	58
7.2.8	Tests of switchgear and controlgear of $U_r > 245$ kV.....	58
7.2.9	Artificial pollution tests for outdoor insulators.....	59
7.2.10	Partial discharge tests.....	59
7.2.11	Dielectric tests on auxiliary and control circuits.....	59
7.2.12	Voltage test as condition check.....	59
7.3	Radio interference voltage (RIV) test.....	60
7.4	Resistance measurement.....	60
7.4.1	Measurement of the resistance of auxiliary contacts class 1 and class 2.....	60
7.4.2	Measurement of the resistance of auxiliary contacts class 3.....	60
7.4.3	Electrical continuity of earthed metallic parts test.....	60
7.4.4	Resistance measurement of contacts and connections in the main circuit as a condition check.....	60
7.5	Continuous current tests.....	61
7.5.1	Condition of the test object.....	61
7.5.2	Arrangement of the equipment.....	61
7.5.3	Test current and duration.....	62
7.5.4	Temperature measurement during test.....	63
7.5.5	Resistance of the main circuit.....	64
7.5.6	Criteria to pass test.....	64
7.6	Short-time withstand current and peak withstand current tests.....	68
7.6.1	General.....	68
7.6.2	Arrangement of the equipment and of the test circuit.....	68
7.6.3	Test current and duration.....	69
7.6.4	Conditions of the test object after test.....	70
7.7	Verification of the protection.....	70
7.7.1	Verification of the IP coding.....	70
7.7.2	Verification of the IK coding.....	70
7.8	Tightness tests.....	71
7.8.1	General.....	71
7.8.2	Controlled pressure systems for gas.....	72
7.8.3	Closed pressure systems for gas.....	72
7.8.4	Sealed pressure systems.....	73

7.8.5	Liquid tightness tests	73
7.9	Electromagnetic compatibility tests (EMC)	73
7.9.1	Emission tests	73
7.9.2	Immunity tests on auxiliary and control circuits	76
7.9.3	Additional EMC tests on auxiliary and control circuits	78
7.10	Additional tests on auxiliary and control circuits	79
7.10.1	General	79
7.10.2	Functional tests	79
7.10.3	Verification of the operational characteristics of auxiliary contacts	79
7.10.4	Environmental tests	80
7.10.5	Dielectric test	81
7.11	X-radiation test for vacuum interrupters	81
7.11.1	General requirements	81
7.11.2	Test voltage and measurement procedure	83
7.11.3	Acceptance criteria	83
8	Routine tests	84
8.1	General.....	84
8.2	Dielectric test on the main circuit	84
8.3	Tests on auxiliary and control circuits	85
8.3.1	Inspection of auxiliary and control circuits, and verification of conformity to the circuit diagrams and wiring diagrams	85
8.3.2	Functional tests	85
8.3.3	Verification of protection against electrical shock.....	85
8.3.4	Dielectric tests.....	85
8.4	Measurement of the resistance of the main circuit.....	85
8.5	Tightness test	86
8.5.1	General	86
8.5.2	Controlled pressure systems for gas	86
8.5.3	Closed pressure systems for gas	86
8.5.4	Sealed pressure systems.....	86
8.5.5	Liquid tightness tests	86
8.6	Design and visual checks.....	86
9	Guide to the selection of switchgear and controlgear (informative)	87
9.1	General.....	87
9.2	Selection of rated values.....	87
9.3	Cable-interface considerations	87
9.4	Continuous or temporary overload due to changed service conditions.....	87
9.5	Environmental aspects	87
9.5.1	Service conditions	87
9.5.2	Clearances affected by service conditions	87
9.5.3	High humidity.....	87
9.5.4	Solar radiation	88
10	Information to be given with enquiries, tenders and orders (informative)	88
10.1	General.....	88
10.2	Information with enquiries and orders	88
10.3	Information with tenders.....	89
11	Transport, storage, installation, operating instructions and maintenance.....	90
11.1	General.....	90
11.2	Conditions during transport, storage and installation	90

11.3	Installation	90
11.3.1	General	90
11.3.2	Unpacking and lifting	90
11.3.3	Assembly	91
11.3.4	Mounting	91
11.3.5	Connections	91
11.3.6	Information about gas and gas mixtures for controlled and closed pressure systems	91
11.3.7	Final installation inspection	92
11.3.8	Basic input data by the user	92
11.3.9	Basic input data by the manufacturer	92
11.4	Operating instructions	93
11.5	Maintenance	93
11.5.1	General	93
11.5.2	Information about fluids and gas to be included in maintenance manual	93
11.5.3	Recommendations for the manufacturer	93
11.5.4	Recommendations for the user	94
11.5.5	Failure report	95
12	Safety	96
12.1	General	96
12.2	Precautions by manufacturers	97
12.3	Precautions by users	97
13	Influence of the product on the environment	97
Annex A	(normative) Identification of test objects	99
A.1	General	99
A.2	Data	99
A.3	Drawings	99
Annex B	(informative) Determination of the equivalent RMS value of a short-time current during a short-circuit of a given duration	101
Annex C	(normative) Method for the weatherproofing test for outdoor switchgear and controlgear	102
Annex D	(informative) References for auxiliary and control circuit components	105
Annex E	(normative) Tolerances on test quantities during tests	107
Annex F	(informative) Information and technical requirements to be given with enquiries, tenders and orders	110
F.1	General	110
F.2	Normal and special service conditions (refer to Clause 4)	110
F.3	Ratings (refer to Clause 5)	111
F.4	Design and construction (refer to Clause 6)	111
F.5	System information	112
F.6	Documentation for enquiries and tenders	112
Annex G	(informative) List of symbols	113
Annex H	(informative) Electromagnetic compatibility on site	114
Annex I	(informative) List of notes concerning certain countries	115
Annex J	(informative) Extension of validity of type tests	116
J.1	General	116
J.2	Dielectric tests	116
J.3	Short-time withstand current tests	116

J.4	Continuous current test.....	116
J.5	Electromagnetic immunity test on auxiliary and control circuits	117
J.6	Environmental tests on auxiliary and control circuits	117
Annex K (informative)	Exposure to pollution.....	118
K.1	General.....	118
K.2	Pollution levels	118
K.3	Minimum requirements for switchgear	118
Bibliography		120
Figure 1	– Examples of classes of contacts.....	43
Figure 2	– Diagram of connections of a three-pole switching device.....	55
Figure 3	– Diagram of a test circuit for the radio interference voltage test	74
Figure 4	– Test location of radiation survey instrument	83
Figure B.1	– Determination of short-time current.....	101
Figure C.1	– Arrangement for weatherproofing test	103
Figure C.2	– Nozzle for weatherproofing test	104
Table 1	– Rated insulation levels for rated voltages of range I, series I	33
Table 2	– Rated insulation levels for rated voltages of range I, series II (based on current practice in some countries, including US).....	34
Table 3	– Rated insulation levels for rated voltages of range II	35
Table 4	– Additional rated insulation levels for range II, based on current practice in some countries, including US.....	36
Table 5	– Peak factors for rated peak withstand current.....	37
Table 6	– Direct current voltage	38
Table 7	– Alternating current voltage	38
Table 8	– Auxiliary contact classes	42
Table 9	– Nameplate information	47
Table 10	– Test conditions in general case	55
Table 11	– Power-frequency test conditions	56
Table 12	– Impulse test conditions	57
Table 13	– Test conditions for the alternative method	57
Table 14	– Limits of temperature and temperature rise for various parts, materials and dielectrics of high-voltage switchgear and controlgear	65
Table 15	– Permissible leakage rates for gas systems	72
Table 16	– Application of voltages at the fast transient/burst test	77
Table 17	– Application of voltage at the damped oscillatory wave test.....	77
Table 18	– Assessment criteria for transient disturbance immunity.....	78
Table D.1	– List of reference documents for auxiliary and control circuit components	105
Table E.1	– Tolerances on test quantities for type test.....	108
Table K.1	– Environmental examples by site pollution severity (SPS) class.....	119
Table K.2	– Minimum nominal specific creepage distance by pollution level.....	119

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

HIGH-VOLTAGE SWITCHGEAR AND CONTROLGEAR –

**Part 1: Common specifications for alternating
current switchgear and controlgear**

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 62271-1 has been prepared by technical committee 17: High-voltage switchgear and controlgear.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 2007 and Amendment 1:2011. This edition constitutes a technical revision.

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

New numbering in accordance with ISO/IEC directives, Part 2 (2016) and IEEE Std. C37.100.1.

- 4.1.2 a) The normal service condition for indoor switchgear is limited to one range of 40 °C to –5 °C.

- 4.1.3 a) The normal service condition for outdoor switchgear is limited to one range of 40 °C to –25 °C.
- 4.2.2: The specifications from IEC 60071-2:1996 are adopted for altitude correction factors above 1 000 m.
- 5.2.2: Range I, the rated voltage of 40,5 kV is added Series I Table 1; Table 2 and Table 4 are updated on recommendation of the US National Committee.
- 6.8: New subclause added for manual operated actuators consistent with “Man Machine Interface” recommendations of IEC 60447 [1] ¹.
- 7.2.6.1: Insert the wording regarding preliminary impulses across open vacuum interrupters according to the result of IEC 17/1026/RQ.
- 7.3: Changed the requirement for radio interference voltage to a rated voltage level of 245 kV and above, instead of 123 kV and above. This change is based on reported positive test and service experience of utility representatives in the maintenance team of this standard.
- 7.5.6, Table 14:
- a) Introduced the distinction of parts in “OG” (oxidizing gas) or in “NOG” (not oxidizing gas) replacing the former “air” and “SF₆”;
 - b) Increased the allowable temperature rise for some parts in groups 1 and 2 of Table 14 according to IEC TR 60943 [2];
 - c) Expanded the definition of allowable temperature rise for categories of accessible surfaces with reference to IEC Guide 117 [3]. See also point 15 in 7.5.6.2.
- 7.5.6.2: Point 5 is modified to clarify the introduction of “OG” and “NOG” gas.
- 7.10: Some tests were removed because the relevant test standards of IEC 60068 series were modified or withdrawn.
- 7.11.3: The acceptance criteria for X-radiation testing are modified to recognize higher rated vacuum interrupters.

Former informative Annex H: Corrosion is deleted, the content is part of IEC TR 62271-306 [4].

New Annex J (informative): Added informative guidelines for the extension of validity of type tests

New Annex K (informative): Added informative guidelines about exposure to pollution

The text of this International Standard is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
17/1033/FDIS	17/1037/RVD

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

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

The reader's attention is drawn to the fact that Annex I lists all of the “in-some-country” clauses on differing practices of a less permanent nature relating to the subject of this standard.

¹ Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

The list of all parts of the IEC 62271 series under the general title, *High-voltage switchgear and controlgear*, can be found on the IEC website.

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

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

INTRODUCTION

In the preparation of this FDIS draft for the general revision of IEC 62271-1:2007 and IEC 62271-1:2007/AMD1:2011, the maintenance team was motivated by the following principles:

- Application of horizontal standards – such application is mandatory for product standards, (reference IEC Guide 108 [5]). A typical example is the application of IEC 60071 (all parts) dealing with insulation coordination.
- Application of the "principle of verifiability" – as defined in the Directives, Part 2, 5.5 (2016) "...Only those requirements which can be verified shall be included."
- Organizing information in the proper clause, e.g. terms and definitions in Clause 3, rated values in Clause 5. For example, the values of rated continuous current are specified in Clause 5 but the conditions of test and acceptance criteria (e.g. temperature rise limits) are moved to Clause 7.
- Normal service conditions in Clause 4 are unambiguous statements of conditions under which the switchgear and controlgear is expected to operate. For example: "Solar radiation does not exceed a level of 1 000 W/m²" rather than "Solar radiation up to a level of 1 000 W/m² should be considered".
- Ratings in Clause 5 have been limited to reflect the common specifications of the switchgear and controlgear that are specified by the user and are necessary for operation on the user's network. See the last paragraph of 5.1 for addition clarification.
- Statements or informative NOTES that reflect design guides (not requirements) or application (not standard requirements) are either removed or moved to Clause 9.
For example, the following former NOTE contains both a design guide and an application issue, neither of which belongs to normal service conditions:
"Under certain levels of solar radiation, appropriate measures, for example roofing, forced ventilation, test simulating solar gain, etc., may be necessary, or derating may be used, in order not to exceed the specified temperature rises and pressure rise limits".
- Specifications for design and construction in Clause 6 have been limited to requirements that can be verified by test or inspection.
- References to tests and procedures that relate to transportation, installation, commissioning and maintenance have been moved to Clause 11.
- Improve wording to minimize the possibility of miss-interpretation or conflicting interpretations of the specifications, methods or criteria.
- Elimination of hanging paragraphs and actual or potential circular references. Reference to ISO/IEC Directives, Part 2, 22.3.3 (2016).

As a result of the application of these principles or objectives, the FDIS draft includes more revisions that might otherwise be expected.

HIGH-VOLTAGE SWITCHGEAR AND CONTROLGEAR –

Part 1: Common specifications for alternating current switchgear and controlgear

1 Scope

This part of IEC 62271 applies to AC switchgear and controlgear designed for indoor and/or outdoor installation and for operation at service frequencies up to and including 60 Hz and having rated voltages above 1 000 V.

This document applies to all high-voltage switchgear and controlgear except as otherwise specified in the relevant IEC standards for the particular type of switchgear and controlgear.

NOTE For the use of this document, high-voltage is defined as the rated voltage above 1 000 V. However, the term medium voltage is commonly used for distribution systems with voltages above 1 kV and generally applied up to and including 52 kV.

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 60038:2009, *IEC standard voltages*

IEC 60050-131:2002, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 131: Circuit theory*

IEC 60050-151:2001, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 151: Electrical and magnetic devices*

IEC 60050-192:2015, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 192: Dependability*

IEC 60050-351, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 351: Control technology*

IEC 60050-441:1984, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 441: Switchgear, controlgear and fuses*
IEC 60050-441:1984/AMD1:2000

IEC 60050-551, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 551: Power electronics*

IEC 60050-581:2008, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 581: Electromechanical components for electronic equipment*

IEC 60050-601, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 601: Generation, transmission and distribution of electricity – General*

IEC 60050-605, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 605: Generation, transmission and distribution of electricity – Substations*

IEC 60050-614:2016, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 614: Generation, transmission and distribution of electricity – Operation*

IEC 60050-811, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 811: Electric traction*

IEC 60050-826:2004, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 826: Electrical installations*

IEC 60060-1:2010, *High-voltage test techniques – Part 1: General definitions and test requirements*

IEC 60068-2-1:2007, *Environmental testing – Part 2-1: Tests – Test A: Cold*

IEC 60068-2-2:2007, *Environmental testing – Part 2-2: Tests – Test B: Dry heat*

IEC 60068-2-30:2005, *Environmental testing – Part 2-30: Tests – Test Db: Damp heat, cyclic (12 h + 12 h cycle)*

IEC 60071-1:2006, *Insulation co-ordination – Part 1: Definitions, principles and rules*
IEC 60071-1:2006/AMD1:2010

IEC 60071-2:1996, *Insulation co-ordination – Part 2: Application guide*

IEC 60085:2007, *Electrical insulation – Thermal evaluation and designation*

IEC 60255-21-1:1988, *Electrical relays – Part 21: Vibration, shock, bump and seismic tests on measuring relays and protection equipment – Section One: Vibration tests (sinusoidal)*

IEC 60270, *High-voltage test techniques – Partial discharge measurements*

IEC 60296, *Fluids for electrotechnical applications – Unused mineral insulating oils for transformers and switchgear*

IEC 60376, *Specification of technical grade sulphur hexafluoride (SF₆) for use in electrical equipment*

IEC 60480, *Guidelines for the checking and treatment of sulphur hexafluoride (SF₆) taken from electrical equipment and specification for its re-use*

IEC 60507, *Artificial pollution tests on high-voltage ceramic and glass insulators to be used on a.c. systems*

IEC 60512-2-2, *Connectors for electronic equipment – Tests and measurements – Part 2-2: Electrical continuity and contact resistance tests – Test 2b: Contact resistance – Specified test current method*

IEC 60529:1989, *Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)*

IEC 60529:1989/AMD1:1999

IEC 60529:1989/AMD2:2013

IEC TS 60815-1:2008, *Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions – Part 1: Definitions, information and general principles*

IEC TS 60815-2:2008, *Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions – Part 2: Ceramic and glass insulators for a.c. systems*

IEC TS 60815-3:2008, *Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions – Part 3: Polymer insulators for a.c. systems*

IEC 61000-4-4, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-4: Testing and measurement techniques – Electrical fast transient/burst immunity test*

IEC 61000-4-11, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-11: Testing and measurement techniques – Voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity tests*

IEC 61000-4-17:2009, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-17: Testing and measurement techniques – Ripple on d.c. input power port immunity test*

IEC 61000-4-18, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-18: Testing and measurement techniques – Damped oscillatory wave immunity test*

IEC 61000-4-29, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-29: Testing and measurement techniques – Voltage dips, short interruptions and voltage variations on d.c. input power port immunity tests*

IEC 61000-6-2, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6-2: Generic standards – Immunity for industrial environments*

IEC 61000-6-5, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6-5: Generic standards – Immunity for equipment used in power station and substation environment*

IEC 61180, *High-voltage test techniques for low-voltage equipment – Definitions, test and procedure requirements, test equipment*

IEC 61810-7:2006, *Electromechanical elementary relays – Part 7: Test and measurement procedures*

IEC 62262:2002, *Degrees of protection provided by enclosures for electrical equipment against external mechanical impacts (IK code)*

IEC 62271-4, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 4: Handling procedures for sulphur hexafluoride (SF₆) and its mixtures*

CISPR 11:2015, *Industrial, scientific and medical equipment – Radio-frequency disturbance characteristics – Limits and methods of measurement*

CISPR TR 18-2, *Radio interference characteristics of overhead power lines and high-voltage equipment – Part 2: Methods of measurement and procedure for determining limits*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC 60050-131, IEC 60050-151, IEC 60050-192, IEC 60050-351, IEC 60050-441, IEC 60050-551, IEC 60050-581, IEC 60050-601, IEC 60050-605, IEC 60050-614, IEC 60050-811 and IEC 60050-826, some of which are recalled hereunder, and the following apply.

ISO and IEC maintain terminological databases for use in standardization at the following addresses:

- IEC Electropedia: available at <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: available at <http://www.iso.org/obp>

NOTE Terms and definitions are classified in accordance with IEC 60050-441. References from other parts than IEC 60050-441 are classified so as to be aligned with the classification used in IEC 60050-441.

3.1 General terms and definitions

3.1.1

switchgear and controlgear

general term covering switching devices and their combination with associated control, measuring, protective and regulating equipment, also assemblies of such devices and equipment with associated interconnections, accessories, enclosures and supporting structures

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-11-01]

3.1.2

external insulation

distances in atmospheric air and along the surfaces in contact with atmospheric air of solid insulation of the equipment which are subject to dielectric stresses and to the effects of atmospheric and other environmental conditions from the site

Note 1 to entry: Examples of environmental conditions are pollution, humidity, vermin, etc.

[SOURCE: IEC 60050-614:2016, 614-03-02]

3.1.3

degree of protection

extent of protection provided by an enclosure against access to hazardous parts, against ingress of solid foreign objects and/or ingress of water and against mechanical impact

[SOURCE: IEC 60529:1989, 3.3, modified – leave out “verified by standardized test methods” and add “against mechanical impact” after “water and”.]

3.1.4

IP code

coding system to indicate the degrees of protection provided by an enclosure against access to hazardous parts, ingress of solid foreign objects, ingress of water and to give additional information in connection with such protection

[SOURCE: IEC 60529:1989, 3.4]

3.1.5

protection provided by an enclosure against access to hazardous parts

protection of persons against

- contact with hazardous low-voltage live parts;
- contact with hazardous mechanical parts;
- approach to hazardous high-voltage live parts below adequate clearance inside an enclosure

Note 1 to entry: This protection may be provided:

- by means of the enclosure itself;
- by means of barriers as part of the enclosure or distances inside the enclosure.

[SOURCE: IEC 60529:1989, 3.6]

3.1.6

IK code

coding system to indicate the degree of protection provided by an enclosure against harmful external mechanical impacts

[SOURCE: IEC 62262:2002, 3.3]

3.1.7 maintenance

combination of all technical and management actions intended to retain an item in, or restore it to, a state in which it can perform as required

Note 1 to entry: Management is assumed to include supervision activities.

[SOURCE: IEC 60050-192:2015, 192-06-01]

3.1.8 visual inspection

visual investigation of the principal features of the switchgear and controlgear

Note 1 to entry: This inspection is generally directed toward pressures and/or levels of fluids, tightness, position of relays, pollution of insulating parts, but actions such as lubricating, cleaning, washing, etc. which can be carried out with the switchgear and controlgear in service are also included.

Note 2 to entry: Observations resulting from inspection can lead to the decision to carry out overhaul.

Note 3 to entry: This inspection can be used for determining the state of tested objects on e.g. cracks in solid insulators.

3.1.9 diagnostic test

comparative test of the characteristic parameters of switchgear and controlgear to verify that it performs its functions, by measuring one or more of these parameters

Note 1 to entry: The result from a diagnostic test can lead to the decision to carry out overhaul.

3.1.10 overhaul

work performed with the objective of repairing or replacing parts which are found to be out of tolerance by inspection, diagnostic test, examination or as required by manufacturer's maintenance manual, in order to restore the component and/or the switchgear and controlgear to an acceptable condition (within tolerance)

3.1.11 failure

loss of ability to perform as required

Note 1 to entry: A failure of an item is an event that results in a fault of that item: see fault (IEC 60050-192:2015, 192-04-01).

Note 2 to entry: Qualifiers, such as catastrophic, critical, major, minor, marginal and insignificant, can be used to categorize failures according to the severity of consequences, the choice and definitions of severity criteria depending upon the field of application.

Note 3 to entry: Qualifiers, such as misuse, mishandling and weakness, may be used to categorize failures according to the cause of failure.

[SOURCE: IEC 60050-192:2015, 192-03-01]

3.1.12 major failure (of switchgear and controlgear)

failure of switchgear and controlgear which causes the cessation of one or more of its fundamental functions

Note 1 to entry: A major failure may result in an immediate change in the system operating conditions, for example, the backup protective equipment will be required to remove the fault or will result in mandatory removal from service within 30 min for unscheduled maintenance.

3.1.13**minor failure** (of switchgear and controlgear)

any failure of a constructional element or a subassembly which does not cause a major failure of the switchgear and controlgear

3.1.14**defect**

imperfection in the state of an item (or inherent weakness) which can result in one or more failures of the item itself, or of another item under the specific service or environmental or maintenance conditions, for a stated period of time

3.1.15**ambient air temperature**

temperature, determined under prescribed conditions, of the air surrounding the complete switching device or fuse

Note 1 to entry: For switching devices or fuses installed inside an enclosure, it is the temperature of the air outside the enclosure.

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-11-13]

3.1.16**monitoring**

observation of the operation of a system or part of a system to verify correct functioning by detecting incorrect functioning, this being done by measuring one or more variables of the system and comparing the measured values with the specified values

Note 1 to entry: Some definitions are given for this term in IEC 60050 (all parts). They are related to different cases of application.

3.1.17**supervision**

activity, performed either manually or automatically, intended to observe the state of an item

Note 1 to entry Automatic supervision may be performed internally or externally to the item.

3.1.18**site pollution severity class****SPS**

classification of pollution severity at a site, from very light to very heavy, as a function of the SPS (site pollution severity)

Note 1 to entry: Adapted from: IEC TS 60815-1:2008, 3.1.15, modified – the term (site pollution severity) is added.

3.1.19**internal insulation**

internal distances of the solid, liquid or gaseous parts of the insulation of equipment which are protected from the effects of atmospheric and other external conditions

[SOURCE: IEC 60050-614:2016, 614-03-03, modified – addition of "parts of".]

3.1.20**non-sustained disruptive discharge****NSDD**

disruptive discharge associated with current interruption that does not result in the resumption of power frequency current or, in the case of capacitive current interruption, does not result in current in the main load circuit

3.2 Assemblies of switchgear and controlgear

3.2.1

test object

equipment needed to represent the switchgear and controlgear for a particular type test

3.3 Parts of assemblies

3.3.1

transport unit

part of switchgear and controlgear intended for transportation without being dismantled

3.3.2

busbar

low-impedance conductor to which several electric circuits can be connected at separate points

Note 1 to entry: In many cases, the busbar consists of a bar.

[SOURCE: IEC 60050-151:2001, 151-12-30]

3.4 Switching devices

3.4.1

(mechanical) switch

mechanical switching device capable of making, carrying and breaking currents under normal circuit conditions which may include specified operating overload conditions and also carrying for a specified time currents under specified abnormal circuit conditions such as those of short-circuit

Note 1 to entry: A switch may be capable of making but not breaking short-circuit currents.

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-14-10]

3.4.2

disconnector

mechanical switching device which provides, in the open position, an isolating distance in accordance with specified requirements

Note 1 to entry: A disconnector is capable of opening and closing a circuit when either negligible current is broken or made, or when no significant change in the voltage across the terminals of each of the poles of the disconnector occurs. It is also capable of carrying currents under normal circuit conditions and carrying currents for a specified time under abnormal conditions such as those of short-circuit.

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-14-05]

3.5 Parts of switchgear and controlgear

3.5.1

enclosure

housing affording the type and degree of protection suitable for the intended application

Note 1 to entry: Enclosures provide protection of persons or livestock against access to hazardous parts. Barriers, shapes of openings or any other means (whether attached to the enclosure or formed by the enclosed equipment) suitable to prevent or limit the penetration of the specified test probes, are considered as a part of the enclosure, when they are secured in position either by means of interlocks, keys, or by hardware requiring a tool to be removed.

[SOURCE: IEC 60050-826:2004, 826-12-20, modified – the Note 1 to entry has been added]

3.5.2**hazardous part**

part that is hazardous to approach or touch

[SOURCE: IEC 60529:1989, 3.5]

3.5.3**contact** (of a mechanical switching device)

conductive parts designed to establish circuit continuity when they touch and which, due to their relative motion during an operation, open or close a circuit or, in the case of hinged or sliding contacts, maintain circuit continuity

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-15-05]

3.5.4**auxiliary circuit** (of a switching device)

all the conductive parts of a switching device which are intended to be included in a circuit other than the main circuit, the earthing circuit and the control circuits of the device

Note 1 to entry: Some auxiliary circuits fulfil supplementary functions such as signalling, interlocking, etc., and, as such, they may be part of the control circuit of another switching device.

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-15-04, modified – "earthing circuit" has been added]

3.5.5**control circuit** (of a switching device)

all the conductive parts (other than the main circuit) of a switching device which are included in a circuit used for the closing operation or opening operation, or both, of the device

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-15-03]

3.5.6**auxiliary switch** (of a mechanical switching device)

switch containing one or more control and/or auxiliary contacts mechanically operated by a switching device

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-15-11]

3.5.7**control switch** (for control and auxiliary circuits)

mechanical switching device which serves the purpose of controlling the operation of switchgear or controlgear, including signalling, electrical interlocking, etc.

Note 1 to entry: A control switch consists of one or more contact elements with a common actuating system.

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-14-46]

3.5.8**auxiliary contact**

contact included in an auxiliary circuit and operated by the switching device

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-15-10, modified – delete "mechanically"]

3.5.9**control contact**

contact included in a control circuit of a switching device and operated by this device

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-15-09, modified – delete "mechanical" and "mechanically"]

3.5.10

connection (bolted or the equivalent)

two or more conductors designed to ensure permanent circuit continuity when forced together by means of screws, bolts or the equivalent

3.5.11

position indicating device

part of a mechanical switching device which indicates whether it is in the open, closed, or where appropriate, earthed position

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-15-25]

3.5.12

monitoring device

device intended to observe automatically the status of an item

3.5.13

pilot switch

non-manual control switch actuated in response to specified condition of an actuating quantity

Note 1 to entry: The actuating quantity may be pressure, temperature, velocity, liquid level, elapsed time, etc.

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-14-48]

3.5.14

partition (of an assembly)

part of an assembly separating one compartment from other compartments

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-13-06]

3.5.15

actuator

part of the actuating system to which an external actuating force is applied

Note 1 to entry: The actuator may take the form of a handle, knob, push-button, roller, plunger, etc.

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-15-22]

3.5.16

splice

connecting device with barrel(s) accommodating electrical conductor(s) with or without additional provision to accommodate and secure the insulation

[SOURCE: IEC 60050-581:2008, 581-24-19, modified – addition of "electrical".]

3.5.17

terminal

point of interconnection of an electric circuit element, an electric circuit or a network with other electric circuit elements, electric circuits or networks

Note 1 to entry: For an electric circuit element, the terminals are the points at which or between which the related integral quantities are defined. At each terminal, there is only one electric current from outside into the element.

Note 2 to entry: The term "terminal" has a related meaning in IEC 60050-151.

[SOURCE: IEC 60050-131:2002, 131-11-11]

3.5.18**terminal block**

assembly of terminals in a housing or body of insulating material to facilitate interconnection between multiple conductors

[SOURCE: IEC 60050-581:2008, 581-26-26]

3.5.19**contactor****mechanical contactor**

mechanical switching device having only one position of rest, operated otherwise than by hand, capable of making, carrying and breaking currents under normal circuit conditions including operating overload conditions

Note 1 to entry: Contactors may be designated according to the method by which the force for closing the main contacts is provided.

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-14-33]

3.5.20**starter**

combination of all the switching means necessary to start and stop a motor in combination with suitable overload protection

Note 1 to entry: Starters may be designated according to the method by which the force for closing the main contacts is provided.

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-14-38]

3.5.21**vacuum interrupter**

component being part of a switching device in which electrical contacts operate in a highly evacuated, hermetically sealed environment

3.5.22**operation counter**

device indicating the number of operating cycles a mechanical switching device has accomplished

3.5.23**coil**

set of series-connected turns, usually coaxial

[SOURCE: IEC 60050-151:2001, 151-13-15]

3.5.24**auxiliary and control circuits**

entity of

- control and auxiliary circuits, mounted on or adjacent to the switchgear or controlgear, including circuits in central control cubicles;
- equipment for monitoring, diagnostics, etc. that is part of the auxiliary circuits of the switchgear or controlgear;
- circuits connected to the secondary terminals of instrument transformers, that are part of the switchgear or controlgear

3.5.25

subassembly (of auxiliary and control circuits)

part of auxiliary and control circuits, with regard to function or position, having its own interface and normally placed in a separate enclosure

3.5.26

interchangeable subassembly (of an auxiliary and control circuits)

subassembly which is intended to be placed in various positions within an auxiliary and control circuits, or intended to be replaced by other similar subassemblies

Note 1 to entry: An interchangeable subassembly has an accessible interface.

3.5.27

interlocking device

device which makes the operation of a switching device dependent upon the position or operation of one or more other pieces of equipment

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-16-49]

3.6 Operational characteristics of switchgear and controlgear

3.6.1

dependent power operation (of a mechanical switching device)

operation by means of energy other than manual, where the completion of the operation is dependent upon the continuity of the power supply (to solenoids, electric or pneumatic motors, etc.)

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-16-14]

3.6.2

stored energy operation (of a mechanical switching device)

operation by means of energy stored in the drive mechanism itself prior to the completion of the operation and sufficient to complete it under predetermined conditions

Note 1 to entry: This kind of operation may be subdivided according to:

- the manner of storing the energy (spring, weight, etc.);
- the origin of the energy (manual, electric, etc.);
- the manner of releasing the energy (manual, electric, etc.).

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-16-15, modified – addition of "drive".]

3.6.3

independent unlatched operation

stored energy operation where energy is stored and released in one continuous operation such that the speed and force of the operation are independent of the rate of applied energy

Note 1 to entry: The energy stored for the operation may originate from the operator (manual) or a power source.

3.6.4

positively driven operation

operation which, in accordance with specified requirements, is designed to ensure that auxiliary contacts of a mechanical switching device are in the respective positions corresponding to the open or closed position of the main contacts

Note 1 to entry: A positively driven operating device is made by the association of a moving part, linked mechanically to the main contact of the primary circuit, without the use of springs, and a sensing element. In the case of mechanical auxiliary contacts, this sensing element can be simply the fixed contact, directly connected to the secondary terminal. In the case where the function is achieved electronically, the sensing element can be a static transducer (optical, magnetic, etc.) associated with a static switch, or associated with an electronic or electro-optic transmitting element.

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-16-12, modified – the Note 1 to entry has been added]

3.6.5 Terms and definitions relative to pressure (or density)

3.6.5.1

filling pressure p_{re} for insulation and/or switching

filling density ρ_{re} for insulation and/or switching

pressure (in Pa), for insulation and/or for switching, referred to the standard atmospheric air conditions of 20 °C and 101,3 kPa (or density), which may be expressed in relative or absolute terms, to which the assembly is filled before being put into service, or automatically replenished

3.6.5.2

filling pressure p_{rm} for operation

filling density ρ_{rm} for operation

pressure (in Pa), for operation, referred to the standard atmospheric air conditions of 20 °C and 101,3 kPa (or density), which may be expressed in relative or absolute terms, to which the energy storage device is filled before being put into service or automatically replenished

3.6.5.3

alarm pressure p_{ae} for insulation and/or switching

alarm density ρ_{ae} for insulation and/or switching

pressure (in Pa), for insulation and/or for switching, referred to the standard atmospheric air conditions of 20 °C and 101,3 kPa (or density), which may be expressed in relative or absolute terms, at which a monitoring signal may be provided

3.6.5.4

alarm pressure p_{am} for operation

alarm density ρ_{am} for operation

pressure (in Pa), for operation, referred to the standard atmospheric air conditions of 20 °C and 101,3 kPa (or density), which may be expressed in relative or absolute terms, at which a monitoring signal from the energy storage device may be provided

3.6.5.5

minimum functional pressure p_{me} for insulation and/or switching

minimum functional density ρ_{me} for insulation and/or switching

pressure (in Pa), for insulation and/or for switching, referred to the standard atmospheric air conditions of 20 °C and 101,3 kPa (or density), which may be expressed in relative or absolute terms, at which and above which rated characteristics of switchgear and controlgear are maintained

3.6.5.6

minimum functional pressure p_{mm} for operation

minimum functional density ρ_{mm} for operation

pressure (in Pa), for operation, referred to the standard atmospheric air conditions of 20 °C and 101,3 kPa (or density), which may be expressed in relative or absolute terms, at which and above which rated characteristics of switchgear and controlgear are maintained and at which a replenishment of the energy storage device becomes necessary

Note 1 to entry: This pressure is often designated as interlocking or lockout pressure.

3.6.6 Terms and definitions relating to gas and vacuum tightness

3.6.6.1

controlled pressure system for gas

volume which is automatically replenished from an external compressed gas supply or internal gas source

Note 1 to entry: Examples of controlled pressure systems are air-blast circuit-breakers or pneumatic drive mechanisms.

Note 2 to entry: A volume may consist of several permanently connected gas-filled compartments.

3.6.6.2

closed pressure system for gas

volume which is replenished when needed by manual connection to an external gas source

Note 1 to entry: Example of closed pressure systems are SF₆ single-pressure circuit-breakers.

3.6.6.3

sealed pressure system

volume for which no further liquid, gas or vacuum processing is required during its expected operating duration

Note 1 to entry: Examples of sealed pressure systems are vacuum interrupters or some SF₆ circuit-breakers.

Note 2 to entry: Sealed pressure systems are completely assembled and tested in the factory.

Note 3 to entry: Expected operating duration starts when the device is sealed.

3.6.6.4

absolute leakage rate

F

amount of gas escaped by time unit

Note 1 to entry: The absolute leakage rate is usually expressed in Pa × m³ × s⁻¹.

3.6.6.5

permissible leakage rate

F_p

maximum permissible absolute leakage rate of gas specified for a part, a component or a sub-assembly, or by using the tightness coordination chart, for an arrangement of parts, components or subassemblies connected together in one pressure system

3.6.6.6

relative leakage rate

F_{rel}

absolute leakage rate related to the total amount of gas in the system at filling pressure (or density)

Note 1 to entry: The relative leakage rate is expressed in percentage per year or per day.

3.6.6.7

time between replenishments

t_r

time elapsed between two replenishments performed manually when the pressure (density) reaches the alarm level, to compensate the leakage rate F

Note 1 to entry: This value is applicable to closed pressure systems.

3.6.6.8

number of replenishments per day

N

number of replenishments to compensate the leakage rate F

Note 1 to entry: This value is applicable to controlled pressure systems.

3.6.6.9

pressure drop

Δp

drop of pressure in a given time caused by the leakage rate F , without replenishment

3.6.6.10**tightness coordination chart**

survey document supplied by the manufacturer, used when testing parts, components or sub-assemblies, to demonstrate the relationship between the tightness of a complete system and that of the parts, components and/or sub-assemblies

3.6.6.11**sniffing**

action of slowly moving a leak meter sensing probe around an assembly to locate a gas leak

3.6.6.12**cumulative leakage measurement**

measurement which takes into account all the leaks from a given assembly to determine the leakage rate

3.6.7 Terms and definitions relating to liquid tightness**3.6.7.1****absolute leakage rate**

F_{liq}

amount of liquid escaped by time unit

Note 1 to entry: The absolute leakage rate is usually expressed in $\text{cm}^3 \times \text{s}^{-1}$.

3.6.7.2**permissible leakage rate**

$F_{p(liq)}$

maximum permissible leakage rate specified by the manufacturer for a liquid pressure system

3.6.7.3**number of replenishments per day**

N_{liq}

number of replenishments to compensate the leakage rate F_{liq}

3.6.7.4**pressure drop**

Δp_{liq}

drop in pressure in a given time caused by the leakage rate F_{liq} without replenishment

3.7 Characteristic quantities**3.7.1****isolating distance** (of a pole of a mechanical switching device)

clearance between open contacts meeting the withstand voltage requirements specified for disconnectors

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-17-35, modified – "safety" replaced by "withstand voltage".]

3.7.2**rated value**

value of a quantity used for specification purposes, established for a specified set of operating conditions of a component, device, equipment or system

[SOURCE: IEC 60050-151:2001, 151-16-08]

3.7.3**highest voltage for equipment** U_m

greatest value of phase-to-phase voltage (RMS value) for which the equipment is designed in respect of its insulation as well as other characteristics which relate to this voltage in the relevant equipment standards

Note 1 to entry: Under normal service conditions specified by the relevant apparatus committee this voltage can be applied continuously to the equipment.

[SOURCE: IEC 60050-614: 2016, 614-03-01, modified – The note to entry was added]

3.7.4**supply voltage (of auxiliary and control circuits)**

RMS value or, if applicable, the DC value, of the voltage existing at a given instant at a point of supply, measured over a given time interval

Note 1 to entry: If a supply voltage is specified for instance in the supply contract, then it is called “declared supply voltage”.

Note 2 to entry: The supply voltage of auxiliary and control circuits is measured at the circuit terminals of the apparatus itself during its operation, including, if necessary, the auxiliary resistors or accessories supplied or required by the manufacturer to be installed in series with it, but not including the conductors for the connection to the electricity supply.

[SOURCE: IEC 60050-614: 2016, 614-01-03, modified – add Note 2 to entry.]

3.8 Index of definitions**A – B**

Absolute leakage rate	3.6.6.4 and 3.6.7.1
Actuator	3.5.15
Alarm pressure (or density) for insulation and/or switching	3.6.5.3
Alarm pressure (or density) for operation	3.6.5.4
Ambient air temperature	3.1.15
Auxiliary and control circuits	3.5.24
Auxiliary circuit	3.5.4
Auxiliary contact	3.5.5
Auxiliary switch	3.5.7
Busbar	3.3.2

C

Closed pressure system for gas	3.6.6.2
Coil	3.5.23
Connection (bolted or the equivalent)	3.5.10
Contact	3.5.3
Control circuit	3.5.5
Control contact	3.5.9
Control switch	3.5.7
Controlled pressure system for gas	3.6.6.1
Cumulative leakage measurement	3.6.6.12

D

Defect	3.1.14
Degree of protection	3.1.3
Dependent power operation (of a mechanical switching device)	3.6.1
Diagnostic test	3.1.9

Disconnecter.....	3.4.2
-------------------	-------

E

Enclosure	3.5.1
External insulation	3.1.2

F

Failure	3.1.11
Filling pressure (or density) for insulation and/or switching	3.6.5.1
Filling pressure (or density) for operation	3.6.5.2

H– I

Hazardous part	3.5.2
Highest voltage for equipment.....	3.7.3
IK code	3.1.6
Independent unlatched operation	3.6.3
Interchangeable subassembly (of auxiliary and control circuits)	3.5.26
Interlocking device	3.5.27
Internal insulation	3.1.19
IP Code	3.1.4
Isolating distance of a pole	3.7.1

M

Maintenance	3.1.7
Major failure (of switchgear and controlgear)	3.1.12
(Mechanical) contactor.....	3.5.19
(Mechanical) switch	3.4.1
Minimum functional pressure (or density) for insulation and/or switching.....	3.6.5.5
Minimum functional pressure (or density) for operation	3.6.5.6
Minor failure (of switchgear and controlgear)	3.1.13
Monitoring.....	3.1.16
Monitoring device.....	3.5.12

N – O

Non-sustained disruptive discharge	3.1.20
Number of replenishments per day.....	3.6.6.8 and 3.6.7.3
Operation counter	3.5.22
Overhaul.....	3.1.10

P

Partition (of an assembly)	3.5.14
Permissible leakage rate.....	3.6.6.5 and 3.6.7.2
Pilot switch	3.5.13
Position indicating device.....	3.5.11
Positively driven operation	3.6.4
Pressure drop	3.6.6.9 and 3.6.7.4
Protection provided by an enclosure against access to hazardous parts	3.1.5

R

Rated value	3.7.2
Relative leakage rate	3.6.6.6

S

Sealed pressure system.....	3.6.6.3
Site pollution severity class.....	3.1.18
Sniffing	3.6.6.11
Splice	3.5.16
Starter	3.5.20
Stored energy operation (of a mechanical switching device)	3.6.2
Subassembly (of auxiliary and control circuits).....	3.5.25
Supervision.....	3.1.17
Supply voltage (of auxiliary and control circuits)	3.7.4
Switchgear and controlgear	3.1.1

T – V

Terminal	3.5.17
Terminal block	3.5.18
Test object.....	3.2.1
Tightness coordination chart	3.6.6.10
Time between replenishments.....	3.6.6.7
Transport unit	3.3.1
Vacuum interrupter	3.5.21
Visual inspection.....	3.1.8

4 Normal and special service conditions**4.1 Normal service conditions****4.1.1 General**

Unless otherwise specified, high-voltage switchgear and controlgear, including the operating devices and the auxiliary equipment which form an integral part of them, are intended to be used in accordance with their rated characteristics and the normal service conditions listed in 4.1.

Operation under normal service conditions is considered to be covered by the type tests according to this document and relevant product standard.

4.1.2 Indoor switchgear and controlgear

The normal service conditions for indoor switchgear and controlgear are:

- a) the ambient air temperature does not exceed 40 °C and its average value, measured over a period of 24 h does not exceed 35 °C. The ambient air temperature does not drop below –5 °C;
- b) there is no influence from solar radiation;
- c) the altitude does not exceed 1 000 m;
- d) the ambient air is not significantly polluted by dust, smoke, corrosive and/or flammable gases, vapours or salt and would be considered as having site pollution severity class (SPS) “very light” according to IEC TS 60815-1:2008;
- e) the conditions of humidity are as follows:
 - the average value of the relative humidity, measured over a period of 24 h, does not exceed 95 %;
 - the average value of the water vapour pressure, over a period of 24 h, does not exceed 2,2 kPa;

- the average value of the relative humidity, over a period of one month, does not exceed 90 %;
- the average value of the water vapour pressure, over a period of one month, does not exceed 1,8 kPa.

NOTE 1 Condensation can be expected where sudden temperature changes occur in periods of high humidity.

NOTE 2 High humidity can also be due to ground level rainwater or for underground applications, from incoming cable raceways connected to switchgear.

- f) vibrations due to causes external to the switchgear and controlgear or earth tremors do not exceed the impact of vibrations caused by operation of the switchgear itself.

4.1.3 Outdoor switchgear and controlgear

The normal service conditions for outdoor switchgear and controlgear are:

- a) the ambient air temperature does not exceed 40 °C and its average value, measured over a period of 24 h does not exceed 35 °C;

the ambient air temperature does not drop below -25 °C;

NOTE 1 Rapid temperature changes can occur, for example a hot sunny day followed by a sudden rain.

- b) solar radiation does not exceed a level of 1 000 W/m²;

NOTE 2 Details of global solar radiation are given in IEC 60721-2-4 [6].

- c) the altitude does not exceed 1 000 m;

- d) the ambient air may be polluted by dust, smoke, corrosive gas, vapours or salt, the pollution does not exceed site pollution severity class (SPS) “medium” as defined by IEC TS 60815-1:2008;

- e) ice coating does not exceed 20 mm;

- f) the wind speed does not exceed 34 m/s;

NOTE 3 Characteristics of wind are defined in IEC 60721-2-2 [8].

- g) the average humidity values given in 4.1.2 e) may be exceeded. Condensation or precipitation may occur;

NOTE 4 Characteristics of precipitation are defined in IEC 60721-2-2 [8].

NOTE 5 The conditions of humidity are always the effect of a combination of relative humidity with other environmental parameters, primarily temperature and rapid change of temperature.

- h) vibrations due to causes external to the switchgear and controlgear or earth tremors do not exceed the impact of vibrations caused by operation of the switchgear itself.

4.2 Special service conditions

4.2.1 General

When high-voltage switchgear and controlgear is expected to be used under conditions different from the normal service conditions given in 4.1, the user's requirements should refer to standardized steps in 4.2.2 up to 4.2.7 if not provided by product standards.

NOTE 1 Appropriate actions are also taken to ensure proper operation under such conditions of other components, such as relays.

NOTE 2 Detailed information concerning classification of environmental conditions is given in IEC 60721-3-3 [9] (indoor) and IEC 60721-3-4 [10] (outdoor).

4.2.2 Altitude

For installations at an altitude higher than 1 000 m, the required insulation withstand level of external insulation at the service location shall be determined according to Clause 4 of IEC 60071-2:1996. The rated insulation level of the switchgear and controlgear should be equal to or higher than this value, reference is made to IEC TR 62271-306 [4].

NOTE 1 For internal insulation, the dielectric characteristics are identical at any altitude and no special precautions need to be taken. For external and internal insulation, refer to IEC 60071-2:1996.

NOTE 2 For low-voltage auxiliary and control equipment, no special precautions need to be taken if the altitude is lower than 2 000 m. For higher altitudes, refer to IEC 60664-1 [11].

4.2.3 Exposure to pollution

For outdoor application ambient air that may be polluted by dust, smoke, corrosive gas, vapours or salt at a level that exceeds severity class (SPS) “medium” as defined by IEC TS 60815-1:2008 should be classified as “heavy” or “very heavy” as defined by IEC TS 60815-1:2008.

For indoor application, ambient air that may be polluted by dust, smoke, corrosive gas, vapours or salt at a level that exceeds severity class (SPS) “very light” as defined by IEC TS 60815-1:2008 should be classified as “light”, “medium”, “heavy” or “very heavy” as defined by IEC TS 60815-1:2008.

NOTE More information about exposure to pollution can be found in Annex K (informative).

For indoor application up to and including 52 kV, IEC TS 62271-304 [12] can be specified, in particular if there are concerns regarding pollution of the switchgear insulation.

4.2.4 Temperature and humidity

For installation at a location where the ambient temperature can be different from the normal service condition ranges stated in 4.1, the ranges of minimum and maximum temperature to be specified should be:

- a) -50 °C to 40 °C for extremely cold climates;
- b) -40 °C to 40 °C for very cold climates;
- c) -30 °C to 40 °C for cold climates;
- d) -25 °C to 40 °C for cold climates (indoor conditions);
- e) -15 °C to 40 °C for moderate climates (indoor conditions);
- f) -5 °C to 55 °C for very hot climates.

In tropical indoor conditions, the average value of relative humidity measured during a period of 24 h can be up to 98 %.

NOTE In certain regions with frequent occurrence of warm humid winds, sudden changes of temperature and/or atmospheric pressure can occur.

4.2.5 Exposure to abnormal vibrations, shock or tilting

Standard switchgear and controlgear is designed for mounting on substantially level structures, free from excessive vibration, shock, or tilting. Where any of these standard conditions may not exist, the requirements for the particular application should be specified by the user.

For installations where earthquakes are likely to occur, the severity level according to a relevant publication or specification (e.g. IEC TR 62271-300 [13], IEC 62271-207 [14] and IEC TS 62271-210 [15]) should be specified by the user. In case of earthquake risk, the user should specify the operational requirements and admissible damage level.

Installations with other unusual forms of vibration shall be identified, such as installations in close proximity to mine blasting or mobile applications.

NOTE Other relevant publications for seismic evaluations are IEEE Standard 693 [16] and IEEE Standard C37.81 [17].

4.2.6 Wind speed

If the wind speed is expected to be in excess of the normal service wind speed of 34 m/s, the user should specify the requirements for a particular application.

4.2.7 Other parameters

When special environmental conditions prevail at the location where switchgear and controlgear is to be placed in service, they should be specified by the user by reference to IEC 60721-1 [18], IEC 60721-2 (all parts) [19] and IEC 60721-3 (all parts) [20].

5 Ratings

5.1 General

The common ratings of switchgear and controlgear assigned by the manufacturer, including their operating devices and auxiliary equipment, shall be selected from the following (as applicable):

- a) rated voltage (U_r);
- b) rated insulation level (U_p , U_d and U_s where applicable);
- c) rated frequency (f_r);
- d) rated continuous current (I_r);
- e) rated short-time withstand current (I_k);
- f) rated peak withstand current (I_p);
- g) rated duration of short-circuit (t_k);
- h) rated supply voltage of auxiliary and control circuits (U_a);
- i) rated supply frequency of auxiliary and control circuits;
- j) rated pressure of compressed gas supply for controlled pressure systems.

NOTE Other ratings can be necessary and will be specified in the relevant IEC product standards.

Ratings define the common specifications of the switchgear and controlgear that are necessary for adequate selection and use in a particular network. Other important characteristics of the switchgear and controlgear are defined in Clause 3, e.g., minimum functional pressure for insulation, some of which are included on the nameplate but are not ratings. Still other characteristics refer to installation, operation and maintenance; they are not considered as ratings since they are related to the technology used for switchgear and controlgear. Examples include normal filling level or filling / alarm pressure (density) of fluids and tightness for liquids, gas and vacuum systems.

5.2 Rated voltage (U_r)

5.2.1 General

The rated voltage (U_r), as used in this document, is the phase-to-phase RMS voltage equal to the maximum system voltage for which the equipment is designed. It indicates the maximum value of the "highest system voltage" of networks for which the equipment may be used (see 3.7.3, highest voltage for equipment U_m). The rated voltages are given in 5.2.2 and 5.2.3 below.

NOTE The term "rated maximum voltage" used in most IEEE switchgear standards has the same meaning as the term "rated voltage" as used in this document.

5.2.2 Range I for rated voltages of 245 kV and below

Series I: 3,6 kV – 7,2 kV – 12 kV – 17,5 kV – 24 kV – 36 kV – 40,5 kV – 52 kV – 72,5 kV – 100 kV – 123 kV – 145 kV – 170 kV – 245 kV.

Series II (Voltages based on the current practice in some countries, e.g. US):
 4,76 kV – 8,25 kV– 15 kV (see Note 1) – 15,5 kV– 25,8 kV (see Note 2) –
 27 kV – 38 kV – 48,3 kV – 72,5 kV – 123 kV–145 kV – 170 kV – 245 kV.

NOTE 1 The 15 kV rating is used in US and some other countries. It has historically been associated with metal-clad and metal-enclosed switchgear used for applications that are primarily indoors and/or outdoors where the insulation level is less than that required for outdoor overhead applications. For applications other than metal-clad or metal-enclosed switchgear, the 15,5 kV rating is preferred.

NOTE 2 The 25,8 kV, still used in IEEE C37.04 [21] as a circuit breaker rating and in some other countries, has been replaced by the 27 kV rating in most relevant equipment standards. For new applications and designs, the 27 kV rating is preferred.

5.2.3 Range II for rated voltages above 245 kV

300 kV – 362 kV – 420 kV – 550 kV – 800 kV – 1 100 kV – 1 200 kV.

5.3 Rated insulation level (U_d , U_p , U_s)

The rated insulation level of switchgear and controlgear shall be selected from the values given in Table 1, Table 2, Table 3 and Table 4.

Withstand values given in Table 1, Table 2, Table 3 and Table 4 cover the application of switchgear and controlgear under normal service conditions defined in 4.1 including altitudes from sea level up to 1 000 m. However for testing purposes to verify a rating or capability, they shall be considered as insulation values at the standardized reference atmosphere temperature (20 °C), pressure (101,3 kPa) and humidity (11 g/m³) specified in IEC 60071-1:2006 and IEC 60071-1:2006/AMD1:2010. For special service conditions, refer to IEC TR 62271-306 [4].

NOTE According to IEC 60071-1:2006 and IEC 60071-1:2006/AMD1:2010 the insulation levels in Table 1 to Table 4 cover the temperature range of -40 °C up to 40 °C.

The rated withstand voltage values for lightning impulse voltage (U_p), switching impulse voltage (U_s) (when applicable), and rated short-duration power-frequency voltage (U_d) shall be selected without crossing the horizontal marked lines in Table 1, Table 2, Table 3, and Table 4.

The "common values" used in Table 1 and Table 2 apply to phase-to-earth, between phases and across the open switching device, if not otherwise specified in this document. The withstand voltage values "across the isolating distance" apply to the switching devices where the clearance between open contacts is designed to meet the dielectric requirements specified for disconnectors.

Table 1 – Rated insulation levels for rated voltages of range I, series I

Rated voltage U_r kV (RMS value)	Rated short-duration power-frequency withstand voltage U_d kV (RMS value)		Rated lightning impulse withstand voltage U_p kV (peak value)	
	Common value	Across the isolating distance	Common value	Across the isolating distance
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
3,6	10	12	20	23
			40	46
7,2	20	23	40	46
			60	70
12	28	32	60	70
			75	85
17,5	38	45	75	85
			95	110
24	50	60	95	110
			125	145
36	70	80	145	165
			170	195
40,5 (NOTE)	80	90	185	215
52	95	110	250	290
72,5	140	160	325	375
100	150	175	380	440
	185	210	450	520
123	185	210	450	520
	230	265	550	630
145	230	265	550	630
	275	315	650	750
170	275	315	650	750
	325	375	750	860
245	360	415	850	950
	395	460	950	1 050
	460	530	1 050	1 200

NOTE The rated voltage of 40,5 kV is recognized in IEC 60038:2009 with a note that unification with the rated voltage of 36 kV is under consideration. Present values are adopted from IEC 60071-1:2006, Annex B.

**Table 2 – Rated insulation levels for rated voltages of range I, series II
(based on current practice in some countries, including US)**

Rated voltage U_r kV (RMS value)	Rated short-duration power-frequency withstand voltage U_d kV (RMS value)		Rated lightning impulse withstand voltage U_p kV (peak value)	
	Common value	Across the isolating distance	Common value	Across the isolating distance
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
4,76	19	21	60	66
8,25	36	40	95	105
15 (NOTE)	36	40	95	105
15,5	36	40	95	105
	50	55	110	121
25,8 (NOTE)	60	66	125	138
			150	165
27	60	66	125	138
	70	77	150	165
38	70	77	150	165
	80	88	170	187
	95	105	200	220
48,3	105	115	250	275
	120	132	250	275
72,5	160	--	350	385
	175	193	350	385
123	260	286	550	--
	280	308	550	605
145	310	--	650	--
	335	369	650	715
170	365	--	750	--
	385	424	750	825
245	425	--	900	--
	465	512	900	990
NOTE For 15 kV and 25,8 kV ratings, see NOTE 1 and NOTE 2 in 5.2.2.				

Table 3 – Rated insulation levels for rated voltages of range II

Rated voltage U_r kV (RMS value)	Rated short-duration power-frequency withstand voltage U_d kV (RMS value)		Rated switching impulse withstand voltage U_s kV (peak value)			Rated lightning impulse withstand voltage U_p kV (peak value)	
	Phase-to-earth and between phases (NOTE 2)	Across open switching device and/or isolating distance (NOTE 2)	Phase-to-earth and across open switching device (NOTE 2)	Between phases (NOTES 2 and 3)	Across isolating distance (NOTES 1 and 2)	Phase-to-earth and between phases (NOTE 2)	Across open switching device and/or isolating distance (NOTES 1 and 2)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
300	395	435	750	1 125	700(+245)	950	950(+170)
			850	1 275		1 050	1 050(+170)
362	450	520	850	1 275	800(+295)	1 050	1 050(+205)
			950	1 425		1 175	1 175(+205)
420	520	610	950	1 425	900(+345)	1 300	1 300(+240)
			1 050	1 575		1 425	1 425(+240)
550	620	800	1 050	1 680	900(+450)	1 425	1 425(+315)
			1 175	1 760		1 550	1 550(+315)
800	830	1 150	1 425	2 420	1 175(+650)	2 100	2 100(+455)
			1 550	2 480			
1 100	1 100	1 100	1 550	2 635	1 550 + (900)	2 250	2 250 + (630)
		1 100 + (635)	1 800	2 880	1 675 + (900)	2 400	2 400 + (630)
1 200	1 200	1 200	1 800	2 970	1 675 + (980)	2 400	2 400 + (685)
		1 200 + (695)	1 950	3 120		2 550	2 550 + (685)

NOTE 1 In column (6), values in brackets are the peak values $U_r \times \sqrt{2}/\sqrt{3}$ of the power-frequency voltage applied to the opposite terminal (combined voltage).

In column (8), values in brackets are the peak values $0,7 U_r \times \sqrt{2}/\sqrt{3}$ of the power-frequency voltage applied to the opposite terminal (combined voltage).

NOTE 2 Values of column (2) are applicable:

- a) for type tests, phase-to-earth and phase-to-phase;
- b) for routine tests, phase-to-earth, phase-to-phase, and across the open switching device.

The values of columns (3),(4), (5), (6), (7) and (8) are applicable for type tests only.

NOTE 3 These values are derived using the multiplying factors given in Table 3 of IEC 60071-1:2006/AMD1:2010.

Table 4 – Additional rated insulation levels for range II, based on current practice in some countries, including US

Rated voltage U_r kV (RMS value)	Rated short-duration power-frequency withstand voltage U_d kV (RMS value)		Rated switching impulse withstand voltage U_s kV (peak value)		Rated lightning impulse withstand voltage U_p kV (peak value)	
	Phase-to-earth and between phases	Across open switching device and/or isolating distance	Phase-to-earth switching device closed	Terminal to terminal, switching device open	Phase-to-earth and between phases	Across open switching device and/or isolating distance
	(NOTE)	(NOTE)	(NOTE)	(NOTE)	(NOTE)	(NOTE)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
362	555	555	825	900	1 300	1 300
362	610	671	885	825+(295)	1 300	1 430
550	860	890	1 180	1 300	1 800	1 800
550	810	891	1 150	1 000+(450)	1 800	1 980
800	960	960	1 430	1 500	2 050	2 050
800	940	1 034	1 300	1 000+(650)	2 050	2 255
NOTE Values of column (2) are applicable: a) for type tests, phase-to-earth and phase-to-phase; b) for routine tests, phase-to-earth, phase-to-phase, and across the open switching device. Values of columns (3), (4), (5), (6) and (7) are applicable for type tests only. In Column (5), values in brackets are the peak values $U_r \sqrt{2}/\sqrt{3}$ of the power-frequency voltage applied to the opposite terminal (combined voltage).						

5.4 Rated frequency (f_r)

The preferred values of the rated frequency are 16,7 Hz, 25 Hz, 50 Hz and 60 Hz.

5.5 Rated continuous current (I_r)

This rating defines the RMS value of the current the switchgear and controlgear can carry continuously for its service conditions (see Clause 4).

The values of rated continuous current should be selected from the R 10 series, specified in IEC 60059.

NOTE 1 The R 10 series comprises the numbers 1 – 1,25 – 1,6 – 2 – 2,5 – 3,15 – 4 – 5 – 6,3 – 8 and their products by 10^n .

NOTE 2 The term rated continuous current associated with the continuous current test in 7.5 as used in this edition is equivalent to the term rated normal current used in the previous edition of this document.

5.6 Rated short-time withstand current (I_k)

This rating defines the RMS value of the short-circuit current that the switchgear and controlgear can carry in the closed position during its rated duration (see 5.8) under its service conditions (see Clause 4).

The value of rated short-time withstand current should be selected from the R 10 series specified in IEC 60059.

NOTE The R 10 series comprises the numbers 1 – 1,25 – 1,6 – 2 – 2,5 – 3,15 – 4 – 5 – 6,3 – 8 and their products by 10^n .

5.7 Rated peak withstand current (I_p)

This rating defines the peak current associated with the first major loop of the rated short-time withstand current that the switchgear and controlgear can carry in the closed position under its service conditions (see Clause 4).

The rated peak withstand current is obtained by multiplying the RMS value of the rated short-time withstand current with a peak factor. This peak factor is a function of the DC time constant of the network and the rated frequency.

A DC time constant of 45 ms covers the majority of cases and corresponds to a rated peak withstand current equal to 2,5 times the rated short-time withstand current for a rated frequency of 50 Hz. For a rated frequency of 60 Hz, it is equal to 2,6 times the rated short-time withstand current.

Table 5 gives peak factors for different time constants and rated frequencies.

NOTE 1 IEC TR 62271-306 [4] gives the information for calculating peak factors according to rated frequency and time constant of the network.

NOTE 2 For non-simultaneous drive mechanisms of each pole the peak factor can be different, for details, see IEC TR 62271-306 [4].

Table 5 – Peak factors for rated peak withstand current

Rated frequency (f_r) Hz	DC time constant ms			
	45	60	75	120
16,7	2,1	2,3	2,4	2,5
25	2,3	2,4	2,5	2,6
50	2,5	2,6	2,7	2,7
60	2,6	2,7	2,7	2,7

5.8 Rated duration of short-circuit (t_k)

This rating defines the interval of time for which the switchgear and controlgear can carry, in the closed position, a current equal to its rated short-time withstand current.

The preferred value of rated duration of short-circuit is 1 s.

An alternative value lower or higher than 1 s may be chosen, e.g. 0,5 s, 2 s, 3 s.

5.9 Rated supply voltage of auxiliary and control circuits (U_a)

5.9.1 General

Several auxiliary voltages can be used on a single piece of switchgear and controlgear.

5.9.2 Rated supply voltage (U_a)

The rated supply voltage should be selected from the standard values given in Table 6 and Table 7.

Table 6 – Direct current voltage

U_a V
24
48
60
110
125
220
250

Table 7 – Alternating current voltage

Line number	Three-phase, three-wire or four-wire systems V	Single-phase, three-wire systems V	Single-phase, two-wire systems V
(1)	(2)	(3)	(4)
1	–	120/240	120
2	120/208	–	120
3	(220/380)	–	(220)
4	230/400	–	230
5	(240/415)	–	(240)
6	277/480	–	277
7	347/600	–	347

The value 230/400 V indicated in line 4 of this table should be, in the future, the IEC standard voltage replacing the values 220/380 V and 240/415 V in lines 3 and 5 and its adoption is recommended in new systems. The voltage variations of existing systems at 220/380 V and 240/415 V should be brought within the range 230/400 V $\pm$ 23/40 V. The reduction of this range will be considered at a later stage of standardization.

NOTE The lower values in the column (2) of this table are voltages to neutral and the higher values are voltages between phases. The lower value in the column (3) is the voltage to neutral and the higher value is the voltage between lines.

5.10 Rated supply frequency of auxiliary and control circuits

When alternating current supply voltage is used, the preferred values of rated supply frequency are 50 Hz and 60 Hz.

5.11 Rated pressure of compressed gas supply for controlled pressure systems

The preferred values of rated pressure (relative pressure) are:

0,5 MPa – 1 MPa – 1,6 MPa – 2 MPa – 3 MPa – 4 MPa.

NOTE Examples of controlled pressure systems are air-blast circuit-breakers or pneumatic drive mechanisms.

6 Design and construction

6.1 Requirements for liquids in switchgear and controlgear

The manufacturer shall specify the type and the required quantity and quality of the liquid used in switchgear and controlgear.

The manufacturer shall provide the user with necessary instructions for renewing the liquid and maintaining its required quantity and quality (refer to 11.5.2) except for sealed pressure systems.

For oil-filled switchgear and controlgear, insulating oil complying with IEC 60296 shall be used.

6.2 Requirements for gases in switchgear and controlgear

The manufacturer shall specify the type and the required quantity, and quality of the gas used in switchgear and controlgear.

The manufacturer shall provide the user with necessary instructions for renewing the gas and maintaining its required quantity and quality (refer to 11.5.2 and item a) of 11.5.3). This requirement does not apply to sealed pressure systems.

For sulphur hexafluoride (SF_6) filled switchgear and controlgear, SF_6 in accordance with IEC 60376 for new SF_6 and IEC 60480 for reused SF_6 shall be used. For switchgear and controlgear with SF_6 mixtures, reference is made to IEC 62271-4.

In order to prevent condensation, the maximum allowable humidity content within gas-filled switchgear and controlgear filled with gas at the filling density for insulation ρ_{re} shall be such that the dew point at filling pressure (density) for insulation is not higher than -5 °C for a measurement at 20 °C during service life, refer to 11.3.6.

6.3 Earthing of switchgear and controlgear

Switchgear and controlgear shall be provided with a reliable earthing point for connection of an earthing conductor suitable for specified fault conditions. The connecting point shall be marked with the "protective earth" symbol, as indicated by symbol IEC 60417-5019:2006-08. Conductive parts of the switchgear and controlgear intended to be connected to the earthing system, may be designed to be part of the earthing circuit.

All conductive components and enclosures that may be touched during normal operating conditions and are intended to be earthed shall be designed to carry 30 A (DC) with a voltage drop of maximum 3 V to the earthing point provided at the switchgear and controlgear.

NOTE For guidance on the connection of the earthing point of the switchgear and controlgear to the main station earth, Clause 10 of IEC 61936-1:2010 and IEC 61936-1:2010/AMD1:2014 [22] applies.

6.4 Auxiliary and control equipment and circuits

6.4.1 General

Switchgear and controlgear include all auxiliary equipment and electrical circuits (electronic controls, supervision, monitoring and communication).

In case of electrical circuits it shall be possible to operate normally when the supply voltage measured at the supply terminals of the auxiliary and control circuits during operations is such that:

- the voltage variation is within 85 % to 110 % of rated supply voltage (U_a);

- in the case of DC, the ripple voltage is limited to a value not greater than 5 % of U_a ;
- the voltage drops and the supply interruptions are within the limits of IEC 61000-4-29 (DC supply voltage) and IEC 61000-4-11 (AC supply voltage).

As far as supply interruptions are concerned, the system is considered to perform correctly if

- there are no false operations;
- there are no false alarms or false remote signalling;
- any pending action is correctly completed, a short delay is acceptable.

Specific conditions are given in 6.9 for shunt closing releases, shunt opening releases and under-voltage releases.

For supply voltages lower than the minimum stated above, precautions shall be taken to prevent any damage to electronic equipment and/or unsafe operation due to its unpredictable behaviour.

Requirements for the interface with digital communication that ensure compliance with IEC 61850 (all parts) [23] are detailed in IEC 62271-3 [24].

6.4.2 Protection against electric shock

6.4.2.1 Protection of auxiliary and control circuits from the main circuit

Auxiliary and control circuits that are installed on the frame of switchgear and controlgear shall be suitably protected against disruptive discharge from the main circuit. This is verified by dielectric type tests specified in 7.2, see 7.2.5 c).

6.4.2.2 Safety clearance during service

Auxiliary and control circuits to which access is required during service shall be accessible without the need to compromise clearances to hazardous parts.

6.4.3 Components installed in enclosures

6.4.3.1 Selection of components

All components used in the auxiliary and control circuits shall be designed or selected to be operational with their rated characteristics over the full range of service conditions inside auxiliary and control circuits enclosures. Suitable precautions (for example, heaters, ventilators, insulation, etc.) should be taken to ensure that those service conditions essential for proper operation of relays, contactors, low-voltage switches, meters, operation counters, push-buttons, etc. are maintained.

NOTE These internal conditions in control cabinet for auxiliary and control circuits can differ from the external service conditions specified in Clause 4.

The loss of “suitable precautions” shall not cause failure of the auxiliary and control circuits within the enclosure or untimely operation of the switchgear within the specified time. Selection of components should take into account the temperature obtained in the cabinet of the control and auxiliary circuit during a 2-hour period following the loss of the “suitable precautions” in order to ensure the proper operation of switchgear and controlgear until the end of this 2-hour period.

After this 2-hour period non-operation is acceptable. If the loss of the “suitable precautions” is longer than 2 h but does not exceed 24 h in total, the functionality of the switchgear and controlgear shall come back to its original characteristics when the service conditions are recovered.

Where heating is essential for correct functioning of the equipment, monitoring of the heating circuit shall be provided.

In the case of switchgear and controlgear designed for outdoor installation, suitable arrangements (ventilation and/or internal heating, etc.) may be required to prevent harmful condensation in auxiliary and control circuit enclosures.

6.4.3.2 Accessibility

Closing and opening actuators and emergency shut-down system actuators shall be located between 0,4 m and 2 m above the floor, ground or operating platform normally used by operating personnel.

Other actuators should be located at such a height that they can be easily operated, and indicating devices should be located at such a height as to be readily legible.

Where a component may need adjustment during its service life, access shall be provided with protection level of at least IP XXB, refer to IEC 60529:1989, IEC 60529:1989/AMD1:1999 and IEC 60529:1989/AMD2:2013.

6.4.3.3 Identification

Identification of components installed in enclosures shall be in agreement with the indication on the wiring diagrams and drawings. If a component is of the plug-in type, an identifying mark should be placed on the component and on the fixed part where the component plugs in.

6.4.3.4 Requirements for auxiliary and control circuit components

6.4.3.4.1 General

The auxiliary and control circuit components shall comply with applicable IEC standards if one exists. Annex D (informative) is provided as a quick reference to many of the component standards.

6.4.3.4.2 Cables and wiring

Where a facility for external wiring is provided, it shall be through an appropriate connecting device, e.g. terminal blocks or plug-in terminations.

Polarity reversal at the interfacing point shall not damage auxiliary and control circuits.

Terminal blocks should be fixed. Cables between two terminal blocks shall have no intermediate splices or soldered joints.

Cables and wiring shall be adequately supported and shall not rest against sharp edges.

The available wiring space for external connection shall permit spreading of the cores of multi-core cables and the proper termination of the conductors without undue stresses.

Conductors connected to components mounted on doors shall be so installed that no mechanical damage can occur to the conductors as a result of movement of these doors.

6.4.3.4.3 Terminals

If facilities are provided for connecting incoming and outgoing neutral, protective and PEN (protective earthed neutral) conductors, they shall be situated in the vicinity of the associated phase conductor terminal.

6.4.3.4.4 Auxiliary switches

Auxiliary switches shall be suitable for the number of operating cycles specified for the high-voltage switching device to which they are linked.

Auxiliary switches which are operated in conjunction with the main contacts shall be positively driven in both directions. An auxiliary switch may consist of a set of two one-way positively driven auxiliary contacts (one for each direction).

6.4.3.4.5 Auxiliary and control contacts

Auxiliary and control contacts shall be suitable for the number of operating cycles specified for the switching device. This requirement is verified by the mechanical endurance test of the high-voltage switching devices to which they are linked.

The operational characteristics of the auxiliary contacts that are made available to the user shall comply with one of the classes shown in Table 8.

Table 8 – Auxiliary contact classes

DC current				
Class	Rated continuous current	Rated short-time withstand current	Breaking capacity	
			$U_a \leq 48 \text{ V}$	$110 \text{ V} \leq U_a \leq 250 \text{ V}$
1	10 A	100 A/30 ms		440 W
2	2 A	100 A/30 ms		22 W
3	200 mA	1 A/30 ms	50 mA	

NOTE 1 Control contacts which are included in a control circuit of a mechanical switching device can be covered by this table.

NOTE 2 If insufficient current is flowing through the contact, oxidation can increase the resistance. Therefore, a minimum value of current is specified for class 1 contact.

NOTE 3 In the case of the application of solid state contacts, the rated short-time withstand current can be reduced if current-limiting equipment, other than fuses, is employed.

NOTE 4 For all classes, breaking capacity are based on a circuit time constant of 20 ms with a tolerance of $^{+20}_0$ %.

NOTE 5 An auxiliary contact which complies with class 1 2 or 3 for DC is normally able to handle corresponding AC current and voltage.

NOTE 6 Breaking current at a defined voltage value between 110 V and 250 V can be deduced from the indicated power value for class 1 and class 2 contacts (for example, 2 A at 220 V DC for a class 1 contact).

Examples of the use of the three contact classes are shown in Figure 1.

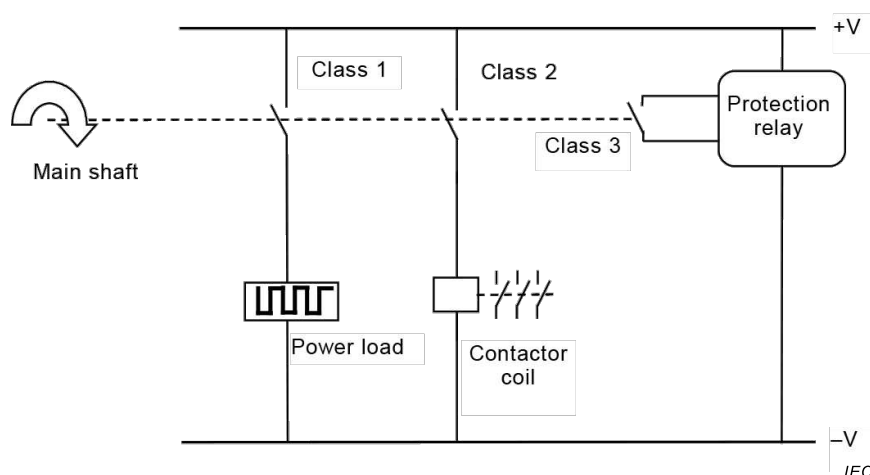


Figure 1 – Examples of classes of contacts

6.4.3.4.6 Heating elements

All heating elements shall be designed to prevent touching an electrically live part.

Where contact with a heater or shield can occur accidentally, the surface temperature shall not exceed the temperature limits for accessible parts not to be touched in normal operation, as specified in 7.5.6.

6.4.3.5 Operation counter

Operation counters shall be suitable for their intended duty in terms of environmental conditions and for the number of operating cycles specified for the switching devices.

6.5 Dependent power operation

A switching device arranged for dependent power operation with external energy supply shall be able to switch its rated making and/or breaking currents (if any) when the voltage or the pressure of the power supply of the operating device is at the lower of the limits specified under 6.4.1 and 6.6.2 (the term "operating device" here embraces intermediate control relays and contactors where provided).

Except for slow operation during maintenance, the main contacts shall only move under the action of the drive mechanism and in the designed manner. The closed or open position of the main contacts shall not change as a result of loss of the energy supply or the re-application of the energy supply after a loss of energy, to the closing and/or opening device.

6.6 Stored energy operation

6.6.1 General

A switching device arranged for stored energy operation shall be capable of making and breaking all currents up to its rated values when the energy storage device is suitably charged. Except for slow operation during maintenance, the main contacts shall only move under the action of the drive mechanism and in the designed manner, and not due to re-application of the energy supply after a loss of energy (electric power or pressure supply).

A device indicating when the energy storage device is charged shall be mounted on the switching device except in the case of an independent unlatched operation.

It shall not be possible for the moving contacts to move from one position to the other, unless the stored energy is sufficient for satisfactory completion of the opening or closing operation. Stored energy devices shall be able to be discharged to a safe level prior to access.

6.6.2 Energy storage in gas receivers or hydraulic accumulators

When the energy storage device is a gas receiver or hydraulic accumulator, the requirements of 6.6.1 apply at operating pressures between the limits specified in items a) and b).

a) External pneumatic or hydraulic supply

Unless otherwise specified by the manufacturer, the limits of the operating pressure are 85 % and 110 % of their specified rated pressure.

These limits do not apply when the gas receivers also store compressed gas for interruption.

b) Compressor or pump integral with the switching device or the operating device

The limits of operating pressure shall be stated by the manufacturer.

6.6.3 Energy storage in springs (or weights)

When the energy storage device is a spring (or weight), the requirements of 6.6.1 apply when the spring is charged (or the weight lifted).

6.6.4 Manual charging

If a spring (or weight) is charged by hand, the direction of motion of the handle shall be marked.

The manual charging facility shall be designed such that the handle is not driven by the operation of the switching device.

The maximum actuating force required for manually charging a spring (or weight) shall not exceed 250 N.

6.6.5 Motor charging

Motors, and their electrically operated auxiliary equipment for charging a spring (or weight) or for driving a compressor or pump, shall operate satisfactorily between 85 % and 110 % of the rated supply voltage (refer to 5.9), the frequency, in the case of AC, being the rated supply frequency (refer to 5.10).

NOTE For electric motors, the limits do not imply the use of non-standard motors but only the selection of a motor which at these values provides the necessary power, and the rated voltage of the motor need not coincide with the rated supply voltage of the auxiliary and control circuits.

6.6.6 Energy storage in capacitors

When the energy storage is a charged capacitor, the requirements of 6.6.1 apply when the capacitor is charged.

6.7 Independent unlatched operation (independent manual or power operation)

The mechanism shall not reach the energy release point of a close operation if the switching device is in the closed state or of an open operation if it is open.

NOTE 1 This requirement is to prevent the inadvertent, and potentially damaging, discharge of stored energy against an already closed or already open switching device.

It shall not be possible to progressively store energy by incomplete operations against an interlock, if supplied. During the operation, any movement of the contacts prior to release of

the energy shall not reduce any electrically stressed gap to below that which will withstand rated insulation levels.

For a switching device with short-circuit making capacity but no short-circuit current breaking capacity, a time delay shall be introduced between the closing and opening operation. This time delay shall be not less than the rated duration of the short-circuit (refer to 5.8).

NOTE 2 The intention of the provision is to let the switching device “ride out” the short-circuit in the closed position until a back-up device safely clears the fault.

6.8 Manually operated actuators

The direction of operation of manually operated actuators shall be self-evident or explicit.

Preferred operation principles are to

- turn clockwise to close and anti-clockwise to open, or
- push in to close and pull out to open, or
- move right to close and move left to open, or
- move upwards to close and move downwards to open.

Other design may be implemented.

NOTE Reference is made to IEC 60447.

6.9 Operation of releases

6.9.1 General

See 6.4.1 for the basis of operation limits with respect to supply voltage.

6.9.2 Shunt closing release

A shunt closing release shall be able to operate within a voltage range of the power supply, measured at the input terminals, between 85 % and 110 % of the rated supply voltage of the closing device (refer to 5.9), the frequency, in the case of AC, being the rated supply frequency of the closing device (refer to 5.10).

6.9.3 Shunt opening release

A shunt opening release shall be able to operate under all operating conditions of the switching device up to its rated short-circuit breaking current (if any), and between 70 % in the case of DC – or 85 % in the case of AC – and 110 % of the rated supply voltage of the opening device measured at the input terminals (refer to 5.9), the frequency, in the case of AC, being the rated supply frequency of the opening device (refer to 5.10).

6.9.4 Capacitor operation of shunt releases

When a rectifier-capacitor combination is provided as an integral part of the switching device for stored energy of a shunt release, the charge of the capacitors derived from the voltage of the main circuit or auxiliary supply, shall be sufficient for satisfactory operation of the release 5 s after the voltage supply has been disconnected from the terminals of the combination and replaced by a short-circuiting link.

The voltages of the main circuit before disconnection shall be taken as the lowest voltage of the system associated with the rated voltage of the switching device. IEC 60038:2009 shall be referred to for the relation between “highest voltage for equipment” and system voltages.

6.9.5 Under-voltage release

When an under-voltage release is provided, it shall operate to open and prevent closing of the switching device for all values of the voltage at its terminals below 35 % of its rated supply voltage.

Between 70 % and 35 % of its rated supply voltage, the under-voltage release may operate, opening the switching device and preventing its closing.

On the other hand, the under-voltage release shall not operate to open the switching device when the voltage at its terminals exceeds 70 % (AC or DC) of its rated supply voltage.

The closing of the switching device shall be possible when the value of the voltage at the terminals of the release is equal to or greater than 85 % of its rated voltage.

6.10 Pressure/level indication

6.10.1 Gas pressure

Closed pressure systems filled with compressed gas for insulation and/or operation and having a minimum functional pressure for insulation and/or operation above 0,2 MPa (absolute pressure), shall be provided with a device capable of monitoring the pressure (or density).

The uncertainty of the gas monitoring device should be established and take into account pressure coordination (filling, minimum functional and alarm pressure) and leakage rate.

6.10.2 Liquid level

A device for checking the liquid level, with indication of minimum and maximum limits permissible for correct operation, shall be provided. This requirement is not applicable to dashpots or shock-absorbers.

6.11 Nameplates

6.11.1 General

Switchgear and controlgear (and their operating devices where applicable) shall be provided with nameplates that contain the information required to identify the equipment, its ratings and appropriate operating parameters as specified in the relevant IEC standards.

6.11.2 Application

Table 9 shall be used where applicable if the product standard does not provide more specific information.

In particular, the terminology, abbreviations and units given in the table shall be used as appropriate. Annex G (informative) provides an extended list including non-rated values. The following recommendations should be considered as appropriate:

- a) the type and mass of insulating fluid should be noted either on a nameplate or on a label placed in a visible location;
- b) it should be stated whether pressures are absolute or relative values;
- c) switchgear and controlgear installed outdoors or in high humidity should have nameplates and have methods of attachment that are weather-proof and corrosion-proof;
- d) switchgear and controlgear that consist of several poles with individual drive mechanisms should be provided with a nameplate for each pole;

- e) for an operating device combined with a switchgear device, it may be sufficient to use only one combined nameplate;
- f) nameplates should be visible in the position of normal service and installation;
- g) technical characteristics on nameplates and/or in documents which are common to several kinds of high-voltage switchgear and controlgear should be represented by the same symbols;
- h) since other characteristics (such as type of gas or temperature limits) are specialized, they shall be represented by the symbols which are used in the relevant standards.

Table 9 – Nameplate information

Item		Abbreviation	Unit	(**)	Condition: Marking only required if
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1	Name of manufacturer			X	
2	Type designation and serial number			X	
3	Rated voltage	U_r	kV	X	
4	Rated short-duration power-frequency withstand voltage	U_d	kV	X	
5	Rated lightning impulse withstand voltage	U_p	kV	X	
6	Rated switching impulse withstand voltage	U_s	kV	Y	rated voltage 300 kV and above
7	Rated frequency	f_r	Hz	X	
8	Rated continuous current	I_r	A	X	
9	Rated short-time withstand current	I_k	kA	X	
10	Rated peak withstand current	I_p	kA	X	
11	Rated duration of short-circuit	t_k	s	Y	different from 1 s
12	Filling pressure for operation(*)	p_{rm}	MPa	X	
13	Filling pressure for insulation(*)	p_{re}	MPa	X	
14	Alarm pressure for insulation(*)	p_{ae}	MPa	X	
15	Alarm pressure for operation(*)	p_{am}	MPa	X	
16	Minimum functional pressure for insulation and/or switching(*)	p_{me}	MPa	X	
17	Minimum functional pressure for operation(*)	p_{mm}	MPa	X	
18	Rated supply voltage(s) of auxiliary and control circuits. Specify DC / AC (with rated frequency)	U_a	V	X	
19	Type and mass of fluid (liquid or gas) for insulation	M_f	kg	X	
20	Mass of switchgear and controlgear (including any fluid)	M	kg	Y	more than 300 kg
21	Year of manufacture			X	
22	Minimum and maximum ambient air temperature		°C	Y	If different from –5 °C and/or 40 °C
(*) Absolute pressure (abs.) or relative pressure (rel.) to be stated on the nameplate					
(**) X = the marking of these values is mandatory, where applicable.					
Y = conditions for marking of these values are given in column (6).					

NOTE 1 The abbreviation in column (3) can be used instead of the terms in column (2) to be stated on the nameplate.

NOTE 2 When terms in column (2) are used, the word “rated” does not need to appear.

6.12 Locking devices

Switching devices, the incorrect operation of which can cause damage or which are used for assuring isolating distances, shall be provided with locking facilities (for example, provision for padlocks).

6.13 Position indication

Indication of the actual position of the main contacts of the switching devices shall be provided unless the contacts themselves are visible in all positions.

Requirements for position indicating devices are as follows:

- it shall be possible to read the position-indicating device when operating locally;
- all stable positions such as open, closed and test positions shall be clearly indicated.

Identification of the open, closed and where appropriate earthed positions should use symbols and/or colours defined by the relevant IEC publications: IEC 60073 [25] for colours, IEC 60417 [26] for symbols and IEC 60617 [27] for diagrams.

6.14 Degrees of protection provided by enclosures

6.14.1 General

The enclosures shall provide degrees of protection in accordance with 6.14.2 through 6.14.4.

6.14.2 Protection of persons against access to hazardous parts and protection of the equipment against ingress of solid foreign objects (IP coding)

The degree of protection of persons and of equipment provided by an enclosure against access to hazardous parts of the main circuit, control and/or auxiliary circuits and to any hazardous moving parts and against ingress of solid foreign objects shall be at least IP1XB according to IEC 60529:1989, IEC 60529:1989/AMD1:1999 and IEC 60529:1989/AMD2:2013.

6.14.3 Protection against ingress of water (IP coding)

For equipment of indoor installation, no minimum degree of protection against harmful ingress of water is specified, i.e. the second characteristic numeral of the IP code is X according to IEC 60529:1989, IEC 60529:1989/AMD1:1999 and IEC 60529:1989/AMD2:2013.

Equipment for outdoor installation shall be at least IPX3 according to IEC 60529:1989, IEC 60529:1989/AMD1:1999 and IEC 60529:1989/AMD2:2013. If it is provided with additional protection features against rain and other weather conditions (supplementary letter W), the performance refers to the situation with these features in place and shall be demonstrated according to Annex C (normative) (see 7.7.1).

6.14.4 Protection against mechanical impact under normal service conditions (IK coding)

For indoor installation, the preferred impact level is IK07 according to IEC 62262:2002 (2 J).

For outdoor installation without additional mechanical protection, the minimum impact level shall be IK10 according to IEC 62262:2002 (20 J).

Insulators and bushings of high-voltage switchgear and controlgear are not subjected to this requirement.

6.15 Creepage distances for outdoor insulators

Annex K gives general rules that assist in choosing insulators which should give satisfactory performance under polluted conditions.

The general rules given in Annex K (informative) are applicable for glass, ceramic and polymer insulators.

6.16 Gas and vacuum tightness

6.16.1 General

The following specifications apply to all switchgear and controlgear that use vacuum or gas, other than ambient air, as an insulating, switching, combined insulating and switching, or operating medium.

For vacuum tightness no leakage rate F needs to be specified, instead the level of vacuum and the expected operating duration shall be given.

NOTE 1 IEC TR 62271-306 [4] and Cigre Brochure 430 [28] give some information, examples and guidance for tightness.

The absolute leakage rate F shall not exceed the specified value of the permissible leakage rate F_p at standardized ambient temperature of 20 °C.

An increased leakage rate at extreme temperatures is permissible, provided that this rate resets to a value not higher than the permissible value F_p at standardized ambient temperature of 20 °C. The increased temporary leakage rate shall not exceed the values given in 7.8.1.

NOTE 2 The average leakage rate observed during service life can be higher than the specified leakage rate due to the temporary increased leakage rate at temperatures above or below the standardized ambient temperature.

6.16.2 Controlled pressure systems for gas

The tightness of controlled pressure systems for gas is specified by the number of replenishments per day (N) or by the pressure drop per day (Δp). SF₆ gas and SF₆ mixtures are not applicable for controlled pressure systems.

NOTE Most controlled pressure systems use air as the gas; however, other gases can be used.

6.16.3 Closed pressure systems for gas

The tightness of closed pressure systems for gas is specified by the relative leakage rate F_{rel} of each compartment. The maximum values under the standardized ambient temperature of 20 °C are:

- for SF₆ and SF₆ mixtures, 0,5 % per year;
- for other gases, 1 % per year.

NOTE 1 Some local or governmental regulations can require a lower SF₆ leakage rate, e.g. 0,1 % per year.

The tightness characteristic of a closed pressure system and the time between replenishments under normal service conditions shall be stated by the manufacturer. This time shall be at least 10 years for maintenance planning purposes. Means shall be provided to enable gas systems to be replenished while the equipment is in service.

NOTE 2 The term “in service” implies “under live conditions”.

NOTE 3 Manufacturer's instructions and the user's operating practices provide guidance for replenishing gas.

6.16.4 Sealed pressure systems

The tightness of sealed pressure systems is specified by their expected operating duration. The expected operating duration shall be specified by the manufacturer and shall be at least 20 years. Other preferred values are 30 years and 40 years.

The tightness of gas insulated switchgear and controlgear shall be designed in a way to ensure that the minimum functional pressure (density) shall not be attained before the expected end of life. The manufacturer shall specify a permissible leakage rate.

NOTE 1 For some designs verification of an expected operating duration greater than 20 years can be impractical for a type or routine test.

NOTE 2 Sealed SF₆ switchgear and controlgear is considered to have insignificant SF₆ losses (less than 0,1 % per year) during their expected operating duration.

6.17 Tightness for liquid systems

6.17.1 General

The following specifications apply to all switchgear and controlgear that use liquids as insulating, or combined insulating and switching, or operating medium with or without permanent pressure.

6.17.2 Leakage rates

The permissible leakage rate $F_{p(liq)}$ for liquid shall be indicated by the manufacturer. A clear distinction shall be made between internal and external tightness where internal tightness refers to leakage between two compartments within a single closed system and external tightness refers to leakage outside of the closed system.

- a) total tightness (sealed pressure system): no liquid loss can be detected;
- b) relative tightness: slight loss is acceptable under the following conditions:
 - the leakage rate, F_{liq} shall be less than the permissible leakage rate, $F_{p(liq)}$;
 - the leakage rate, F_{liq} shall not increase with time or in the case of switching devices, with number of operations;
 - the liquid leakage shall not cause malfunction of the switchgear or controlgear, nor cause any injury to operators in the normal course of their duty.

6.18 Fire hazard (flammability)

No technical requirement is defined for high-voltage switchgear and controlgear due to the large variety of designs and lack of acceptance criteria. The information below is provided for guidance.

IEC 60695-1 (all parts) [29] provides guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products.

IEC 60695-7 (all parts) [30] provides guidance on the minimization of toxic hazards due to fires involving electrotechnical products.

6.19 Electromagnetic compatibility (EMC)

Switchgear and controlgear shall be capable of satisfying the EMC tests specified in 7.9.

6.20 X-ray emission

This subclause is applicable to vacuum interrupters used in switchgear and controlgear. Vacuum interrupters shall be designed in such a way that the acceptance criteria about X-ray emission levels specified in 7.11.3 are satisfied when subjected to the test specified in 7.11.

6.21 Corrosion

Due to the large number of parameters to be considered no standard requirements can be given. General recommendations are given in IEC TR 62271-306 [4].

6.22 Filling levels for insulation, switching and/or operation

The pressure (or density) or liquid mass shall be assigned by the manufacturer. The pressure (or density) of gas is referred to atmospheric conditions of 20 °C at which gas filled switchgear is filled before being put into service.

In addition to the filling levels the following values have to be assigned by the manufacturer (when applicable):

- alarm pressure p_{ae} (or density ρ_{ae}) for insulation and/or switching;
- alarm pressure p_{am} (or density ρ_{am}) for operation;
- minimum functional pressure p_{me} (or density ρ_{me}) for insulation and/or switching;
- minimum functional pressure p_{mm} (or density ρ_{mm}) for operation.

7 Type tests

7.1 General

7.1.1 Basics

The type tests are for the purpose of proving the ratings and characteristics of switchgear and controlgear, their operating devices and their auxiliary equipment. Each individual type test or type test sequence shall be made on test objects as defined in 3.2.1, in the condition as required for service (filled with the specified types and quantities of liquid or gas), with their operating devices and auxiliary equipment, all of which in principle shall be in, or restored to, a new and clean condition at the beginning of each type test or type test sequence.

Reconditioning during individual type tests or test sequence may be allowed, according to the relevant IEC product standard. The manufacturer shall provide a statement to the testing laboratory of those parts that may be renewed during the tests.

Tolerances on test quantities are listed in Table E.1.

Information regarding the extension of validity of type tests is given in Annex J (informative).

7.1.2 Information for identification of test objects

The manufacturer shall submit to the testing laboratory, drawings and other data containing sufficient information to unambiguously identify by type the essential details and parts of the switchgear and controlgear presented for test. A summary list of the drawings and data schedules shall be supplied by the manufacturer and shall be uniquely referenced and shall contain a statement that the manufacturer guarantees that the drawings or data sheets listed are the correct version and represent the switchgear and controlgear to be tested.

The testing laboratory shall check that drawings and data sheets adequately represent the essential details and parts of the test object but is not responsible for the accuracy of the detailed information.

Particular drawings or data required to be submitted by the manufacturer to the test laboratory for identification of essential parts of test object are specified in Annex A (normative).

7.1.3 Information to be included in type-test reports

The results of all type-tests shall be recorded in type-test reports containing sufficient data to prove compliance with the ratings and the test clauses of the relevant standards and sufficient information shall be included so that the essential parts of the test object can be identified. In particular, the following information shall be included:

- the manufacturer;
- the type designation and the serial number of the test object;
- the rated characteristics of the test object as specified in the relevant IEC standard;
- the general description of the test object, including number of poles;
- the manufacturer, type, serial numbers and ratings of essential parts, where applicable (for example, drive mechanisms, interrupters, shunt impedances);
- the general details of the supporting structure of the switching device or enclosed switchgear of which the switching device forms an integral part;
- the details of the operating-mechanism and devices employed during tests, where applicable;
- photographs to illustrate the condition of the test object before and after test;
- sufficient outline drawings and data schedules to represent the test object;
- the reference numbers of all drawings including revision number submitted to identify the essential parts of the test object;
- a statement that the test object complies with the drawings submitted;
- details of the testing arrangements (including diagram of test circuit);
- statements of the behaviour of the test object during tests, its condition after tests and any parts renewed or reconditioned during the tests;
- in case of breaking operations with some specific technologies, NSDDs may occur during the recovery voltage period. Their number is of no significance to interpreting the performance of the device under test. They shall be reported in the test report only in order to differentiate them from restrikes;
- records of the test quantities during each test or test duty, as specified in the relevant IEC standard;
- the location, laboratory name where the tests were conducted and date of test.

7.2 Dielectric tests

7.2.1 General

Dielectric tests shall be performed in compliance with IEC 60060-1:2010, unless otherwise specified in this document.

7.2.2 Ambient air conditions during tests

Reference shall be made to IEC 60060-1:2010 regarding standard reference atmospheric conditions and atmospheric correction factors.

For test objects where external insulation in ambient air is of principal concern, the atmospheric correction factor K_t shall be applied.

The humidity correction factor k_2 shall be applied only for the dry tests where insulation in ambient air is of principal concern.

For switchgear and controlgear of rated voltage of 52 kV and below, it can be assumed that

- $m = 1$ and $w = 0$ when the absolute humidity is higher than that of the reference atmosphere, i.e. when $h > 11 \text{ g/m}^3$;
- $m = 1$ and $w = 1$ when the absolute humidity is lower than that of the reference atmosphere, i.e. when $h < 11 \text{ g/m}^3$.

For test objects having external and internal insulation, the correction factor K_t shall be applied if its value is between 0,95 and 1,05. However, in order to avoid over-stressing of internal insulation, the application of the correction factor K_t may be omitted where the satisfactory performance of external insulation has been established.

If K_t is above 1,0 then to fully test the external insulation system the internal insulation will be overstressed and steps may be necessary to prevent overstressing the internal insulation systems. If K_t is below 1,0 then to test the internal insulation system fully, the external insulation will be overstressed and steps may be necessary to prevent overstressing the external insulation systems. Some methods are discussed in IEC 60060-1:2010.

For test objects having only internal insulation, the ambient air conditions are of no influence and the correction factor K_t shall not be applied.

For combined tests, parameter g shall be calculated considering the total test voltage value.

7.2.3 Wet test procedure

When a wet test is required, the standard wet test procedure given in IEC 60060-1:2010 shall be followed.

7.2.4 Arrangement of the equipment

Dielectric tests shall be made on switchgear and controlgear completely assembled, as in service with any supplementary insulation such as tape or barriers if stated in the installation instructions; the outside surfaces of insulating parts shall be in clean condition.

The test object shall be mounted for test with minimum clearances and height as specified by the manufacturer if such surrounding influences the performance.

Tests shall be performed with the test object installed at a height above ground equal to or less than the height used in service.

When the distance between the poles of the test object is not inherently fixed by the design, the distance between the poles for the test shall be the minimum value stated by the manufacturer. However, to obviate the necessity of erecting large three-pole test objects, the artificial pollution and the radio interference voltage tests may be made on a single pole and, if the minimum clearance between poles is equal to or larger than those given in Tables A.1 and A.2 of IEC 60071-2:1996, all other dielectric tests may be made on a single pole.

If arcing horns or rings are part of the design for gradient distribution, they shall remain in position for the test. If they are proposed as overvoltage protection devices for the system, they are not part of the design of the test object and shall be not installed for tests.

For test objects using compressed gas for insulation, dielectric tests shall be performed at minimum functional pressure (density) for insulation. The temperature and pressure of the gas during the tests shall be noted and recorded in the test report.

NOTE In the dielectric testing of switchgear and controlgear incorporating vacuum switching devices, precautions are taken to ensure that the level of possible emitted X-radiation during high-voltage testing is within safe limits (see 7.11). National regulations can influence the safety measures established.

7.2.5 Criteria to pass the test

a) Short-duration power-frequency withstand voltage tests

The test object shall be considered to have passed the test if no disruptive discharge occurs.

If during a wet test a disruptive discharge (as defined in IEC 60060-1:2010) on external self-restoring insulation occurs, this test shall be repeated in the same test condition without intermediate cleaning and the test object shall be considered to have passed this test successfully if no further disruptive discharge occurs.

b) Impulse tests

The test procedure B of IEC 60060-1:2010, adapted for test objects that have self-restoring and non-self-restoring insulation, is the preferred test procedure. The test object has passed the impulse tests if the following conditions are fulfilled:

- each series has at least 15 tests;
- the number of disruptive discharges does not exceed two for each complete series;
- no disruptive discharge on non-self-restoring insulation occurs. This is confirmed by 5 consecutive impulse withstands following the last disruptive discharge.

This procedure leads to a maximum possible number of 25 impulses per series.

Procedure C of IEC 60060-1:2010 may be used when all three poles are tested, refer to 7.2.6.2.

c) General comment

- When testing switchgear and controlgear, the part of equipment through which the test voltage is applied may be subjected to numerous test sequences to check the insulating properties of other downstream parts of equipment (circuit-breakers, disconnectors, other bays). It is recommended that parts be tested in sequence, starting with the first connected part. When this part has passed the test according to the above-mentioned criteria, its qualification is not impaired by possible disruptive discharges which could occur in it during further tests on other parts.

These discharges can have been generated by accumulation of discharge probability with the increased number of voltage applications or by reflected voltage after a disruptive discharge at a remote location within the equipment. To reduce the probability of occurrence of these discharges in gas-filled equipment, the pressure of compartments which are not subject of the test can be increased. Compartments at increased pressure should be clearly identified in the test report(s).

- A disruptive discharge to the auxiliary and control circuits shall be considered as a failure.

7.2.6 Application of the test voltage and test conditions

7.2.6.1 General

Distinction shall be made between the general case, where the three test voltages (phase-to-earth, between phases and across open switching device) are the same and the special cases where the test voltages across the isolating distance and/or between phases are higher than the test-voltage phase to earth.

Some insulating materials retain a charge after an impulse test, and for these cases care should be taken when reversing the polarity. To allow the discharge of insulating materials, the use of appropriate methods, such as the application of two impulses between 60 % and 80 % of the rated withstand voltage in the reverse polarity before the test, is recommended.

When testing switchgear incorporating an open vacuum interrupter, for each polarity a maximum of 25 preliminary impulses may be performed at up to and including the rated withstand voltage. The number and level of preliminary impulses is to be stated by the manufacturer. Breakdowns that are observed during these preliminary tests shall be

disregarded for the purpose of withstand statistics used to determine pass or fail performance of the equipment.

7.2.6.2 General case

With reference to Figure 2, which shows a diagram of connection of a three-pole switching device, the test voltage shall be applied according to Table 10, as applicable.

Table 10 – Test conditions in general case

Test condition	Switching device	Voltage applied to	Earth connected to
1	Closed	Aa	BCbcF
2	Closed	Bb	ACacF
3	Closed	Cc	ABabF
4	Open	A	BCabcF
5	Open	B	ACabcF
6	Open	C	ABabcF
7	Open	a	ABCbcF
8	Open	b	ABCacF
9	Open	c	ABCabF

NOTE 1 Test conditions 3, 6 and 9 can be omitted if the arrangement of the outer poles is symmetrical with respect to the centre pole and the frame.

NOTE 2 Test conditions 2, 3, 5, 6, 8, 9 can be omitted if the arrangement of the poles is fully symmetrical with respect to each other and to the frame.

NOTE 3 Test conditions 7, 8 and 9 can be omitted if the arrangement of the terminals of each pole is symmetrical with respect to the frame.

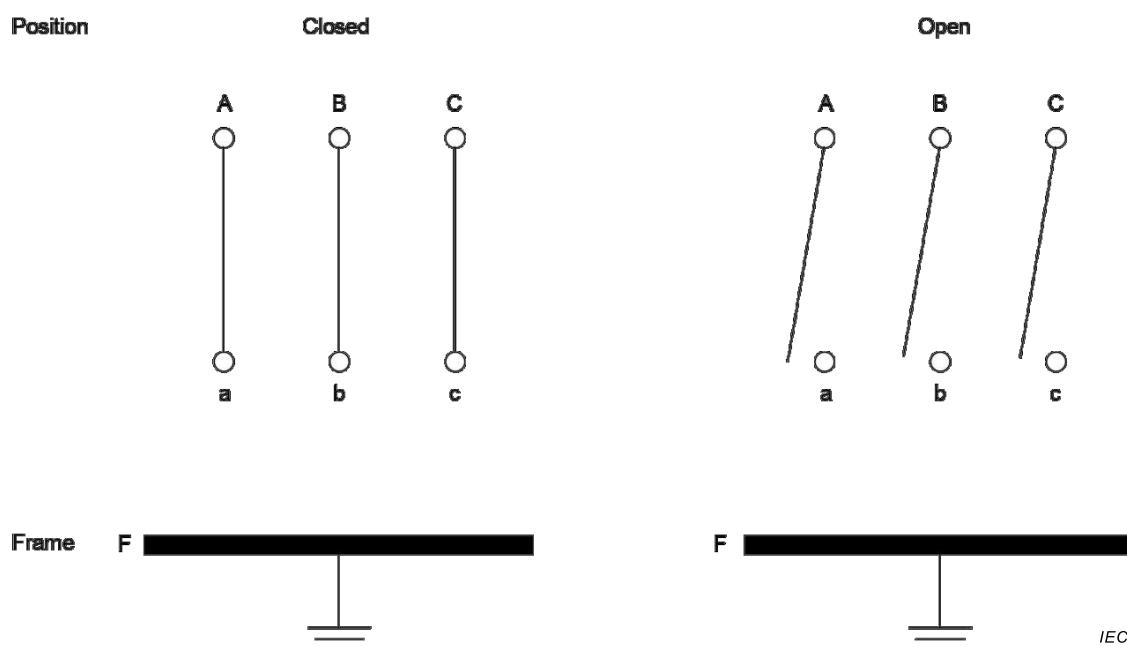


Figure 2 – Diagram of connections of a three-pole switching device

7.2.6.3 Special cases

When the test voltage across the isolating distance is higher than the phase-to-earth withstand voltage, test methods a) or b) may be used.

When the test voltage between phases is higher than the phase-to-earth withstand voltage, test method a) shall be used.

a) Preferred method

Unless otherwise specified in this document, the preferred method is the use of combined voltage tests (refer to Clause 9 of IEC 60060-1:2010).

– Power-frequency voltage tests

The tests shall be performed using two different voltage sources in out-of-phase conditions in order to obtain the specified test value. The voltage share is specified in 7.2.7.2 and in 7.2.8.2.

In this case, the test voltage across the open switching device (or isolating distance) shall be applied according to Table 11.

Table 11 – Power-frequency test conditions

Test condition	Voltages applied to	Earth connected to
1	A and a	BCbcF
2	B and b	ACacF
3	C and c	ABabF
NOTE 1 Test condition 3 can be omitted if the arrangement of the outer poles is symmetrical with respect to the centre pole and the frame.		
NOTE 2 Test conditions 2 and 3 can be omitted if the arrangement of the poles is fully symmetrical with respect to each other and to the frame.		

– Impulse voltage tests

The rated impulse withstand voltage phase-to-earth constitutes the main part of the test voltage and is applied to one terminal; the complementary voltage is supplied by another voltage source of the opposite polarity and applied to the opposite terminal. This complementary voltage may be either another impulse voltage, the peak of a power-frequency voltage or a DC voltage. The other poles and the frame are earthed.

To take into account the influence of the impulse on the power-frequency voltage wave, caused by capacitive coupling between the two voltage circuits, the following test requirement shall be fulfilled: the sum of the impulse voltage peak and the complementary voltage at the instant of the peak of the impulse shall be equal to the total test voltage required with a tolerance of $\pm 3\%$. To achieve such a condition, the instantaneous power-frequency voltage or the impulse voltage might be increased. The instantaneous power-frequency voltage may be increased up to, but no more than $U_r \times \sqrt{2} / \sqrt{3}$ for the lightning impulse tests, and not more than $1,2 \times U_r \times \sqrt{2} / \sqrt{3}$ for the switching impulse tests.

The voltage drop on the power frequency wave can be greatly reduced by using a capacitor of a convenient value connected in parallel to the terminal of the power-frequency side.

The test voltage shall be applied according to Table 12.

Table 12 – Impulse test conditions

Test condition	Main part	Complementary part	Earth connected to
	Voltage applied to		
1	A	a	BbCcF
2	B	b	AaCcF
3	C	c	AaBbF
4	a	A	BbCcF
5	b	B	AaCcF
6	c	C	AaBbF

NOTE 1 Test conditions 3 and 6 can be omitted if the arrangement of the outer poles is symmetrical with respect to the centre pole and the frame.

NOTE 2 Test conditions 2, 3, 5 and 6 can be omitted if the arrangement of the poles is fully symmetrical with respect to each other and to the frame.

NOTE 3 Test conditions 4, 5 and 6 can be omitted if the arrangement of the terminals of each pole is symmetrical with respect to the frame.

b) Alternative method

When only one voltage source is used, the insulation across the open switching device (or isolating distance) may be tested as follows, for both power-frequency voltage tests and impulse voltage tests:

- the total test voltage U_t is applied between one terminal and earth; the opposite terminal is earthed;
- when the resulting voltage across the supporting insulation of the phase conductors of the switching device would exceed the rated phase-to-earth withstand voltage, the frame and the two phases of the main circuit not under test are fixed at a partial voltage with respect to earth U_f , so that $U_t - U_f$ has a minimum level of 70 % of the rated withstand voltage phase-to-earth; an upper limit has to be defined by the switchgear manufacturer (depending on the acceptable overstress of the phase-to-earth insulation);
- If reference is made in 7.2.7 to this alternative method, all terminals not under test and the frame may be insulated from earth.

Table 13 shows how to apply the different voltages.

Table 13 – Test conditions for the alternative method

Test condition	Main part		Fixed at partial voltage U_f^a
	Voltage U_t applied to	Earth connected to	
1	A	a	B, b, C, c, F
2	B	b	A, a, C, c, F
3	C	c	A, a, B, b, F
4	a	A	B, b, C, c, F
5	b	B	A, a, C, c, F
6	c	C	A, a, B, b, F

^a If permitted, all terminals (not under test) and the frame may even be insulated from earth, considering reference is made in 7.2.7 to the alternative method of 7.2.6.3.

7.2.7 Tests of switchgear and controlgear of $U_r \leq 245$ kV

7.2.7.1 General

The tests shall be performed with the test values equal to the rated withstand voltages selected from Table 1 or Table 2.

7.2.7.2 Power-frequency voltage tests

The test object shall be subjected to short-duration power-frequency voltage withstand tests in accordance with IEC 60060-1:2010. The test voltage shall be raised for each test condition to the test value and maintained for 1 min.

The tests shall be performed in dry conditions and also in wet conditions for outdoor switchgear and controlgear with external insulation.

For the special cases considered in 7.2.6.3 the isolating distance may be tested as follows.

- Preferred method: In this case, neither of the two voltage values applied to the two terminals shall be higher than the rated withstand voltage phase-to-earth.
- Alternative method: for metal-enclosed gas-insulated switchgear and controlgear with a rated voltage up to and including 52 kV and for any other technology of switchgear and controlgear of any rated voltage the voltage to earth of the frame U_f needs not be fixed so accurately and the frame may even be insulated.
- Due to the large scatter of the results of the power-frequency voltage wet tests for switchgear and controlgear of rated voltage equal to 170 kV and 245 kV, an alternative is to replace these tests by a wet 250/2 500 μ s switching impulse voltage test, with a peak value equal to 1,55 times the RMS value of the specified power-frequency test voltage.

7.2.7.3 Lightning impulse voltage tests

The test object shall be subjected to lightning impulse voltage tests in dry conditions only. The tests shall be performed with voltages of both polarities using the standard lightning impulse 1,2/50 μ s according to IEC 60060-1:2010.

When the alternative method is used to test the isolating distance of metal-enclosed gas-insulated switching device with a rated voltage up to and including 52 kV and for any other technology of switching device of any rated voltage, the voltage to earth of the frame U_f needs not be fixed so accurately and the frame may even be insulated.

7.2.8 Tests of switchgear and controlgear of $U_r > 245$ kV

7.2.8.1 General

In the closed position, the tests shall be performed in conditions 1, 2 and 3 of Table 10. In the open position, the tests shall be performed as stated below (but refer to 7.2.4). In addition, phase-to-phase switching impulse voltage tests shall be performed as stated below. The tests shall be performed with the test values equal to the rated withstand voltages.

7.2.8.2 Power-frequency voltage tests

The test object shall be subjected to short-duration power-frequency voltage withstand tests in accordance with IEC 60060-1:2010. The test voltage shall be raised for each test condition to the test value and maintained for 1 min.

The tests shall be performed in dry conditions only.

The insulation across the open switching device or isolating distance shall be tested. The preferred method is a) of 7.2.6.3 above. Subject to agreement with the manufacturer, the

alternative method b) of 7.2.6.3 may also be used. Whichever method is chosen, neither of the voltages applied between one terminal and the frame shall be higher than the rated voltage U_r .

7.2.8.3 Switching impulse voltage tests

The test object shall be subjected to switching impulse voltage tests. The tests shall be performed with voltages of both polarities using the standardized switching impulse 250/2 500 μ s according to IEC 60060-1:2010. Wet tests shall be performed for outdoor switchgear and controlgear with external insulation only.

The isolating distance shall be tested with the preferred method a) of 7.2.6.3.

The insulation between poles shall be tested in dry conditions only according to Table 13 with a test voltage as per column 5 of Table 3 and/or Table 4, by the preferred method a) of 7.2.6.3 in which the main part shall be equal to or higher than 90 % of the value given in column 4 of Table 3 and Table 4. This value shall not exceed 100 % of the value indicated in column 4 of Table 3 and Table 4 without the consent of the manufacturer. The complementary part shall be applied to the adjacent phase in phase opposition in order that the sum of both voltages (main part and complementary part) is equal to the value indicated in column 5 of Table 3 and Table 4.

The actual voltage share shall be as balanced as possible. Any unbalanced share of the total test voltage is more severe. When voltage components are different in shape and/or amplitude, the test shall be repeated reversing the connections.

7.2.8.4 Lightning impulse voltage tests

The test object shall be subjected to lightning impulse voltage tests in dry conditions only. The tests shall be performed with voltages of both polarities using the standard lightning impulse 1,2/50 μ s according to IEC 60060-1:2010.

7.2.9 Artificial pollution tests for outdoor insulators

Artificial pollution tests are not required for insulators having creepage distances that are following the recommendations of 6.15 and Annex K (informative).

If the creepage distances differ from the recommended values given in Annex K (informative) artificial pollution tests shall be performed according to IEC 60507, using the rated voltage and the application factors given in IEC TS 60815-1:2008.

7.2.10 Partial discharge tests

Unless otherwise specified by the relevant product standard, partial discharge tests are not required. When tests are required, the measurements shall be made according to IEC 60270.

7.2.11 Dielectric tests on auxiliary and control circuits

The dielectric test on auxiliary and control circuits are covered under 7.10.5.

7.2.12 Voltage test as condition check

When a dielectric test is required as condition check, a power-frequency withstand voltage test in dry condition according to 7.2.7.2 or 7.2.8.2 at the following value of power-frequency voltage shall be applied.

For equipment with rated voltages up to and including 245 kV:

- 80 % of the relevant rated short-duration power-frequency withstand voltages.

For equipment with rated voltages from 300 kV and above:

- 100 % for isolating distances or 80 % for other test situations, of the respective rated short-duration power-frequency withstand voltages.

NOTE The reduction of the test voltage is motivated by the insulation coordination margin in the rated withstand voltages, which takes ageing, wear and other normal deterioration into account, and by the statistical nature of the flashover voltage.

7.3 Radio interference voltage (RIV) test

This test applies only to switchgear and controlgear having rated voltages of 245 kV and above when specified in the relevant product standard. Radio interference voltage test is regarded as EMC emission test and covered under 7.9.1.

NOTE Experience from service conditions shows that radio interference effects are negligible below 245 kV.

7.4 Resistance measurement

7.4.1 Measurement of the resistance of auxiliary contacts class 1 and class 2

One sample of each type of class 1 and class 2 auxiliary contacts shall be inserted into a resistive load circuit through which flows a current of (10 ± 2) mA when energized by a source having an open circuit voltage of 6 V DC with a relative tolerance of $\begin{smallmatrix} 0 \\ -15 \end{smallmatrix}$ % and the resistance measured according to IEC 60512-2-2.

The resistance of the closed class 1 and class 2 auxiliary contacts shall not exceed 50 Ω under these measuring conditions.

NOTE On contact materials, oxidation which decreases the effective current-carrying capabilities can occur. This results in an increased contact resistance or even no conduction at very low voltage while no problems are observed at higher voltage. This test is intended to verify the contact performance under these low-voltage conditions. The assessment criterion takes into account the non-linearity of the resistance. The 50 Ω value results from statistical considerations and has already been taken into account by users.

7.4.2 Measurement of the resistance of auxiliary contacts class 3

One sample of class 3 auxiliary contacts shall be inserted into a resistive load circuit through which flows a current ≤ 10 mA when energized by a source having an open circuit voltage ≤ 30 mV DC and the resistance measured according to 4.12 of IEC 61810-7:2006.

The resistance of the closed class 3 auxiliary contacts shall not exceed 1 Ω .

7.4.3 Electrical continuity of earthed metallic parts test

Generally visual inspection is sufficient to assess compliance with requirements in 6.3.

However, as an alternative, the metallic components and enclosures that may be touched during normal operating conditions and are intended to be earthed may be tested at 30 A (DC) to the earthing point provided. The voltage drop shall be lower than 3 V.

NOTE It may be necessary to locally remove coating at measuring points.

7.4.4 Resistance measurement of contacts and connections in the main circuit as a condition check

7.4.4.1 Resistance measurement test procedure

When resistance measurements are called for as a condition check after a specific test, the following procedure shall be applied.

The resistance across the contacts or connections being checked shall be measured before the test. The measuring test points shall be the nearest accessible points to and on either side of the contacts or connections in question. An average value of the resistance shall be calculated based on three measurements. If the test object comprises switching devices, one no-load open and close operation cycle shall be made on each device between each of the measurements. If the test object comprises removable elements, one remove / replace cycle shall be made between each of the measurements.

The measurements shall be made with DC at full rated continuous current (-20 % to 0 %) if less than or equal to 50 A or any convenient value of current between (and including) 50 A and the rated continuous current if it is higher than 50 A.

NOTE In some designs it may be only practical that several connections and/or contacts are measured in series in the main circuit or even the complete poles of a device are measured during type testing.

After the completion of the test, the resistance shall be measured again using the identical procedure to that used for the resistance measurements made prior to the tests. Before this resistance measurement, some conditioning of the contacts is acceptable based on the manufacturer's recommendations such as no-load operation cycles or the application of rated continuous current for some time.

The resistance measurements before and after shall be performed at ambient temperature with a maximum difference of 10 K between the measurements. The resistance increase is calculated by the difference between the average value of the measurements before and after the test.

7.4.4.2 Making and breaking tests

For making and breaking tests of any switching device, the resistance condition check of the test sample after completion of the test is considered to be satisfactory if the resistance increase for each phase determined in 7.4.4.1 is not greater than 100 %.

NOTE The acceptance criterion of 100 % increase in resistance as a condition check after making and breaking test is a default value for this document. The criterion may not be appropriate for all switchgear designs, e.g. designs with parallel arcing and main contacts. In such cases, the relevant product standards provide their own methods or criteria for a condition check.

7.4.4.3 Other tests

For tests other than making and breaking tests, the resistance condition check of the test object after completion of the test is considered to be satisfactory if the resistance increase for each phase determined in 7.4.4.1 is not greater than 20 %. If the resistance increase exceeds 20 % then a continuous current test (7.5) is applicable to determine if the test object can carry its rated continuous current.

NOTE The acceptance criterion of 20 % increase in resistance as a condition check after test is a default value for this document. The criterion may not be appropriate for all switchgear designs, in which case, the relevant product standards provide their own methods or criteria for a condition check.

7.5 Continuous current tests

7.5.1 Condition of the test object

The continuous current test of the main circuits shall be made on a test object, if applicable, with clean contacts and filled with the appropriate liquid or gas at the minimum functional pressure (or density) for insulation prior to the test.

7.5.2 Arrangement of the equipment

The test shall be made indoors in an environment substantially free from air currents, except those generated by heat from the test object. In practice, this condition is reached when the air velocity does not exceed 0,5 m/s.

For continuous current tests of parts other than auxiliary equipment, the test object and their accessories shall be mounted in all significant respects as in service, including all normal covers of any part of the test object (including any extra cover for testing purpose, for example cover surrounding a busbar extension), and shall be protected against undue external heating or cooling.

When the test object, according to the manufacturer's instructions, may be installed in different positions, the continuous current tests shall be made in the most unfavourable position.

These tests shall be made in principle on three-pole switchgear and controlgear but may be made on a single pole or on a single unit provided the influence of the other poles or units is negligible. This is the general case for non-enclosed switchgear above 52 kV. For three-pole switchgear and controlgear with a rated continuous current not exceeding 1 250 A, the tests may be made with all poles connected in series.

For particularly large test objects for which the insulation to earth has no significant influence on temperature rises, this insulation may be appreciably reduced.

For three-pole test objects, the test shall be made in a three-phase circuit with the exceptions mentioned above.

Where temporary connections to the main circuit are used, they shall be such that there is no significant difference in heat conducted away from, or conveyed to, the test object compared to the connections intended to be used for service (see 7.5.4.2).

NOTE To make the continuous current test more reproducible, the type and/or sizes of the temporary connections can be specified in relevant standards.

7.5.3 Test current and duration

7.5.3.1 Test on main circuit

The test shall be made at the rated continuous current (I_r) of the switchgear and controlgear. The supply current shall be practically sinusoidal.

This requirement is fulfilled when the RMS value of the harmonics does not exceed 5 % of the value of the fundamental current. By agreement of the manufacturer harmonic content higher than 5 % may be accepted.

Test object shall be tested at rated frequency with a tolerance of $^{+2}_{-5}$ %. The test frequency shall be recorded in the test report.

For switchgear and controlgear rated for both frequencies at 50 Hz and 60 Hz and having no ferromagnetic components adjacent to the current-carrying parts, the test can be performed at 50 Hz and covers both frequencies provided that the temperature-rise values recorded during the tests at 50 Hz do not exceed 95 % of the maximum permissible values. Tests performed at 60 Hz cover both frequencies.

The test shall be made over a period of time sufficient for the temperature rise to reach a stable value. This condition is deemed to be obtained when the variation of temperature rise does not exceed 1 K in 1 h. This criterion will normally be met after test duration of five times the thermal time constant of the test object.

The time for the whole test may be shortened by preheating the circuit with a higher value of current, provided that sufficient test data is recorded to enable calculation of thermal time constant.

7.5.3.2 Test of the auxiliary and control equipment

The test is made with the specified supply voltage (AC or DC), and for AC at its rated frequency (tolerance $\begin{smallmatrix} +2 \\ -5 \end{smallmatrix}$ %).

The auxiliary equipment shall be tested at its rated supply voltage (U_a) or at its rated continuous current. The AC supply voltage shall be practically sinusoidal.

Coils rated for continuous duty shall be tested over a period of time sufficient for the temperature rise to reach a constant value. This condition is usually obtained when the variation does not exceed 1 K in 1 h.

For circuits energized only during operations, the tests shall be made under the following conditions.

- a) When the operating device has an automatic breaking device for interruption of the auxiliary circuit at the end of the operation, the circuit shall be energized 10 times, for either 1 s or until the automatic breaking device operates, the interval between the instant of each energizing being 10 s or, if the construction of the operating device does not permit this, the lowest interval possible.
- b) When the operating device has no automatic breaking device for interruption of the auxiliary circuit at the end of the operation, the test shall be made by energizing the circuit once for duration of 15 s.

7.5.4 Temperature measurement during test

7.5.4.1 Ambient air temperature

The ambient air temperature is the average temperature of the air surrounding the test object (for enclosed switchgear and controlgear, it is the air outside the enclosure). It shall be recorded during the tests by means of at least three thermometers, thermocouples or other temperature-measuring devices equally distributed around the test object at about the average height of its current-carrying parts and at a distance of about 1 m from the test object. The thermometers or thermocouples shall be protected against air currents and undue influence of heat.

In order to avoid indication errors because of rapid temperature changes, the thermometers or thermocouples may be put into small bottles containing about 0,5 l of oil.

During the last quarter of the test period, the change of ambient air temperature shall not exceed 1 K in 1 h. If this is not possible because of unfavourable temperature conditions of the test room, the temperature of an identical switchgear and controlgear under the same conditions, but without current, may be taken as a substitute for the ambient air temperature. This additional switchgear and controlgear shall not be subjected to an undue amount of heat.

The ambient air temperature during tests shall be more than 10 °C but shall not exceed 40 °C without the consent of the manufacturer. No correction of the temperature-rise values shall be made for ambient air temperatures within this range and above.

7.5.4.2 Temperature of test object

Precautions shall be taken to reduce the variations and the errors due to the time lag between the temperature of the test object and the variations in the ambient air temperature.

For coils, the method of measuring the temperature rise by variation of resistance shall normally be used. Other methods are permitted only if it is impracticable to use the resistance method.

The temperature of the various parts other than coils for which limits are specified shall be measured with thermometers or thermocouples, or other sensitive devices of any suitable type, placed at the hottest accessible point.

The surface temperature of a component immersed in a dielectric liquid shall be measured only by thermocouples attached to the surface of this component. The temperature of the liquid dielectric itself shall be measured in the upper layer of the dielectric.

For measurement with thermometers or thermocouples, the following precautions shall be taken:

- a) the bulbs of the thermometers or thermocouples shall be protected against cooling from outside (dry clean wool, etc.). The protected area shall, however, be negligible compared with the cooling area of the apparatus under test;
- b) good heat conductivity between the thermometer or thermocouple and the surface of the part under test shall be ensured;
- c) when bulb thermometers are employed in places where there is any varying magnetic field, it is recommended to use alcohol thermometers in preference to mercury thermometers, as the latter are more liable to be influenced under these conditions.

Sufficient temperature measurements shall be made during the test, at time intervals not exceeding 30 min, in order to calculate the thermal time constant, and shall be recorded in the test document.

The temperatures at the terminals of the main circuit and at the temporary connections at a distance of 1 m from the terminals shall be measured. The difference in temperature rise shall not exceed 5 K.

However, if the temperature rise of the temporary connections at the distance of 1 m from the terminal of the main circuit exceeds by more than 5 K the temperature rise of the terminal, the test can be considered as valid if all criteria to pass the test defined in 7.5.6 are fulfilled.

7.5.5 Resistance of the main circuit

A measurement of the resistance of the main circuit shall be made before the continuous current test, with the test object at the ambient air temperature according to the measurement procedure as defined in 7.4.4.

The resistance value measured before the continuous current tests is made for comparison between the switchgear and controlgear type tested for continuous current and all other switchgear and controlgear of the same type subjected to routine tests (see Clause 8).

7.5.6 Criteria to pass test

7.5.6.1 General

The test object has passed the test if the temperature rise of the parts of the test object for which limits are specified, has not exceeded the values specified in Table 14.

If the insulation of a coil is made of several different insulating materials, the permissible temperature rise of the coil shall be taken as that for the insulating material with the lowest limit of temperature rise.

If the test object is fitted with various equipment complying with particular standards (for example, rectifiers, motors, low-voltage switches, etc.), the temperature rise of such equipment shall not exceed the limits specified in the relevant standards.

Table 14 – Limits of temperature and temperature rise for various parts, materials and dielectrics of high-voltage switchgear and controlgear

Nature of the part, of the material and of the dielectric (Refer to points 1, 2 and 3 in 7.5.6.2) (Refer to NOTE 1)	Maximum value	
	Temperature °C	Temperature rise at ambient air temperature not exceeding 40 °C (NOTE 2) K
1 Contacts (refer to point 4) Bare-copper or bare-copper alloy – in OG (refer to point 5) – in NOG (refer to point 5) – in oil Silver-coated or nickel-coated (refer to point 6) – in OG (refer to point 5) – in NOG (refer to point 5) – in oil Tin-coated (refer to point 6) – in OG (refer to point 5) – in NOG (refer to point 5) – in oil	 75 115 80 115 115 90 90 90 90	 35 75 40 75 75 50 50 50 50
2 Connection, bolted or the equivalent (refer to point 4) Bare-copper, bare-copper alloy or bare-aluminium alloy – in OG (refer to point 5) – in NOG (refer to point 5) – in oil Silver-coated or nickel-coated (refer to point 6) – in OG (refer to point 5) – in NOG (refer to point 5) – in oil Tin-coated – in OG (refer to point 5) – in NOG (refer to point 5) – in oil	 100 115 100 115 115 100 105 105 100	 60 75 60 75 75 60 65 65 60
3 All other contacts or connections made of bare metals or coated with other materials	(Refer to point 7)	(Refer to point 7)
4 Terminals for the connection to external conductors by screws or bolts (refer to points 8 and 14) – bare – silver or nickel coated – tin-coated – other coatings	 100 115 105 (Refer to point 7)	 60 75 65 (Refer to point 7)
5 Oil for oil switching devices (refer to points 9 and 10)	90	50
6 Metal parts acting as springs	(Refer to point 11)	(Refer to point 11)

Nature of the part, of the material and of the dielectric (Refer to points 1, 2 and 3 in 7.5.6.2) (Refer to NOTE 1)	Maximum value	
	Temperature °C	Temperature rise at ambient air temperature not exceeding 40 °C (NOTE 2) K
7 Materials used as insulation and metal parts in contact with insulation of the following classes (refer to point 12) – Y 90 50 – A 105 65 – E 120 80 – B 130 90 – F 155 115 – Enamel: oil base 100 60 - synthetic 120 80 – H 180 140 – C other insulating material (Refer to point 13) (Refer to point 13)		
8 Any part of metal or of insulating material in contact with oil, except contacts	100	60
9 Accessible surfaces Surfaces of manual control components to be touched in normal operation: – Uncoated metal 55 15 – Coated metal 55 15 – Non metal 65 25 Other surfaces to be touched in normal operation but not to be held continuously in the hand: – Uncoated metal 65 25 – Coated metal 70 30 – Non metal 80 40 Surfaces not to be touched in normal operation: – Uncoated metal 80 40 – Coated metal 80 40 – Non metal 90 50	(Refer to point 15)	(Refer to point 15)
NOTE 1 The points referred to in this table are those in 7.5.6.2. NOTE 2 For switchgear and controlgear with special service conditions including a maximum temperature different from 40 °C, the maximum values of temperature applies and the maximum values of temperature rise are calculated accordingly.		

7.5.6.2 Particular points of Table 14

The following points are referred to in Table 14 and complete it.

Point 1 According to its function, the same part may belong to several categories as listed in Table 14.

In this case the permissible maximum values of temperature and temperature rise to be considered are the lowest among the relevant categories.

- Point 2** For vacuum switching devices, the values of temperature and temperature-rise limits do not apply to parts in vacuum. The remaining parts shall not exceed the values of temperature and temperature rise given in Table 14.
- Point 3** Care shall be taken to ensure that no damage is caused to the surrounding insulating materials.
- Point 4** When engaging parts have different coatings or one part is of bare material, the permissible temperatures and temperature rises shall be:
- a) for contacts, those of the surface material having the lowest value permitted in item 1 of Table 14;
 - b) for connections, those of the surface material having the highest value permitted in item 2 of Table 14.

- Point 5** NOG (Not Oxidizing Gases), for the purposes of this document, are non-reactive gases that are considered as not accelerating ageing of contacts by corrosion or oxidation, due to their chemical characteristics and demonstrated operational records.

Recognized NOG are SF₆, N₂, CO₂, CF₄. They can be used pure or as a mixture of various NOG.

OG (Oxidizing Gases), for the purposes of this document, are reactive gases that can accelerate ageing of contacts either by corrosion phenomena (presence of humidity) or by oxidation phenomena (mostly due to ambient air medium like oxygen). Gases classified as OG are ambient air, "dry" air, any gas not classified as NOG and any mixture including part of OG.

NOTE Some gases considered as OG in the classification above could be re-classified as NOG, in future revision of this document.

For description of these corrosion and oxidation phenomena, refer to IEC TR 60943 [2].

Due to the absence of corrosion and oxidation in NOG, a harmonization of the limits of temperature for different contact and connection parts in the case of gas insulated switchgear appears appropriate.

The permissible temperature limits for bare copper and bare copper alloy parts are equal to the values for silver-coated or nickel-coated parts in the case of NOG atmospheres.

In the particular case of tin-coated parts, due to fretting corrosion effects, an increase of the permissible temperatures is not applicable, even under the corrosion and oxidation free conditions of NOG. Therefore, the values for tin-coated parts are lower.

- Point 6** The quality of the coated contacts shall be such that a continuous layer of coating material remains in the contact area:
- a) after the making and breaking test (if any);
 - b) after the short-time withstand current test;
 - c) after the mechanical endurance test.

according to the relevant standard for each equipment. Otherwise, the contacts shall be regarded as "bare".

- Point 7** When materials other than those given in Table 14 are used, their properties shall be considered, notably in order to determine the maximum permissible temperature rises.
- Point 8** The values of temperature and temperature rise are valid even if the conductor connected to the terminals is bare.
- Point 9** The temperature is to be measured at the upper part of the oil.
- Point 10** Special consideration should be given when low flash-point oil is used in regard to vaporization and oxidation.
- Point 11** The temperature shall not reach a value where the elasticity of the material is impaired.
- Point 12** Classes of insulating materials are those given in IEC 60085.
- Point 13** The temperature is limited only by the requirement not to cause any damage to surrounding parts.
- Point 14** These values do not take into account any influence on insulation of cable or cable termination.
- Point 15** For further details regarding temperature limits for hot surfaces to be touched, refer to IEC Guide 117 [3].

7.6 Short-time withstand current and peak withstand current tests

7.6.1 General

The tests apply to the main circuits and where applicable, to the earthing circuits of the test object to demonstrate their ability to carry their rated peak withstand current and their rated short-time withstand current for their rated duration of short-circuit.

The test shall be made with a power supply of any suitable voltage and at the rated frequency with a tolerance of $\pm 10\%$ except as provided in 7.6.3.

For rated frequencies of 50 Hz and 60 Hz, tests may be performed at either frequency provided that the rated peak withstand current is demonstrated.

The test may be performed at any convenient ambient temperature.

7.6.2 Arrangement of the equipment and of the test circuit

The test object shall be mounted on its own support(s) or on an equivalent support(s) and installed with its own operating device(s) as far as necessary to make the test representative for checking mechanical and thermal effects of the test currents. It shall be in the closed position, where relevant.

Each test shall be preceded by a no-load opening operation of the mechanical switching device(s) (if any) and, with the exception of earthing switches, by measurement of the resistance of the main circuit according to 7.4.4. The no-load opening operation shall be carried out at the rated value of the supply voltage in the case of power operated devices and the force/torque shall be measured in the case of dependent manually operated devices.

The test may be made three-phase or single-phase. In the case of a single-phase test, the following shall apply.

- On a three-pole test object, the test shall be made on two adjacent poles in series.
- In the case of test object with separated poles, the test may be made either on two adjacent poles or on one pole with the return conductor at phase distance equal to the distance of an adjacent pole in service. If the distance between poles is not fixed by the design, the test shall be made at the minimum distance indicated by the manufacturer.
- Above the rated voltage of 52 kV, unless otherwise specified in the relevant standards, the return conductor need not be taken into account, but in no case shall it be located closer to the tested pole than the minimum distance indicated for phase centres by the manufacturer.

The distance between the terminals and the nearest supports of the conductors or the nearest clamping points of cable on both sides of the test object shall be in accordance with the instructions of the manufacturer.

The test arrangement shall be noted in the test report.

7.6.3 Test current and duration

The AC component of the test current shall be equal to the AC component of the rated short-time withstand current (I_k) of the switchgear and controlgear with the tolerances and alternatives given below. The peak current (for a three-phase circuit, the highest value in one of the outer phases) shall be not less than the rated peak withstand current (I_p) and shall not exceed it by more than 5 % without the consent of the manufacturer.

For three-phase tests, the AC component of the test current in any phase shall not vary from the average of the currents in the three phases by more than 10 %. The average of the RMS values of the AC component of the test currents shall be not less than the rated value.

Either of two methods may be used:

Method 1: the test current I_t shall be applied for a time t_t equal to the rated duration t_k of short-circuit with a tolerance of the AC component of $^{+5}_0$ %.

Method 2: the value of the Joule integral $\int I^2 dt$ of the AC component along the test shall be not less than the value of $I_k^2 \times t_k$ calculated from the rated short-time current (I_k) and the rated duration of short-circuit (t_k), and shall not exceed this value by more than 10 % without the consent of the manufacturer, refer to Annex B (informative).

The following deviations are permitted:

- a) if the decrement of the short-circuit of the test laboratory is such that the specified RMS value cannot be obtained for the rated duration without applying initially an excessively high current, the RMS value of the test current may be permitted to fall below the specified value during the test and the duration of the test may be increased appropriately, provided that the value of the peak current is not less than that specified and the time is not extended to more than 5 s;
- b) if, in order to obtain the required peak current, the RMS value of the current is increased above the specified value, the duration of the test may be reduced accordingly;
- c) separation of the peak withstand current test and the short-time withstand current test is permissible:
 - for the peak withstand current test, the time during which the short-circuit current is applied shall be not less than 0,3 s;
 - for the short-time withstand current test, the time during which the short-circuit current is applied shall be equal to the rated duration. However, deviation in time according to item a) is permitted.

for switching devices the test object shall be kept in closed position between the tests;

- d) when the characteristics of the test laboratory are such that the frequency of the test current cannot be kept within its specified tolerance for the specified duration, the frequency at the beginning of the test shall be within the specified tolerance and a decrease down to 80 % of the specified frequency is allowed.

7.6.4 Conditions of the test object after test

After the test, the test object shall not show significant deterioration, shall be capable of operating normally and carrying its rated continuous current.

If the mechanical switching device has a rated making and/or breaking capacity, then the condition of the contacts shall not be such as to affect the performance materially at any making and/or breaking current up to its rated value.

The following steps are used to check these requirements:

- a) a no-load opening operation of the mechanical switching device shall be performed in the same conditions as stated in 7.6.2 immediately after the test, and the contacts shall open at the first attempt;
- b) visual inspection of the test object and the contacts (if not detrimental);
- c) except for earthing switches, the variation of the resistance of the main circuit shall be checked according to 7.4.4.

7.7 Verification of the protection

7.7.1 Verification of the IP coding

In accordance with the requirements specified in Clauses 11, 12, 13 and 15 of IEC 60529:1989, IEC 60529:1989/AMD1:1999 and IEC 60529:1989/AMD2:2013, tests shall be performed, to demonstrate performances as required in 6.14, on the enclosures of switchgear and controlgear fully assembled as under service conditions. As real cable connections entering the enclosures are not normally installed for type tests, corresponding filler pieces shall be used. Transport units of switchgear shall be closed for the tests by covers providing identical protection qualities as for the joints.

The tests shall, however, be made only if there are doubts regarding the compliance with these requirements, they shall be performed in each position of the relevant parts as deemed necessary.

When the supplementary letter W is used, test method given in Annex C (normative) shall be applied.

7.7.2 Verification of the IK coding

The requirements specified in 6.14.4 shall be demonstrated according to IEC 62262:2002; tests shall be performed on the enclosures of switchgear and controlgear fully assembled as under service conditions.

After the test, the enclosure shall show no breaks and the deformation of the enclosure shall not affect the normal function of the equipment, reduce the insulating and/or creepage distances or reduce the specified degree of protection against access to hazardous parts below the permitted values. Superficial damage, such as removal of paint, breaking of cooling ribs or of similar parts, or depression of small dimension can be ignored.

The tests shall, however, be made only if there are doubts regarding the compliance with these requirements, they shall be performed in each position of the relevant parts deemed necessary.

Auxiliary equipment such as meters, relays etc., which may form part of the enclosure is exempted from receiving impacts in this test.

7.8 Tightness tests

7.8.1 General

The purpose of tightness tests is to demonstrate that the absolute leakage rate F does not exceed the specified value of the permissible leakage rate F_p at standardized ambient temperature of 20 °C. Acceptable test condition is an ambient temperature in a range of 15 °C up to 30 °C.

If tightness tests at the temperature limits of the service condition are required in the relevant product standards, an increased leakage rate is permissible. The increased temporary leakage rate shall not exceed the values given in Table 15.

Tightness test shall be performed with the same fluid and under the same pressure (density) as used in service. If the fluid itself is not traceable additional traceable fluids may be added, for example helium. The leakage test method shall have sufficient sensitivity; reference is made to IEC TR 62271-306 [4].

Where possible, the tests should be performed on a complete system. If this is not practical, the tests may be performed on parts, components or subassemblies. In such cases, the leakage rate of the total system shall be determined by summation of the component leakage rates using the tightness coordination chart (refer to IEC TR 62271-306 [4]). The possible leakages between subassemblies of different pressures shall also be taken into account.

The tightness test of switchgear and controlgear containing a mechanical switching device shall be performed both in the closed and open position of the device, unless the leakage rate is independent of the position of the main contacts.

Cumulative leakage measurement, which takes into account all the leaks from a given assembly to determine the leakage rate, shall be used in the calculation of leakage rates.

The type test report should include such information as:

- description of the object under test, including its internal volume and the nature of the filling gas or liquid;
- whether the object under test is in the closed or open position (if applicable);
- the pressures and temperatures recorded at the beginning and end of the test and the number of replenishments (if any needed);
- the value of the ambient temperature during the test.
- the cut-in and cut-off pressure settings of the pressure (or density) control or monitoring device;
- an indication of the calibration of the meters used to detect leakage rates;
- the results of the measurements;
- the test gas and if applicable the conversion factor to assess the results.

In general, for the application of an adequate test method, reference is made to IEC 60068-2-17:1994 [31].

Table 15 – Permissible leakage rates for gas systems

Temperature °C	Permissible leakage rate
Maximum service temperature (≥ 40 °C)	$3F_p$
Standardized ambient temperature (20 °C)	F_p
Minimum service temperature (any value down to and including -40 °C)	$3F_p$
Minimum service temperature (any value below -40 °C)	$6F_p$

7.8.2 Controlled pressure systems for gas

Preferred method for checking the relative leakage rate F_{rel} is by measuring the pressure drop Δp over a time period t that is of sufficient duration to permit a determination of the pressure drop (within the filling and replenishing pressure range). A correction shall be made to take into account the variation of ambient air temperature during the course of the test. During this period the replenishment device shall be inoperative.

$$F_{rel} = \frac{\Delta p}{p_r} \times \frac{24}{t} \times 100 \text{ (\% per day)}$$

$$N = \frac{\Delta p}{p_r - p_m} \times \frac{24}{t}$$

where

t is the test duration (h);

p_r is the filling pressure (Pa);

p_m is the measured pressure after time t (Pa);

Δp is the pressure drop between p_r and p_m after time t (Pa);

N is the number of replenishments per day.

NOTE The linearity of the formula is considered to be maintained provided that Δp is of the same order of magnitude as $p_r - p_m$.

7.8.3 Closed pressure systems for gas

The test Q_m (Test method 1: cumulative test) described in IEC 60068-2-17:1994 is the preferred method to determine the relative leakage rate F_{rel} in gas systems and calculate the time between replenishments t_r . Detailed information about test procedure, sensitivity of measurement and example of calculation are also given in IEC TR 62271-306 [4].

Alternative methods of leak detection are also given in IEC TR 62271-306 [4] that may be used to measure the leakage rate, which allows in combination with the tightness coordination chart, the calculation of:

- the relative leakage rate;
- the time between replenishments (without considering extreme temperature conditions of number of operations).

The tightness test is considered to be successful when the measured leakage rate does not exceed the permissible leakage rate stated in Table 15 within the limits of +10 %. This

inaccuracy of the measurement shall be taken into account when calculating the period of time between replenishments.

7.8.4 Sealed pressure systems

Tightness tests on sealed pressure systems shall be as follows

a) Switchgear using gas

The tests shall be performed according to the preferred method of 7.8.3.

b) Switchgear using vacuum interrupters

No specific tightness tests are required for vacuum interrupters since their tightness is verified during manufacturing process and because they are considered to have a zero leakage rate during their life. Nevertheless, instead of a tightness test, the vacuum integrity needs to be verified where specific standards ask for a tightness test as condition check (for example mechanical test, low and high temperature tests, etc.).

The integrity of the vacuum may be verified by the dielectric condition check test, refer to 7.2.12.

7.8.5 Liquid tightness tests

The purpose of tightness tests is to demonstrate that the total system leakage rate F_{liq} does not exceed the specified value $F_{p(liq)}$.

The object under test shall be as in service conditions with all its accessories and its normal fluid, mounted as close as possible as in service.

An increased leakage rate at extreme temperatures (if such tests are required in the relevant standards) and/or during operations is acceptable, provided that this rate resets to the initial value after the temperature is returned to normal ambient air temperature and/or after the operations are performed. The increased temporary leakage rate shall not impair the safe operation of the switchgear and controlgear.

The switchgear shall be observed over a period sufficient to determine a possible leak or the pressure drop Δp_{liq} . In this case, the calculations given in 7.8.2 are valid.

As an alternative, using liquids different from those in service or gas for the test is possible but requires justification by the manufacturer.

The test report shall include such information as:

- a general description of the object under test;
- the number of operations performed;
- the nature and pressure(s) of the liquid;
- the ambient air temperature during test;
- the results with the switchgear device in closed and in open position (where applicable).

7.9 Electromagnetic compatibility tests (EMC)

7.9.1 Emission tests

7.9.1.1 Emission tests from the main circuits (radio interference voltage test, RIV)

Radio interference voltage tests apply only to switchgear and controlgear having a rated voltage of 245 kV and above, when specified in the relevant product standard.

Test object shall be installed as stated in 7.2.4.

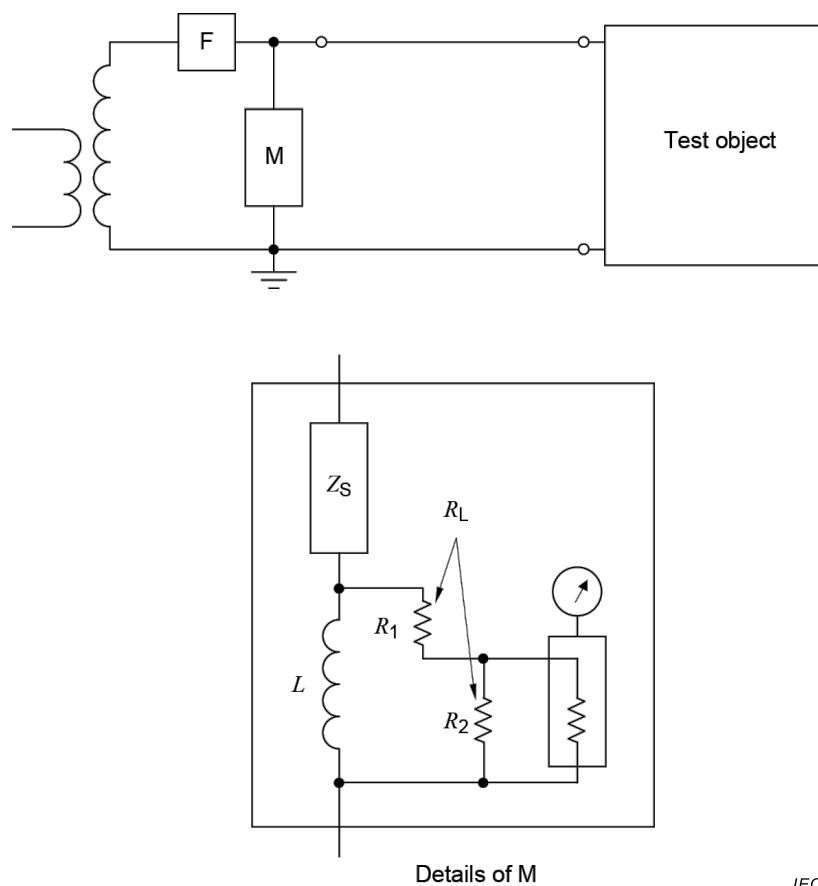
The test voltage shall be applied as follows.

- a) in closed position, between the terminals and the earthed frame;
- b) in open position, if any, between one terminal and the other terminals connected to the earthed frame and then with the connections reversed if the switching device is not symmetrical.

The case, tank, frame and other normally earthed parts shall be connected to earth.

The test object shall be dry and clean and at approximately the same temperature as the room in which the test is made. During the tests the test object shall be equipped with all accessories such as grading capacitors, corona rings, high-voltage connectors, etc. which may influence the radio interference voltage.

The measuring circuit (refer to Figure 3) shall comply with CISPR TR 18-2. The measuring circuit shall preferably be tuned to a frequency within 10 % of 0,5 MHz, but other frequencies in the range 0,5 MHz to 2 MHz may be used, the measuring frequency being recorded. The results shall be expressed in μV .



IEC

Key

- F Filter
- R_L The equivalent resistance of R_1 in series with the parallel combination of R_2 and the equivalent resistance of the measuring set
- Z_S May be either a capacitor or a circuit composed of a capacitor and an inductor in series
- L The inductance used to shunt power-frequency currents and to compensate for stray capacitance at the measuring frequency

Figure 3 – Diagram of a test circuit for the radio interference voltage test

The preferred measuring impedances are those specified in CISPR publications. If measuring impedances different from those specified in CISPR publications are used as an alternative, they shall be not more than 600 Ω nor less than 30 Ω ; in any case the phase angle shall not exceed 20°. The equivalent radio interference voltage referred to 300 Ω can be calculated, assuming the measured voltage to be directly proportional to the resistance, except for test pieces of large capacitance, for which a correction made on this basis may be inaccurate. Therefore, a 300 Ω resistance is recommended for switchgear and controlgear with bushings with earthed flanges (for example dead tank switchgear and controlgear).

The filter F shall have high impedance at the measuring frequency, so that the impedance between the high-voltage conductor and earth is not shunted as seen from the switchgear and controlgear under test.

NOTE This filter also reduces circulating radiofrequency currents in the test circuit, generated by the high-voltage transformer or picked up from extraneous sources. A suitable value for its impedance has been found to be 10 000 Ω to 20 000 Ω at the measuring frequency.

It shall be ensured by suitable means that the radio interference background level (radio interference level caused by external field and by the high-voltage transformer when magnetized at the full test voltage) is at least 6 dB below the specified radio interference level of the test object. Calibration methods for the measuring instrument and for the measuring circuits are given in CISPR 16-1 (all parts) [32] and CISPR TR 18-2 respectively.

The following test procedure shall be followed.

A voltage of $1,1 \times U_r / \sqrt{3}$ shall be applied to the test object and maintained for at least 5 min, U_r being the rated voltage of the switchgear and controlgear.

The test is passed, if the radio interference level does not exceed 2 500 μ V.

As the radio interference level may be affected by fibres or dust settling on the insulators, it is permitted to wipe the insulators with a clean cloth before taking a measurement. The atmospheric conditions during the test shall be recorded. If the measured RIV value is above the limit and the relative humidity is above 80 %, the test is not conclusive and shall be repeated with a relative humidity lower than 80 %.

7.9.1.2 Emission tests from the auxiliary and control circuits

Auxiliary and control circuits of switchgear and controlgear shall be subjected to electromagnetic emission tests if they include electronic equipment or components. In other cases no tests are required.

For auxiliary and control circuits of switchgear and controlgear, the EMC requirements and tests specified in this document have precedence over other EMC specifications.

The test shall be performed only on a representative auxiliary and control circuit, because the single components are tested according to their relevant standards, if any.

Electronic equipment, which is part of the auxiliary and control circuits, shall fulfil the requirements with regard to radiated emission, as defined in CISPR 11:2015 for group 1, class A equipment. No other tests are specified. A 10 m measuring distance may be used instead of 30 m, by increasing the limit values by 10 dB.

7.9.2 Immunity tests on auxiliary and control circuits

7.9.2.1 General

Auxiliary and control circuits of switchgear and controlgear shall be subjected to electromagnetic immunity tests if they include electronic equipment or components. In other cases no tests are required.

The tests shall be performed on a typical auxiliary and control circuit. Components shall comply with their relevant standards, if any.

The following immunity tests are specified:

- electric fast transient/burst test (refer to 7.9.2.2). The test simulates the conditions caused by switching in the auxiliary and control circuit;
- oscillatory wave immunity test (refer to 7.9.2.3). The test simulates the conditions caused by switching in the main circuit.

NOTE Other EMC immunity tests do exist, but are not specified in this case.

Electromagnetic immunity tests shall be made on complete auxiliary and control circuits or subassemblies. The tests may be made on

- the complete auxiliary and control circuits;
- subassemblies, such as central control cubicle, drive mechanism cubicle, etc.;
- subassemblies within a cubicle, such as metering or monitoring system.

Individual testing of subassemblies is strongly recommended in cases where long lengths of interconnections are needed, or where significant interference voltages are expected between the subassemblies. Individual testing is mandatory for each interchangeable subassembly.

The test voltage shall be applied to the interface of the auxiliary and control circuits or tested subassembly.

The type test report shall clearly state what system or subassembly has been tested.

7.9.2.2 Electrical fast transient/burst test

An electrical fast transient/burst test shall be performed in accordance with IEC 61000-4-4, with a repetition rate of 5 kHz. The ports and interfaces shall be chosen in accordance with IEC 61000-6-2. The test voltage and coupling shall be chosen according to Table 16.

Table 16 – Application of voltages at the fast transient/burst test

Interface	Relevance for equipment	Test voltage kV	Coupling
Power port	AC and DC power lines	2	CDN
Cabinet earth port		2	CDN
Signal port	Shielded and unshielded lines, carrying analogue and/or digital signals control lines communication lines (for example data buses) measuring lines (for example CT, VT)	2	CCC or equivalent coupling methods
Key CDN: Coupling decoupling network. CCC: Capacitive coupling clamp.			

7.9.2.3 Oscillatory wave immunity test

An oscillatory wave immunity test shall be performed, with shape and duration of the test voltage in accordance with IEC 61000-4-18.

The ports and interfaces shall be chosen in accordance with IEC 61000-6-2.

Damped oscillatory wave tests shall be made at 100 kHz and 1 MHz, with a relative tolerance of ± 30 %.

Tests shall be made for both common and differential mode. The test voltage and coupling method shall be chosen according to Table 17.

Table 17 – Application of voltage at the damped oscillatory wave test

Interface	Relevance for equipment	Test voltage kV	Coupling
Power port	AC and DC power lines	Differential mode: 1,0 Common mode: 2,5	CDN CDN
Signal port	Shielded and unshielded lines, carrying analogue and/or digital signals control lines communication lines (for example data buses) measuring lines (for example CT, VT)	Differential mode: 1,0 Common mode: 2,5	CDN CDN Or equivalent coupling method
Key CDN: Coupling decoupling network.			

7.9.2.4 Behaviour of the secondary equipment during and after tests

The auxiliary and control circuits shall withstand each of the tests specified in 7.9.2.2 and 7.9.2.3 without permanent damage. After the tests it shall still be fully operational. Temporary loss of parts of the functionality is permitted according to Table 18.

Table 18 – Assessment criteria for transient disturbance immunity

Function	Criterion
Protection, tele protection	A
Alarm	B
Supervision	B
Command and control	A
Measurement	B
Counting	A
Data processing	
for high-speed protective system	A
for general use	B
Information	B
Data storage	A
Processing	B
Monitoring	B
Man-machine interface	B
Self-diagnostics	B
Processing, monitoring and self-diagnostic functions which are on-line connected, and are part of command and control circuits, shall fulfil criterion A.	
Key A: Normal performance within the specification limits; B: Temporary degradation or loss of function or performance which is self-recoverable.	

7.9.3 Additional EMC tests on auxiliary and control circuits

7.9.3.1 General

The objective of the tests described below is to qualify the whole assembly without repeating individual test on components. Therefore, tests on components which comply with their relevant IEC standards and with relevant rated values need not be repeated.

7.9.3.2 Ripple on DC input power port immunity test

This test shall be performed according to IEC 61000-4-17:2009. The test level shall be level 2, and the frequency of the ripple is equal to three times the rated frequency (f_r).

The assessment criterion is: "normal performance within the specification limits" (criterion A).

7.9.3.3 Voltage dips, short interruptions and voltage variations on input power port immunity tests

Voltage dips, short interruptions and voltage variations tests on AC power ports shall be performed according to IEC 61000-4-11 and on DC power ports according to IEC 61000-4-29.

The relevant acceptance criteria are present in 6.4.1.

7.10 Additional tests on auxiliary and control circuits

7.10.1 General

Tests on components, which comply with their relevant IEC standards and with relevant rated values, need not be repeated.

7.10.2 Functional tests

A functional test of all auxiliary and control circuits shall be made to verify the proper functioning of auxiliary and control circuits in conjunction with the other parts of the switchgear and controlgear. The test procedures depend on the nature and the complexity of the auxiliary and control circuits of the device. They shall be performed with the upper and lower value limits of the supply voltage defined in 6.4.1.

For auxiliary and control circuits, sub-assemblies and components, operation tests can be omitted if they have been fully performed during a test applied to the whole switchgear and controlgear or in relevant circumstances.

7.10.3 Verification of the operational characteristics of auxiliary contacts

7.10.3.1 General

Auxiliary contacts, which are contacts included in auxiliary circuits, shall be submitted to the following tests unless the equipment has passed the whole type tests as a functional unit.

7.10.3.2 Auxiliary contact rated continuous current

This test verifies the rated value of current which a previously closed auxiliary contact is capable of carrying continuously.

The circuit shall be closed and opened by means independent from the contact under test. Test procedures are described in 7.5.3.2. The contact shall carry its class rated continuous current according to Table 8 without exceeding the temperature rise in Table 14 based on the contact material and the working environment.

7.10.3.3 Auxiliary contact rated short-time withstand current

This test verifies the value of current which a previously closed auxiliary contact is capable of carrying for a specified short period.

The circuit shall be closed and opened by means independent from the contact under test. The contact shall carry its class rated short-time withstand current according to Table 8 for 30 ms, with a resistive load. The current value to be obtained shall be reached within 5 ms after current initiation. The tolerance on the test current amplitude is $\begin{smallmatrix} +5 \\ 0 \end{smallmatrix}$ % and the tolerance

on the test current duration is $\begin{smallmatrix} +10 \\ 0 \end{smallmatrix}$ %.

This test shall be repeated 20 times with a 1 min interval between each test. The contact resistance value shall be taken before and after the tests at 50 % of the rated continuous current in Table 8, with the contacts at ambient temperature for both measurements.

The test is passed:

- if the resistance increase is less than 20 %;
- or, when the increase exceeds 20 %, if the continuous current test according to 7.5.3.2 is performed successfully.

7.10.3.4 Auxiliary contact breaking capacity

This test verifies the breaking capacity of an auxiliary contact.

The circuit shall be closed by means independent from the contact under test. The contact shall carry for 5 s and shall break the current associated with its class according to Table 8, with an inductive load. The tolerance on the test voltage is $^{+10}_0$ % and the tolerance on the test current amplitude is $^{+5}_0$ %.

For all classes, the circuit time constant shall be 20 ms with a tolerance of $^{+20}_0$ %.

This test shall be repeated 20 times with a 1 min interval between each test. The recovery voltage shall be maintained during each 1 min interval and for 300 ms $\pm$ 30 ms after the last operation. The contact resistance value shall be taken before and after the tests at 50 % of the rated continuous current in Table 8, with the contacts at ambient temperature for both measurements. The resistance increase shall be less than 20 %. If the increase exceeds 20 % then the continuous current test according to 7.5.3.2 shall be performed.

7.10.4 Environmental tests

7.10.4.1 General

Heating elements, if any, shall be ready to operate except where otherwise stated.

The following tests are independent type tests.

Auxiliary and control circuits shall be energised, and shall remain in the operating condition during and after the test until the functional checks have been performed. At the end of the test duration, except for the vibration response test, auxiliary and control circuits shall be checked to ascertain whether they are capable of functioning in accordance with their design intent.

If other environmental tests than indicated under 7.10.4 are requested, due to special environmental conditions, then these tests should be performed according to IEC 60068-2 (all parts) [75] where applicable.

7.10.4.2 Cold test

A cold test shall be performed according to test Ad of IEC 60068-2-1:2007, under the service conditions specified in Clause 4. The test temperature shall be the minimum ambient air temperature and the test duration shall be 16 h.

7.10.4.3 Dry heat test

A dry heat test shall be performed according to test Be of IEC 60068-2-2:2007 according to the configuration of auxiliary circuits, under the service conditions specified in Clause 4. The test temperature shall be the maximum ambient air temperature and the test duration shall be 16 h.

7.10.4.4 Cyclic humidity test

A cyclic humidity test shall be performed according to test Db of IEC 60068-2-30:2005. The upper temperature shall be the maximum ambient air temperature specified in Clause 4 and the number of temperature cycles shall be two. Variant 2 may be used for the temperature fall

period and recovery shall take place under standard atmospheric conditions. No special precautions shall be taken regarding the removal of surface moisture.

7.10.4.5 Vibration tests

Vibrations due to operation of the associated switchgear or controlgear are checked as follows.

- A test is performed according to IEC 60255-21-1:1988. Vibration response test parameters are those corresponding to severity class 1;
- or the auxiliary and control equipment assembly is subjected to the relevant mechanical endurance tests in the complete switchgear and controlgear.

The auxiliary and control circuits shall withstand the vibration response test without permanent damage. After the test, it shall still be fully operational. Temporary loss of parts of the functionality is permitted during the test according to criteria stated in Table 17.

7.10.4.6 Condition check

The power-frequency voltage withstand tests according to 7.10.5 shall be performed after each type test, to confirm that there has been no reduction of performance during testing.

In the case the type tests of 7.10.4 are performed as test sequence on the same test object, this condition check may be performed only once at the end.

7.10.5 Dielectric test

Auxiliary and control circuits of switchgear and controlgear shall be subjected to short-duration power-frequency voltage withstand tests. Each test shall be performed:

- a) between the auxiliary and control circuits connected together as a whole and the frame of the switching device;
- b) if practicable, between each part of the auxiliary and control circuits, which in normal use may be insulated from the other parts, and the other parts connected together and to the frame.

The power frequency tests shall be performed according to IEC 61180. The test voltage shall be 2 kV with duration of 1 min.

A DC test is acceptable by agreement of the manufacturer, the test voltage shall be 2,8 kV, with a duration of 1 min.

The auxiliary and control circuits of switchgear and controlgear shall be considered to have passed the tests if no disruptive discharge occurs during each test.

If motors and other devices such as electronic equipment used in the auxiliary and control circuits have already been tested in accordance with their own specification, they shall be disconnected for these tests.

7.11 X-radiation test for vacuum interrupters

7.11.1 General requirements

7.11.1.1 Condition of interrupter to be tested

Tests on the X-radiation emission levels shall be performed on new vacuum interrupters.

There is no requirement to test switchgear and controlgear for X-radiation emission, where the vacuum interrupter type has been successfully tested as a component.

7.11.1.2 Mounting of specimen

The interrupter shall be mounted in a test fixture, designed so that the open contact spacing may be set at the minimum distance when installed in the switchgear and controlgear. Interrupters designed for operation in an insulating medium other than air (such as oil or SF₆) may be tested in such a medium, if necessary, to withstand the test voltage.

The container for the insulating medium shall be of an insulating material having radiation attenuation no greater than that afforded by 9,5 mm thick methyl methacrylate. The insulating medium between the interrupter and radiation survey instrument shall be the minimum required for dielectric purposes.

7.11.1.3 Radiation survey instrument

A radiofrequency shielded radiation survey instrument having the following minimum specifications shall be used.

- accuracy: capable of measuring from 5 µSv/h up to 150 µSv/h with an accuracy of ±25 % along this range and with a response time not to exceed 15 s;
- energy response range: at least 25 keV to 0,5 MeV.

NOTE The selection of the radiation survey measuring instrument is related to the test voltage and sensitivity of the detector across the specified energy response range.

7.11.1.4 Location of radiation survey instrument

The sensing element of the radiation survey instrument shall be positioned in the plane of the separable contacts and pointed at the contacts. The preferred distance between the measuring instrument and the wall of the vacuum interrupter is 1 m. However any distance up to 15 m may be used in which case the instrument reading shall be adjusted by applying the inverse square law as follows:

$$R(1\text{m}) = R(d) \times d^2$$

where $R(d)$ is the radiation level measured, at the distance d (in m) from the external surface of the vacuum interrupter.

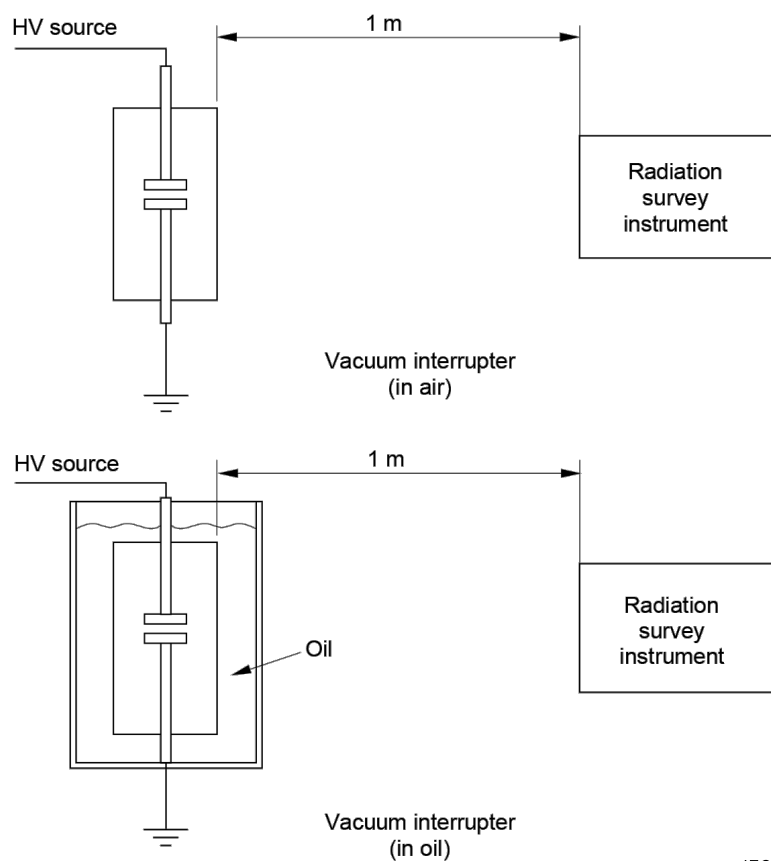


Figure 4 – Test location of radiation survey instrument

7.11.2 Test voltage and measurement procedure

With the interrupter mounted in a test fixture, with the contacts blocked open at the minimum contact spacing specified, and with the radiation survey instrument in place (refer to Figure 4), a voltage shall be applied across the interrupter contacts equal the rated voltage U_r of the switchgear and controlgear. After a minimum of 15 s, the X-radiation level on the radiation survey instrument shall be according to 7.11.3.

Next, the voltage across the interrupter contacts shall be raised to a value equal to the common value of rated short-duration power-frequency withstand voltage U_d shown in Table 1 or Table 2 as appropriate. After a minimum of 15 s, the X-radiation level on the radiation survey instrument shall be recorded in the test report.

7.11.3 Acceptance criteria

The X-radiation emitted from vacuum interrupters shall not exceed 5 $\mu\text{Sv/h}$ at 1 m distance at the rated voltage U_r .

For vacuum interrupters used in switchgear and controlgear that have a rated short-duration power-frequency withstand voltage less than or equal to 160 kV, the X-radiation emitted at the short-duration rated power-frequency withstand voltage U_d shall not exceed 150 $\mu\text{Sv/h}$ at 1 m distance.

For vacuum interrupters in switchgear and controlgear that have a rated short-duration power-frequency withstand voltage greater than 160 kV, the X-radiation emitted at the short-duration rated power-frequency withstand voltage U_d shall be measured. If the measured value exceeds 150 $\mu\text{Sv/h}$ at 1 m distance, then the actual value shall be declared by the manufacturer.

NOTE The declared value can be used to develop a safe working environment in accordance with local regulations when performing a power frequency withstand test across open contact gaps of vacuum interrupters.

8 Routine tests

8.1 General

The routine tests are for the purpose of revealing faults in material or construction. They do not impair the properties and reliability of a test object. The routine tests shall be made wherever reasonably practicable at the manufacturer's works on each apparatus manufactured. By agreement, any routine test may be made on site.

The routine tests given in this document comprise:

- a) dielectric test on the main circuit in accordance with 8.2;
- b) tests on auxiliary and control circuits in accordance with 8.3;
- c) measurement of the resistance of the main circuit in accordance with 8.4;
- d) tightness test in accordance with 8.5;
- e) design and visual checks in accordance with 8.6.

Additional routine tests may be necessary and are, when needed, specified in the relevant IEC standards.

When switchgear and controlgear is not completely assembled before transport, separate tests shall be made on all transport units. In this event, the manufacturer shall demonstrate the validity of this test (for example, leakage rate, test voltage, resistance of part of the main circuit).

Test reports of the routine tests are not required unless otherwise agreed upon between the manufacturer and the user.

8.2 Dielectric test on the main circuit

A dry, short-duration power-frequency voltage test shall be applied. The test procedure shall be according to IEC 60060-1:2010 and to 7.2, except that each pole or transport unit shall be tested. For sealed pressure systems, the test shall be made at the filling pressure for insulation.

The test voltage shall be the rated short-duration power-frequency withstand voltage specified in column 2 of Tables 1 through 4.

When the insulation of switchgear and controlgear is provided only by solid-core insulators and air at ambient pressure, the power-frequency voltage withstand test may be omitted if the dimensions between the conductive parts – between phases, across open switching devices and between conductive parts and the frame – are checked by dimensional measurements.

Bases for the checking of dimensions are the dimensional (outline) drawings, which are part of the type test report (or are referred to in it) of the particular switchgear and controlgear. Therefore, in these drawings all information necessary for dimensional checking including the permissible tolerances shall be given.

8.3 Tests on auxiliary and control circuits

8.3.1 Inspection of auxiliary and control circuits, and verification of conformity to the circuit diagrams and wiring diagrams

The nature of the materials, the quality of assembly, the finish and, if necessary, the protective coatings against corrosion shall be checked. A visual inspection is also necessary to check the satisfactory installation of the thermal insulation, if any.

A visual inspection of actuators, interlocks, locks, etc., shall be made.

Components for auxiliary and control circuits inside enclosures shall be checked for proper mounting. The location of the means provided for connecting external wiring shall be checked to ensure that there is sufficient wiring space for spreading of the cores of multi-core cables and for the proper connection of the conductors.

The conductors and cables shall be checked for proper routing. Special attention shall be given to ensure that no mechanical damage can occur to conductors and cables due to the proximity of sharp edges or heating elements, or to the movement of moving parts.

Furthermore, the identification of components and terminals and, if applicable, the identification of cables and wiring shall be verified. In addition, the conformity of auxiliary and control circuits to the circuit diagrams and wiring diagrams shall be checked.

8.3.2 Functional tests

Functional tests are specified, where relevant, in the relevant IEC product standards. When specified, they shall be made on all auxiliary and control circuits to verify the proper functioning of auxiliary and control circuits in conjunction with the other parts of the switchgear and controlgear. The test procedures depend on the nature and the complexity of the auxiliary and control circuits of the device.

Operation tests on auxiliary and control circuits, subassemblies and components may be omitted if they have been fully tested during a test applied to the whole switchgear and controlgear.

8.3.3 Verification of protection against electrical shock

Protection against direct contact with the main circuit and safe accessibility to the auxiliary and control equipment parts liable to be touched during normal operation shall be checked. The preferred method is by visual inspection.

Where visual inspection cannot provide confirmation of the electrical continuity of earthed metallic parts, the alternative procedure defined in 7.4.3 shall be applied.

8.3.4 Dielectric tests

Only power frequency tests shall be performed. This test shall be made under the same conditions as those detailed in 7.10.5.

The test voltage shall be 1 kV with duration of 1 s.

8.4 Measurement of the resistance of the main circuit

For the routine test, the DC voltage drop or resistance of each pole of the main circuit shall be measured under conditions as nearly as possible similar, with regard to ambient air temperature and points of measurement, to those under which the corresponding measurement before the continuous current test was made. The test current shall be within the range stated in 7.4.4.

The measured resistance shall not exceed $1,2 \times R_u$, where R_u is equal to the resistance measured before the continuous current test.

In the case of assemblies it may be necessary to calculate the expected resistance based on relevant type tests.

8.5 Tightness test

8.5.1 General

Routine tests shall be performed to demonstrate the tightness criteria according to 6.16 at ambient temperature with the switchgear parts, components or subassemblies at or above the minimum functional pressure (or density) for insulation.

8.5.2 Controlled pressure systems for gas

The test procedure corresponds to 7.8.2.

8.5.3 Closed pressure systems for gas

The test may be performed at different stages of the manufacturing process or of assembling on site, on parts, components and subassemblies.

For parts or subassemblies tested in factory, the cumulative test is the preferred method.

For gas-filled systems tested in factory, the probing test using a sniffing device may be used. If any leak is detected, the test shall be considered to be failed or the leak shall be quantified by using a cumulative method.

For routine tests at site, the probing test using a sniffing device is the preferred method.

The sensitivity of the sniffing device shall be at least $10^{-8} \text{ Pa} \times \text{m}^3/\text{s}$.

8.5.4 Sealed pressure systems

Depending on the insulation medium two situations are considered:

a) Switchgear using gas

The preferred test procedure corresponds to 7.8.4, item a).

An alternative test procedure corresponds to the sealing tracer gas test with mass spectrometer, refer to IEC 60068-2-17:1994 [31].

b) Switchgear using vacuum interrupters

The vacuum tightness shall be demonstrated by a dielectric test according to 7.2.12 carried out after the mechanical routine test specified in the relevant product standards.

8.5.5 Liquid tightness tests

Routine tests shall be performed at normal ambient air temperature with the completely assembled switchgear and controlgear device. Testing of subassemblies is also permissible. In this case, a final check shall be performed at site.

The test methods correspond to those of the type tests (refer to 7.8.5).

8.6 Design and visual checks

The switchgear and controlgear shall be checked to verify its compliance with the purchase specification, if any.

9 Guide to the selection of switchgear and controlgear (informative)

9.1 General

Clause 9 gives general guidance on the appropriate selection of ratings and parameters depending on the application to be covered by high-voltage switchgear and controlgear. A summary of the considerations for specifying the ratings of switchgear and controlgear is provided in Annex F (informative).

9.2 Selection of rated values

The rated values should be chosen in accordance with this document having regard for the characteristics of the system as well as its anticipated future development. A list of ratings is given in Clause 5.

For most of the rated voltages, several rated insulation levels exist to allow for application of different performance criteria or overvoltage patterns. The choice should be made considering the degree of exposure to fast-front and slow-front overvoltage, the type of neutral earthing of the system and the type of overvoltage limiting devices (see IEC 60071-2:1996). Other parameters, such as local atmospheric and climatic conditions and the use at altitudes exceeding 1 000 m, should also be considered.

The duty imposed by fault conditions should be determined by calculating the fault currents at the place where the switchgear and controlgear is to be located in the system. Reference is made to IEC 60909-0 [33] and IEC TR 60909-1 [34] in this regard.

9.3 Cable-interface considerations

For connection to cables, the maximum temperature at the terminals at full continuous current should be below the temperature limits of the cable insulation and cable termination.

9.4 Continuous or temporary overload due to changed service conditions

Equipment could be required to carry a load current above its rated continuous current during a short period of time or when ambient temperatures are favourable to do it provided the temperature does not exceed the maximum temperature value specified in Table 14; reference is made to IEC TR 62271-306 [4].

NOTE For certain devices (e.g. load break switches) the temporary overload could result in a load current that exceeds the switching capability of the switchgear.

9.5 Environmental aspects

9.5.1 Service conditions

Selected switchgear and controlgear and its associated operating devices and auxiliary equipment should be designed and validated to comply with at least the specific service conditions required by the user or appropriate arrangements should be made.

9.5.2 Clearances affected by service conditions

Where clearances may be compromised by environmental related changes in the service access level (for example accumulation of snow, sand, etc.) the use of increased clearances should be considered.

9.5.3 High humidity

For the normal service conditions present in 4.1.2 e), condensation may occasionally occur on, or in, indoor switchgear and controlgear.

To withstand the effects of high humidity and condensation, such as breakdown of insulation or corrosion of metallic parts, switchgear designed for such conditions should be used.

Condensation may be prevented by special design of the building or housing, by suitable ventilation and heating of the station or by the use of dehumidifying equipment. Other options include heaters with thermostats/humidistat inside the switchgear.

High humidity may also be due to ground level rainwater or for cable-connected applications of underground network applications from incoming cable raceways connected to switchgear.

9.5.4 Solar radiation

Under certain levels of solar radiation, appropriate measures, for example roofing, forced ventilation etc., may be necessary, or derating may be used, in order not to exceed the specified temperature and pressure rise limits. Tests with simulated solar gain may be used to demonstrate if measures or derating are needed.

10 Information to be given with enquiries, tenders and orders (informative)

10.1 General

The intention of this clause is to define information, which is necessary to enable the user to make an appropriate enquiry for equipment and to enable the supplier to give an adequate tender.

Furthermore, it enables the user to make a comparison and evaluation of offers from different suppliers.

NOTE The supplier can either be a manufacturer or a contractor.

When enquiring about or ordering an installation of switchgear and controlgear the following information as a minimum should be supplied by the enquirer.

Annex F (informative) provides similar information items in a tabular form for ease of use.

10.2 Information with enquiries and orders

The following information listed below, if applicable, should be given by the enquirer / user.

a) Particulars of the system:

Nominal and highest voltage, frequency, type of system neutral earthing.

b) Service conditions if different from normal (refer to Clause 4):

Any condition deviating from the normal service conditions or affecting the satisfactory operation of the equipment.

In this case high-voltage switchgear and controlgear and associated operating devices and auxiliary equipment should be designed and validated to comply with any special service conditions required by the user, or appropriate arrangements should be made.

c) Particulars of the installation and its components:

- 1) indoor or outdoor installation;
- 2) number of phases;
- 3) number of busbars, as shown in the single-line diagram;
- 4) rated voltage;
- 5) rated frequency;
- 6) rated insulation level (U_d , U_p , U_s when applicable);

- 7) rated continuous currents of busbars and feeder circuits;
 - 8) rated short-time withstand current (I_k);
 - 9) rated duration of short-circuit (if different from 1 s);
 - 10) rated peak withstand current (if different from 2,5 I_k or 2,6 I_k);
 - 11) rated values of components (e.g. for VTs or CTs in an assembly, for individual functional units of an assembly.);
 - 12) degree of protection for the enclosure and partitions;
 - 13) circuit diagrams.
- d) Particulars of the operating devices:
- 1) type of operating devices;
 - 2) rated supply voltage (if any);
 - 3) rated supply frequency (if any);
 - 4) rated supply pressure (if any);
 - 5) special interlocking requirements;
 - 6) number of available auxiliary contacts required (the user should state the contact performance needed).

In addition to these items the enquirer should indicate every condition which might influence the tender or the order, for example special mounting or installation conditions, the location of the external high-voltage connections or any specific rules for pressure vessels, requirements for cable testing and, if applicable, whether functionality shall be maintained after a seismic event or during and after a seismic event.

Information should be supplied if type test reports or any other conformity assessment related document are requested.

10.3 Information with tenders

The following information listed below, if applicable, should be given by the manufacturer with descriptive material and drawings.

- a) Rated values and characteristics as enumerated in item c) of 10.2.
- b) Constructional features, for example:
- 1) mass of the heaviest transport unit;
 - 2) overall dimensions of the installation;
 - 3) arrangement of the external connections;
 - 4) future extensions if applicable;
 - 5) facilities for transport and mounting;
 - 6) mounting provisions;
 - 7) accessible sides;
 - 8) instructions for installation, operation and maintenance;
 - 9) type of gas-pressure or liquid-pressure system;
 - 10) filling level / pressure and minimum functional level / pressure;
 - 11) volume or mass of fluid for the different compartments;
 - 12) specification of fluid.
- c) Particulars of the operating devices:
- 1) types and rated values as enumerated in item d) of 10.2;
 - 2) current or power for operation;

- 3) operating times.
- d) List of recommended spare parts that should be procured by the user.
- e) Any other document or information requested in the enquiry.

11 Transport, storage, installation, operating instructions and maintenance

11.1 General

It is essential that the transport, storage and installation of switchgear and controlgear, as well as their operation and maintenance in service, is performed in accordance with instructions given by the manufacturer.

Consequently, the manufacturer shall provide the appropriate version of the instruction manual for the transport, storage, installation, operation and maintenance of switchgear and controlgear. The instructions for the transport and storage should be given at a convenient time before delivery, and the instructions for the installation, operation and maintenance should be given by the time of delivery at the latest. It is preferable that the operation manual be a separate document from the installation and maintenance manual.

It is impossible, here, to cover in detail the complete rules for the installation, operation and maintenance of each one of the different types of apparatus manufactured, but the following information is given relative to the most important points to be considered for the instructions provided by the manufacturer.

11.2 Conditions during transport, storage and installation

A special agreement should be made between manufacturer and user if the service conditions of temperature and humidity defined in the order cannot be guaranteed during transport, storage and installation. Special precautions may be essential for the protection of insulation during transport, storage and installation, and prior to energizing, to prevent moisture absorption due, for instance, to rain, snow or condensation. Vibrations during transport should be considered. Appropriate instructions should be given by the manufacturer.

Special packaging should be proposed by the manufacturer for long term storage of parts for maintenance needs according to customer specifications.

11.3 Installation

11.3.1 General

For each type of switchgear and controlgear the instructions provided by the manufacturer shall include at least the items listed below.

11.3.2 Unpacking and lifting

Each complete equipment shall be provided with adequate lifting facilities and labelled (externally) to show the correct method of lifting. The equipment shall be labelled (externally) to indicate its maximum mass, in kg, when fully equipped. Special lifting devices shall be capable of lifting the mass of each transport unit and special precautions shall be detailed in the installation manual (for example lifting brackets/bolts that are not intended to be left outdoors shall be removed at site).

Required information for unpacking should be given.

11.3.3 Assembly

When the switchgear and controlgear is not fully assembled for transport, all transport units should be clearly marked. Drawings showing assembly of these parts should be provided with the switchgear and controlgear.

11.3.4 Mounting

Instructions for the mounting of switchgear and controlgear, operating device and auxiliary equipment should include sufficient details of locations and foundations to enable site preparation to be completed.

These instructions should also indicate:

- the total mass of the apparatus inclusive of extinguishing or insulating fluids;
- the mass of extinguishing or insulating fluids;
- the mass of each unit to be lifted separately.

11.3.5 Connections

Instructions should include information on:

- connection of conductors, comprising the necessary advice to prevent overheating and unnecessary strain on the switchgear and controlgear and to provide adequate clearance distances;
- connection of auxiliary circuits;
- connection of liquid or gas systems, if any, including size and arrangement of piping;
- connection for earthing;
- auxiliary contacts available to the user.

11.3.6 Information about gas and gas mixtures for controlled and closed pressure systems

For controlled and closed pressure systems filled with gas mixture, the percentage of the different gases and their associated tolerances shall be defined by the manufacturer taking into account handling and uncertainty of measurement. Appropriate gas filling procedures are defined in IEC 62271-4.

During commissioning or maintenance, the maximum allowable humidity content within gas-filled switchgear and controlgear filled with gas at the filling pressure (density) for insulation shall be checked by dew point measurement. Appropriate correction factors shall be used for measurements performed at temperatures other than 20 °C according to the manufacturer's instruction manual.

The maximum allowable humidity content for equipment filled or re-filled with new or used gas should be such that the dew point inside the switchgear compartment is not higher than

- –10 °C for equipment with adsorber material;
- –15 °C for equipment without adsorber material

during commissioning or after maintenance for a measurement at filling pressure (density) for insulation and at 20 °C.

NOTE 1 These dew point values during commissioning are expected to give a dew point value lower than -5 °C during service life, for a measurement at 20 °C.

NOTE 2 The measurement of the dew point is specified at a given temperature due to the possible exchange of water between gas and solid materials when the temperature changes, which could change the measured value.

NOTE 3 An example of measurement and determination of the dew point is given in IEEE C37.122.5 [35].

11.3.7 Final installation inspection

Instructions should be provided for inspection and tests which should be made after the switchgear and controlgear has been installed and all connections have been completed.

These instructions should include:

- a schedule of recommended site tests to establish correct operation;
- procedures for carrying out any adjustment that may be necessary to obtain correct operation;
- recommendations for any relevant measurements that should be made and recorded to help with future maintenance decisions;
- a procedure for qualitative gas tightness test at site (sniffing test) on all field assembled connections for closed pressure systems, reference is made to 8.5.3;
- instructions for final inspection and putting into service.

Guidance for electromagnetic compatibility site measurements is given in Annex H (informative).

11.3.8 Basic input data by the user

These data should include:

- a) access limitations to the local site;
- b) local working conditions and any restrictions that may apply (for example, safety equipment, normal working hours, union requirements for supervisor, manufacturer's and local installation crew, etc.);
- c) availability and capacity of lifting and handling equipment;
- d) availability, number and experience of local personnel;
- e) specific pressure vessel rules and procedures that may apply during installation and commissioning tests;
- f) interface requirements for high-voltage cables and transformers;
- g) in the case of extensions to existing switchgear and controlgear:
 - 1) provisions for the extension available within existing primary and secondary equipment;
 - 2) in-service conditions or operating restrictions that apply;
 - 3) safety regulations that locally apply.

11.3.9 Basic input data by the manufacturer

These data should include:

- a) space necessary for installation and assembly;
- b) size and weight of components and testing equipment;
- c) site conditions regarding cleanliness and temperature for clean installation and preparation area;
- d) number and experience of local personnel required for installation;
- e) time and activity schedules for installation and commissioning;
- f) electric power, lighting, water and other needs for installation and commissioning;
- g) proposed training of installation and service personnel;
- h) in case of extension to existing switchgear and controlgear:
 - 1) out-of-service requirements of existing components related to the installation schedule;

- 2) safety precautions.
- i) gas filling procedure (mixed gases) and dew point verification, if necessary.

11.4 Operating instructions

The operating instructions given by the manufacturer shall contain the following information:

- a general description of the equipment with particular attention to the technical description of its characteristics and operation so that the user has an adequate understanding of the main principles involved;
- a description of the safety features of the equipment and the operation of the interlocks and padlocking facilities;
- as relevant, a description of the action to be taken to manipulate the equipment for operation isolation, earthing, maintenance, and testing;
- as relevant, measures against corrosion should be given.

11.5 Maintenance

11.5.1 General

The effectiveness of maintenance depends mainly on the way instructions are prepared by the manufacturer and implemented by the user.

11.5.2 Information about fluids and gas to be included in maintenance manual

Where applicable, the following information shall be provided by the manufacturer:

- a) type and required quantity and quality of liquid to be used in switchgear and controlgear;
- b) type and required quantity and quality of gas to be used in switchgear and controlgear.

11.5.3 Recommendations for the manufacturer

The manufacturer should be responsible for ensuring the continued availability of spare parts required for maintenance for a period of not less than 10 years from the date of final manufacture of the switchgear and controlgear.

The manufacturer should inform the purchasers of a particular type of switchgear and controlgear about corrective actions required by systematic defects and failures detected in service.

The manufacturer's maintenance manual should include the following information listed below.

- a) Extent and frequency of maintenance. For this purpose the following factors should be considered:
 - 1) switching operations (current and number);
 - 2) total number of operations;
 - 3) time in service (periodic intervals);
 - 4) environmental conditions;
 - 5) activity after a seismic event (if applicable);
 - 6) measurements and diagnostic tests, (if any).
- b) Detailed description of the maintenance work:
 - 1) recommended place for the maintenance work (indoor, outdoor, in factory, on site, etc.);
 - 2) procedures for inspection, diagnostic tests, examination, overhaul;
 - 3) reference to drawings;

- 4) reference to part numbers;
 - 5) use of special equipment or tools;
 - 6) precautions to be observed (for example cleanliness and possible effects of harmful arcing by-products);
 - 7) lubrication procedures.
- c) Comprehensive drawings of the details of the switchgear and controlgear important for maintenance, with clear identification (part number and description) of assemblies, subassemblies and significant parts.

NOTE Expanded detail drawings which indicate the relative position of components in assemblies and subassemblies are a common illustration method.

- d) Limits of values, which can be measured during operation or routine maintenance and tolerances which, when exceeded, make corrective action necessary, for example:
- 1) pressures, density levels, gas mixtures tolerance;
 - 2) resistance and/or capacitance (of the main circuit);
 - 3) operating times;
 - 4) resistance of the main circuits;
 - 5) insulating liquid or gas characteristics;
 - 6) quantities and quality of liquid or gas (see IEC 60480 and IEC 62271-4 for SF₆);
 - 7) dew point inside gas-filled switchgear compartment according to 11.3.6;
 - 8) permissible erosion of parts subject to wear;
 - 9) torques;
 - 10) important dimensions.
- e) Specifications for auxiliary maintenance materials, including warning of known non-compatibility of materials:
- 1) grease;
 - 2) oil;
 - 3) fluid;
 - 4) cleaning and degreasing agents.
- f) List of special tools, lifting and access equipment.
- g) Tests after the maintenance work.
- h) List of the recommended spare parts (description, reference number, quantities) and advice for storage.
- i) Estimate of active scheduled maintenance time, carried out in accordance with an established time schedule.
- j) How to proceed with the equipment at the end of its operating life, taking into consideration environmental requirements.

11.5.4 Recommendations for the user

If the user wishes to perform maintenance, the maintenance manual of the manufacturer should be followed.

The user should record the following information:

- the serial number and the type of the switchgear and controlgear;
- the date when the switchgear and controlgear is put in service;
- the results of all measurements and tests including diagnostic tests carried out during the life of the switchgear and controlgear;
- dates and extent of the maintenance work carried out;

- the history of service, periodical records of the operation counters and other indications (for example short-circuit operations);
- references to any failure report.

In case of failure and defects, the user should make a failure report and should inform the manufacturer by stating the special circumstances and measures taken. Depending upon the nature of the failure, an analysis of the failure should be made in collaboration with the manufacturer.

11.5.5 Failure report

The purpose of the failure report is to standardize the recording of the switchgear and controlgear failures with the following objectives:

- to describe the failure using a common terminology;
- to provide data for the user statistics;
- to provide a meaningful feedback to the manufacturer.

The following gives guidance on how to make a failure report.

A failure report should include the points listed below.

- a) Identification of the switchgear which failed:
 - 1) substation name;
 - 2) identification of the switchgear (manufacturer, type, serial number, ratings);
 - 3) switchgear technology (air blast, minimum oil, SF₆, vacuum);
 - 4) location (indoor, outdoor);
 - 5) enclosure;
 - 6) drive mechanism, if applicable (hydraulic, pneumatic, spring, motor, manual).
- b) History of the switchgear:
 - 1) date of commissioning of the equipment;
 - 2) date of failure/defect;
 - 3) total number of operating cycles, if applicable;
 - 4) date of last maintenance;
 - 5) details of any changes made to the equipment since manufacture;
 - 6) total number of operating cycles since last maintenance;
 - 7) condition of the switchgear when the failure/defect was discovered (in service, maintenance, etc.).
- c) Identification of the subassembly/component responsible for the primary failure/defect:
 - 1) high-voltage stressed components;
 - 2) electrical control and auxiliary circuits;
 - 3) drive mechanism, if applicable;
 - 4) other components.
- d) Stresses presumed to contribute to the failure/defect:
 - 1) operation mistake or misuse of the equipment;
 - 2) environmental conditions (temperature, wind, rain, snow, ice, pollution, lightning, etc.).
- e) Classification of the failure/defect:
 - 1) major failure;
 - 2) minor failure;

- 3) defect.
- f) Origin and cause of the failure/defect:
 - 1) origin (mechanical, electrical, tightness if applicable);
 - 2) cause (design, manufacture, inadequate instructions, incorrect mounting, incorrect maintenance, stresses beyond those specified, etc.)
 - 3) operation mistake or misuse.
- g) Consequences of the failure or defect:
 - 1) switchgear down-time, which is time interval during which an item is in a down state;
 - 2) time consumption for repair;
 - 3) labour cost;
 - 4) cost of spare parts.

A failure report may include the following information:

- drawings, sketches;
- photographs of defective components;
- single-line station diagram;
- operation and timing sequences;
- records or plots;
- references to maintenance or operating manuals.

12 Safety

12.1 General

High-voltage switchgear and controlgear, complying with the applicable IEC standards, can be considered safe when installed in accordance with the relevant installation rules including instructions provided by the manufacturers and used and maintained in accordance with the manufacturer's instructions (see Clause 11).

High-voltage switchgear and controlgear is normally only accessible by instructed persons. Performing operations and maintenance is only allowed to skilled persons. When unrestricted access is available to switchgear and controlgear, additional safety features may be required.

High-voltage switchgear and controlgear in accordance with IEC offers a high level of safety with regard to external effects that might harm personnel, mainly because the high-voltage parts may be surrounded by an enclosure. Nevertheless, high power equipment, can comprise some potential risks, some examples are:

- the enclosures, if any, may be pressurized with gas;
- pressure-relief devices may open due to exceptional conditions, e.g. resulting from an internal arc. In extreme circumstances, the arc can burn through the enclosures. Both result in the sudden release of hot gas;
- sudden events, which are in themselves with low risk to humans, may alarm personnel and lead to accidents (for example, a fall);
- commissioning, maintenance and extension activities may require special attention due to the complexity of the equipment and its internal parts which are mostly not visible.

Experience has shown that human error is a factor that shall be considered (for example, closing an earthing switch on an energized conductor).

12.2 Precautions by manufacturers

The following list provides examples of precautions usually implemented by manufacturers.

- design and test pressurized enclosures, pressure relief devices and relevant switchgear elements to international established standards;
- provide adequate and easy means to check interlocking systems (the most reasonable way to avoid human error);
- explain safe operation of the switchgear and controlgear clearly in instruction manuals. Explain precautions to prevent improper operation and the consequences of improper operation;
- provide the user and/or contractor with appropriate information related to design of the surrounding area, possibly ventilation and gas detection information, to minimize personnel risks in case a failure occurs;
- provide safe procedures for dismantling and disposal.

12.3 Precautions by users

The following list provides examples of precautions that may be taken by users:

- limit access to the installation to people who are trained and authorized;
- keep operators and other personnel instructed regarding risks and safety requirements including local regulations;
- keep switchgear and controlgear maintained and up to date in terms of technical standards, especially interlocking and protection devices;
- use remote control and have the interlocking system working as intended;
- select equipment that minimizes the risk to personnel from improper operation (for example earthing switches with short-circuit making capacity on lines, motor actuators to allow remote operation);
- coordinate the protection system with product properties (for example, do not reclose on internal faults);
- prepare earthing procedures considering the difficulty of referring to and understanding the complex arrangement and operation of the switchgear and controlgear;
- label equipment clearly for easy identification of individual devices and gas compartments.

Especially during maintenance, repair or extension work:

- ensure that maintenance, repair and extension work is carried out only by qualified and trained personnel;
- prepare a safety and protection plan for the work. Indicate who is responsible for planning, implementing and enforcing safety and protection measures;
- check interlocking and protection devices before starting;
- pay special attention to manual operations, especially when the switchgear and controlgear is energized;
- inform personnel who may be near the switchgear and controlgear before operating the equipment (for example, a horn or flashing light);
- mark emergency exits and keep passages clear of obstructions;
- instruct the people involved how to work safely in a switchgear and controlgear environment and what to do in an emergency.

13 Influence of the product on the environment

Documentation shall include the following relevant information about the environmental impact of the switchgear:

- a) When fluids are used in switchgear and controlgear, instructions shall be provided in order to allow the user to:
 - 1) minimize the leakage rate as far as is practicable;
 - 2) control the handling of the new and used fluids. IEC 62271-4 is referred to for SF₆ and its mixtures refer to IEC 62271-4.
- b) Instructions concerning disassembly and end-of-life procedures for the different materials of the equipment and indicate the possibility to recycle.

Annex A (normative)

Identification of test objects

A.1 General

For identification of a test object, the following topics shall be covered.

A.2 Data

- Manufacturer's name;
- Type designation, ratings and serial number of apparatus;
- Outline description of apparatus (including number of poles, interlocking system, busbar system, earthing system, and the arc extinguishing process);
- Make, type, serial numbers, ratings of essential parts, where applicable (for example, drive mechanisms, interrupters, shunt impedances, relays, fuse links, insulators);
- Rated characteristics of fuse links and protective devices;
- Whether the apparatus is intended for operation in the vertical and horizontal plane.

A.3 Drawings

Drawings to be submitted	Drawing content (as applicable)
Single-line diagram of main circuit	Type designation of principal components
General layout NOTE For an assembly it may be necessary to provide drawings of the complete assembly and of each switching device.	Overall dimensions Supporting structure and mounting points Enclosure(s) Pressure-relief devices Conducting parts of main circuit Earthing conductors and earthing connections Electrical clearances: – to earth, between open contacts; – between poles. Location and dimensions of barriers between poles Location of earthed metallic screens, shutters or partitions in relation to live parts Liquid insulation level Location and type designation of insulators Location and type designation of instrument transformers
Detailed drawings of insulators	Material Dimensions (including profile and creepage distances)
Arrangement drawings of cable boxes	Electrical clearances Principal dimensions Terminals Level or quantity and specifications of insulant in filled boxes Cable termination details

Drawings to be submitted	Drawing content (as applicable)
Detailed drawings of parts of the main circuit and associated components	Dimensions and material of principal parts Cross-sectional view through the axis of main and arcing contacts Travel of moving contacts Electrical clearance between open contacts Distance between point of contact separation and end of travel Assembly of fixed and moving contacts Details of terminals (dimensions, materials) Identity of springs Material and creepage distances of insulating parts
Detailed drawings of mechanisms (including coupling and drive mechanisms)	Arrangement and identity of main components of the kinematic chains to: – main contacts; – auxiliary switches; – pilot switches; – position indication. Latching device Assembly of drive mechanism Interlocking devices Identity of springs Control and auxiliary devices
Electrical diagram of auxiliary and control circuits (if applicable)	Type designation of all components

Annex B (informative)

Determination of the equivalent RMS value of a short-time current during a short-circuit of a given duration

The method illustrated in Figure B.1 could be used to determine the short-time current, if no digital equipment provides the proper computation (refer to 7.6.3).

The total time t_t of the test is divided into 10 equal parts by verticals 0 – 0,1... 1 and the RMS value of the AC component of the current is measured at these verticals.

These values are designated: $Z_0, Z_1... Z_{10}$

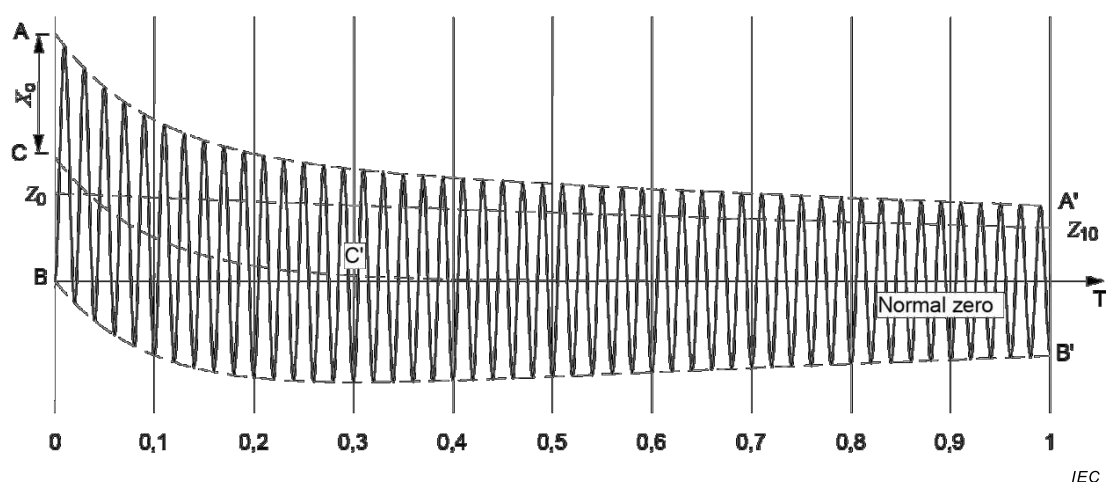
where

$Z = X / \sqrt{2}$ and X is the peak value of AC component of current.

The equivalent RMS current during the time t_t is given by:

$$I_t = \sqrt{\frac{1}{30} \left[Z_0^2 + 4(Z_1^2 + Z_3^2 + Z_5^2 + Z_7^2 + Z_9^2) + 2(Z_2^2 + Z_4^2 + Z_6^2 + Z_8^2) + Z_{10}^2 \right]}$$

The DC component of current represented by CC' is not taken into account.



Key

AA'	Envelopes of current wave
BB'	
CC'	Displacement of current wave zero line from normal zero line at any instant
$Z_0...Z_{10}$	RMS value of AC component of current at any instant measured from normal zero
X_0	Peak value of AC component of current at instant of initiating short-circuit
BT	Duration of short-circuit, t_t

Figure B.1 – Determination of short-time current

Annex C

(normative)

Method for the weatherproofing test for outdoor switchgear and controlgear

The switchgear and controlgear to be tested shall be fully equipped and complete with all covers, screens, bushings, etc., and placed in the area to be subjected to with artificial precipitation. For switchgear and controlgear comprising several functional units a minimum of two units shall be used to test the joints between them.

The artificial precipitation shall be supplied by a sufficient number of nozzles to produce a uniform spray over the surfaces under test. The various parts of the switchgear and controlgear may be tested separately, provided that a uniform spray is simultaneously applied also to both of the following:

- a) the top surfaces from nozzles located at a suitable height;
- b) the floor outside the equipment for a distance of 1 m in front of the parts under test with the equipment located at the minimum height above the floor level specified by the manufacturer.

Where the width of the equipment exceeds 3 m, the spray may be applied to 3 m wide sections in turn. Pressurized enclosures need not be submitted to artificial precipitation.

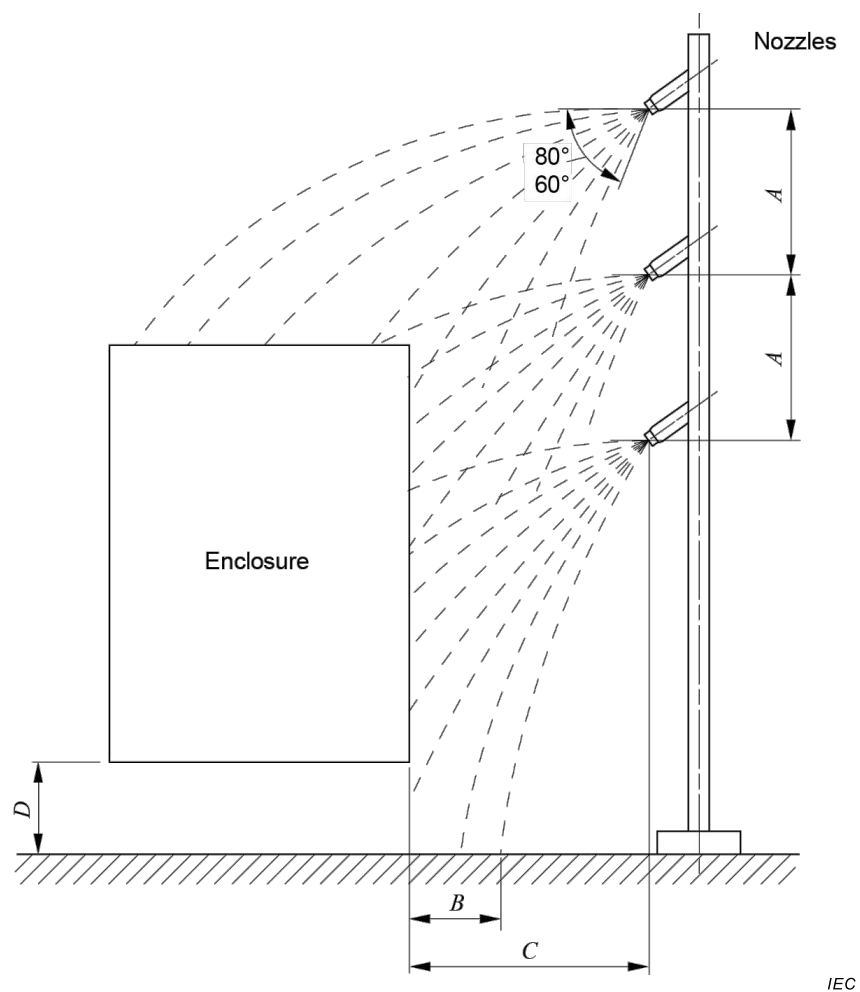
Each nozzle used for this test shall deliver a square-shaped spray pattern with uniform spray distribution and shall have a capacity of $30 \text{ l/min} \pm 3 \text{ l/min}$ at a pressure of $460 \text{ kPa} \pm 46 \text{ kPa}$ and a spray angle of 60° to 80° . The centre lines of the nozzles shall be inclined downwards so that the top of the spray is horizontal as it is directed towards the surfaces being tested. It is convenient to arrange the nozzles on a vertical stand-pipe and to space them about 2 m apart (refer to test arrangement in Figure C.1).

The pressure in the feed pipe of the nozzles shall be $460 \text{ kPa} \pm 46 \text{ kPa}$ under flow conditions. The rate at which water is applied to each surface under test shall be about 5 mm/min, and each surface so tested shall receive this rate of artificial precipitation for duration of 5 min. The spray nozzles shall be at a distance between 2,5 m and 3 m from the nearest vertical surface under test.

NOTE When a nozzle in accordance with Figure C.2 is used, the quantity of water is considered to be in accordance with this standard when the pressure is $460 \text{ kPa} \pm 10 \%$.

After the test is completed, the equipment shall be inspected promptly to determine whether the following requirements have been met:

- a) no water shall be visible on the insulation of the main and auxiliary circuits;
- b) no water shall be visible on any internal electrical components and drive mechanisms of the equipment;
- c) no significant accumulation of water shall be retained by the structure or other non-insulating parts (to minimize corrosion).



IEC

<i>A</i>	About 2 m
<i>B</i>	1 m
<i>C</i>	2,5 m to 3 m
<i>D</i>	Minimum height above floor

Figure C.1 – Arrangement for weatherproofing test

Dimensions in millimetres

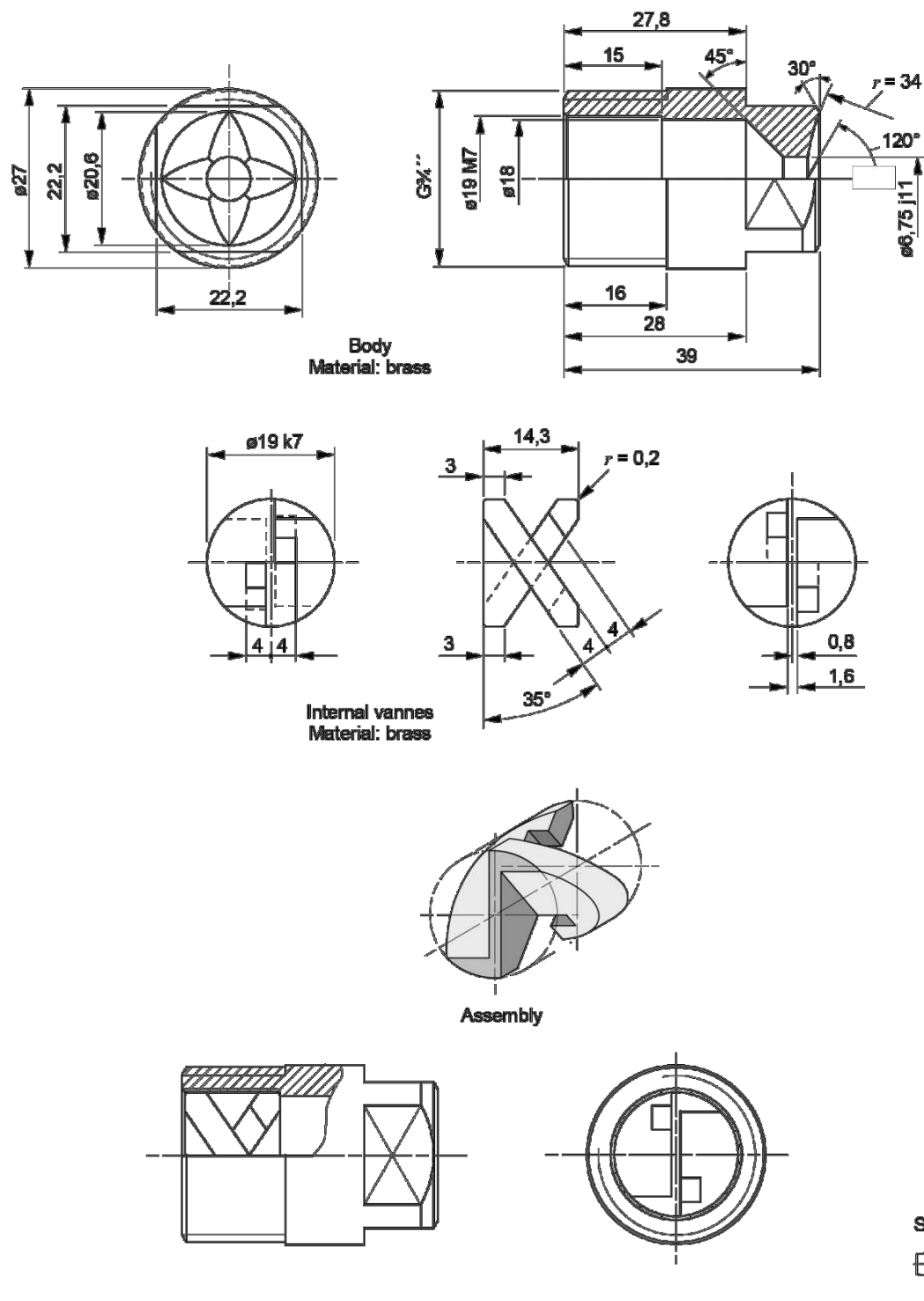


Figure C.2 – Nozzle for weatherproofing test

Annex D (informative)

References for auxiliary and control circuit components

Table D.1 is provided as a quick reference to many of the component standards. The latest editions should be used.

Table D.1 – List of reference documents for auxiliary and control circuit components (1 of 2)

Device		IEC standard
Cables and wiring	Insulation of PVC wiring	IEC 60227 (all parts) [36]
	Size and area of conductors	IEC 60228 [37]
	Insulation of rubber cable	IEC 60245 (all parts)[38]
	Identification	IEC 60445 [39]
Terminals	Terminal blocks for round wire	IEC 60947-7-1 [40]
	Protective terminal blocks for round wire	IEC 60947-7-2 [41]
	Identification	IEC 60445 [39]
Relays	All-or-nothing relays	IEC 61810 (all parts) [42]
	Voltage ratings and operating range of all-or-nothing relays	IEC 61810-1 [43]
	Performance of relay contacts	IEC 61810-2 [44]
Contactors and motor starters	Electromechanical contactors for closing and opening electrical circuit	IEC 60947-4-1 [45]
	Electromechanical contactors combined with relay for short-circuit protection	IEC 60947-2 [46]
	Motor starters (AC)	IEC 60947-4-1 [45]
	AC semiconductor motor controllers	IEC 60947-4-2 [47]
	Motor protective overload relays	IEC 60947-4-1 [45]
Low-voltage switches	Low-voltage switches for motor circuits and distribution circuits	IEC 60947-3 [48]
	Manual control switches and push-buttons	IEC 60947-5-1 [49]
	Pilot switches: pressure, temperature switches etc.	IEC 60947-5-1 [49]
	Household humidity sensing controls	IEC 60730-2-13 [50]
	Household switches	IEC 60669-1 [51]
	Household thermostats	IEC 60730-2-9 [52]
	Lever (toggle) switch	IEC 61020-1 [53]
	Graphical symbols for manual switches	IEC 60417 [26]
	Colours of lights for manual switches	IEC 60073 [25]

Table D.1 (2 of 2)

Device		IEC standard
Low-voltage circuit-breakers and low-voltage circuit-breakers with residual current protection	Requirements	IEC 60947-2 [46]
Low-voltage fuses	General requirements	IEC 60269-1 [54]
	Supplementary requirements for fuses for use by authorized persons (fuses mainly for industrial application) – Examples of standardized systems of fuses A to K	IEC 60269-2 [55]
Low-voltage disconnectors	Requirements	IEC 60947-3 [48]
Motors	Requirements	IEC 60034-1 [56]
Meters	Analogue meters	IEC 60051-1 [57]
	Ammeters and voltmeters	IEC 60051-2 [58]
	Frequency meters	IEC 60051-4 [59]
	Phase-angle and power-factor meters	IEC 60051-5 [60]
Lamp used as an indicator	Requirements	IEC 60947-5-1 [49]
	Graphical symbols	IEC 60417 [26]
	Colour lights	IEC 60073 [25]
Plugs, socket-outlets, and couplers	Requirements for plugs, sockets-outlet, industrial cable couplers, appliance couplers	IEC 60309-1 [61]
	Dimensional and interchangeability	IEC 60309-2 [62]
	Household plugs, socket-outlets and couplers	IEC TR 60083 [63]
	Other couplers and plugs	IEC 60130 (all parts) [64]
Printed circuit-boards	Requirements	IEC 62326-1 [65]
Resistors	Potentiometers	IEC 60393-1 [66]
	Resistors 1 W to 1 000 W	IEC 60115-4 (all parts) [67]
Illumination	Illumination fluorescents	IEC 60081 [68]
	Tungsten filament lamps	IEC 60064 [69]
NOTE For electronic components used in auxiliary and control equipment additional information can be found in IEC TR 62063 [70].		

Annex E

(normative)

Tolerances on test quantities during tests

During type tests, the following types of tolerances may normally be distinguished:

- tolerances on test quantities which directly determine the stress of the test object;
- tolerances concerning features or the behaviour of the test object before and after the test;
- tolerances on test conditions;
- tolerances concerning parameters of measurement devices to be applied.

A tolerance is defined as the range of the test value specified in the standard within which the measured test value shall lie for a test to be valid. In certain cases the test may remain valid even if the measured value falls outside the range: this is the case when it results in a more severe test condition.

Any deviation between the measured test value and the true test value caused by the uncertainty of the measurement are not taken into account in this respect.

The basic rules for application of tolerances on test quantities during type tests are as follows:

- a) testing stations shall aim wherever possible for the test value specified;
- b) the tolerances on test quantities specified shall be observed by the testing station. Higher stresses exceeding those tolerance are permitted only with the consent of the manufacturer;
- c) where, for any test quantity, no tolerance is given within this standard, or the standard to be applied, the type test shall be not less severe than specified. The upper stress limits are subject to the consent of the manufacturer.

Table E.1 – Tolerances on test quantities for type test

Subclause	Description of the test	Test quantity	Specified test value	Test tolerances / limits of test values	Reference to
7.2 up to 7.2.12	Dielectric tests				
7.2.7.2, 7.2.8.2, 7.2.12, 7.10.5	Power-frequency voltage tests	Test voltage (RMS value)	Rated short-duration power frequency withstand voltage	±1 %	IEC 60060-1:2010
		Frequency	–	45 Hz to 65 Hz	
		Wave shape	Peak value / RMS value = $\sqrt{2}$	±5 %	
7.2.7.3 and 7.2.8.4	Lightning impulse voltage tests	Peak value	Rated lightning impulse withstand voltage	±3 %	IEC 60060-1:2010
		Front time	1,2 µs	±30 %	
		Time to half-value	50 µs	±20 %	
7.2.8.3	Switching impulse voltage tests	Peak value	Rated switching impulse withstand voltage	±3 %	IEC 60060-1:2010
		Front time	250 µs	±20 %	
		Time to half-value	2 500 µs	±60 %	
7.3 and 7.9.1.1	Radio interference voltage tests	Test voltage		±1 %	
		Tune frequency of measurement circuit		Within +10 % of 0,5 MHz or between 0,5 MHz to 2 MHz	
7.4.4	Measurement of the resistance of circuits	DC test current, I_{DC}	–	50 A < I_{DC} ≤ rated continuous current , or –20 % , +0 % of I_r ≤ 50 A	
7.5	Continuous current tests	Ambient air velocity	–	≤ 0,5 m/s	
		Test current frequency	Rated frequency	–5 %, +2 %	
		Test current	Rated continuous current	–0 %, +2 % These limits shall be kept only for the last two hours of testing period	
		Ambient air temperature T_a	--	10 °C < T_a ≤ 40 °C	
7.6	Short-time withstand current and peak withstand current tests	Test frequency	Rated frequency	±10 % at the beginning of the test, –20 % , +10 % at the end	
		Peak current (in one of the outer phases)	Rated peak withstand current	–0 %, +5 %	

Subclause	Description of the test	Test quantity	Specified test value	Test tolerances / limits of test values	Reference to
		Average of AC component of three-phase test current	Rated short-time withstand current	See tolerances for I^2t in 7.6.3	7.6.3
		Ratio of AC component of test current in any phase versus average of the three phases	1	±10 %	
		Short-circuit current duration	Rated short-circuit duration	Maximum 5 s	7.6.3
		Value of I^2t	Value I^2t Derived from rated values short-time withstand current and duration.	–0 %, +10 %	
7.9.2.3	Oscillatory wave immunity test	Damped oscillatory wave tests	Test frequency 100 kHz, 1 MHz	±30 %	IEC 61000-4-18
7.10.3.3	Auxiliary contact rated short-time withstand current	Test current amplitude		–0 %, +5 %	
		Test current duration		–0 %, +10 %	
7.10.3.4	Auxiliary contact breaking capability	Test voltage amplitude		–0 %, +10 %	
		Test current amplitude		–0 %, +5 %	
		Circuit time constant		–0 %, +20 %	
7.10.4.2	Cold tests	Minimum and maximum ambient air temperature during tests	–	±3 K	IEC 60068-2-1: 2007
7.10.4.3	Dry heat test	Minimum and maximum ambient air temperature during tests	–	±3 K	IEC 60068-2-2: 2007
7.10.4.4	Cyclic humidity test	Minimum temperature of cycle		±3 K	IEC 60068-2-30: 2005
		Maximum temperature of cycle		± 2 K	
7.10.4.5	Vibration response and seismic tests				IEC 60255-21-1: 1988
7.11.1.3	Radiation instrument	Accuracy measurement of radiation		±25 %	
	Energy response	Accuracy measurement of energy		±15 %	

Annex F (informative)

Information and technical requirements to be given with enquiries, tenders and orders

F.1 General

This annex provides a list of useful technical information items in a tabular form to be considered for possible exchange between user and supplier during contracting stage.

When in the table "supplier information" is mentioned, this means that only the supplier needs to deliver this information.

Attention should be paid to the fact that such table should be complemented with information and characteristics relevant for the type of switchgear and controlgear considered; see product standards.

F.2 Normal and special service conditions (refer to Clause 4)

		User requirements	Supplier proposals
Service condition	Indoor or outdoor		
Ambient air temperature:			
Minimum	°C		
Maximum	°C		
Solar radiation	W/m ²		
Altitude	m		
Pollution	Class		
Excessive dust or salt			
Ice coating	mm		
Wind	m/s		
Humidity	%		
Condensation or precipitation			
Vibration	Class		
Induced electromagnetic disturbance in auxiliary and control circuits	kV		

F.3 Ratings (refer to Clause 5)

		User requirements	Supplier proposals
Rated voltage for equipment (U_r)	kV		
Rated insulation levels phase to earth and between phases			
Rated short-duration power-frequency withstand voltage (U_d)	kV		
Rated switching impulse withstand voltage (U_s)	kV		
– phase to earth	kV		
– between phases	kV		
Rated lightning impulse withstand voltage (U_p)	kV		
Rated frequency (f_r)	Hz		
Rated continuous current (I_r)	A	According single line	
Rated short-time withstand current (I_k)	kA		
Rated peak withstand current (I_p)	kA		
Rated duration of short-circuit (t_k)	s		
Rated supply voltage of closing and opening devices and of auxiliary and control circuits (U_a)	V		
Rated supply frequency of closing and opening devices and of auxiliary circuits	Hz	DC or 50 or 60	

F.4 Design and construction (refer to Clause 6)

To be complemented with information provided by relevant product standards.

		User requirements	Supplier proposals
Number of phases	Three- or single-phase encapsulation		
Mass of the heaviest transport unit			
Mounting provisions			
Type of gas-pressure or liquid-pressure system			
Overall dimensions of the installation			
Description by name and category of the various compartments			
Rated filling level and minimum functional level			
Low- and high-pressure interlocking and monitoring devices			
Interlocking devices			
Degrees of protection			
Arrangement of the external connections			
Accessible sides			
Volume of liquid or mass of gas or liquid for the different compartments			
Facilities for transport and mounting			

		User requirements	Supplier proposals
Instructions for operation and maintenance			
Specification of gas or liquid condition			

F.5 System information

		User information
Nominal voltage of system	kV	
Highest voltage of system	kV	
Number of phases		
Type of system neutral earthing		Effectively or non-effectively

F.6 Documentation for enquiries and tenders

	User requirements	Supplier proposals
Scope of supply (training, technical and layout studies and requirements for co-operation with other parties)		
Single-line diagram		
General arrangement drawings of substation layout		
Provisions for transport and mounting to be given by the user		
Foundation loading	Supplier information	
Gas schematic diagrams	Supplier information	
List of type test reports	Supplier information	
List of recommended spare parts	Supplier information	

Annex G (informative)

List of symbols

Description	Symbol	Subclause
Absolute leakage rate	F	3.6.6.4
Absolute leakage rate	F_{liq}	3.6.7.1
Alarm pressure (or density) for insulation and/or switching	$p_{\text{ae}} (\rho_{\text{ae}})$	3.6.5.3
Alarm pressure for operation (or density)	$p_{\text{am}} (\rho_{\text{am}})$	3.6.5.4
Filling pressure	p_{r}	7.8.2
Filling pressure (or density) for insulation and/or switching	$p_{\text{re}} (\rho_{\text{re}})$	3.6.5.1
Filling pressure (or density) for operation	$p_{\text{rm}} (\rho_{\text{rm}})$	3.6.5.2
Main circuit resistance measured before continuous current test	R_{u}	8.4
Measured pressure	p_{m}	7.8.2
Minimum functional pressure (or density) for insulation and/or switching	$p_{\text{me}} (\rho_{\text{me}})$	3.6.5.5
Minimum functional pressure for operation (or density)	$p_{\text{mm}} (\rho_{\text{mm}})$	3.6.5.6
Number of replenishments per day	N	3.6.6.8
Number of replenishments per day	N_{liq}	3.6.7.3
Partial voltage with respect to earth	U_{f}	7.2.6.3 b)
Permissible leakage rate	F_{p}	3.6.6.5
Permissible leakage rate	$F_{\text{p(liq)}}$	3.6.7.2
Pressure drop	Δp	3.6.6.9
Pressure drop	Δp_{liq}	3.6.7.4
Protection against ingress of water coding	IP	6.14.3
Protection of equipment against mechanical impact under normal service conditions coding	IK	6.14.4
Radio interference voltage test	RIV	7.3
Rated continuous current	I_{r}	5.5
Rated duration of short-circuit	t_{k}	5.8
Rated frequency	f_{r}	5.4
Rated lightning impulse withstand voltage	U_{p}	5.3
Rated peak withstand current	I_{p}	5.7
Rated short-duration power-frequency withstand voltage	U_{d}	5.3
Rated short-time withstand current	I_{k}	5.6
Rated supply voltage	U_{a}	5.9.2
Rated supply voltage of closing and opening devices and of auxiliary and control circuits	U_{a}	5.9
Rated switching impulse withstand voltage	U_{s}	5.3
Rated voltage	U_{r}	5.2
Relative leakage rate	F_{rel}	3.6.6.6
Time between replenishments	t_{r}	3.6.6.7
Total test voltage	U_{t}	7.2.6.3 b)

Annex H (informative)

Electromagnetic compatibility on site

EMC site measurements are not type tests but may be performed in special situations:

- where it is deemed necessary to verify that actual stresses are covered by the EMC severity class of the auxiliary and control circuits;
- in order to evaluate the electromagnetic environment;
- in order to apply proper mitigation methods, if necessary;
- to record the electromagnetically induced voltages in auxiliary and control circuits, due to switching operations both in the main circuit and in the auxiliary and control circuits. It is not considered necessary to test all auxiliary and control circuits in a substation under consideration. A typical configuration should be chosen.

Measurement of the induced voltages should be made at representative ports in the interface between the auxiliary and control circuits and the surrounding network, for example, at the input terminals of control cubicles, without disconnection of the system. Instrumentation for recording induced voltages should be connected as outlined in IEC TR 60816 [71].

Switching operations should be carried out at normal operating voltage, both in the main circuit and in the auxiliary and control circuits. Induced voltages will vary statistically and thus a representative number of both making and breaking operations should be chosen, with random operating instants.

The switching operations in the main circuit are to be made under no-load conditions. The tests will thus include the switching of parts of the substation but no switching of load currents and no fault currents.

The making operations in the main circuit should be performed with trapped charge on the load side corresponding to normal operating voltage. This condition may be difficult to obtain at testing, and, as an alternative, the test procedure may be as follows:

- discharge the load side before the making operation, to assure that the trapped charge is zero;
- multiply recorded voltage values at the making operation by 2, in order to simulate the case with trapped charge on the load side.

The switching device in the primary system shall preferably be operated at rated pressure and auxiliary voltage.

NOTE 1 The most severe cases, with regard to induced voltages, will normally occur when only a small part of a substation is switched.

NOTE 2 The most severe electromagnetic disturbances are expected to occur at disconnector switching, especially for GIS installations.

The recorded or calculated peak value of induced common-mode voltage, due to switching in the main circuit, should not exceed 1,6 kV for interfaces of the auxiliary and control circuits.

Annex I

(informative)

List of notes concerning certain countries

With reference to Annex SC of *IEC/ISO Directives Supplement – Procedures specific to IEC*, (2016), an IEC National Committee may provide a statement to be included in an International Standard, informing the user of the standard of particular conditions existing in its country.

Clause	Text
6.14.1	NOTE In addition to IEC 60529 enclosures are to be designed to prevent unauthorized access by provided provisions for locking or requiring a special tool to open doors. Doors hinges and access panels are not externally removable (US).
6.14.2	NOTE The minimum default code is IP2XB (US)
7.2.12	NOTE The required test voltage for disconnectors and switch disconnectors of all rated voltages is 100 % of the tabulated voltage in columns (3) of Tables 1 or 2 and 3 or 4 (Canada).

Annex J (informative)

Extension of validity of type tests

J.1 General

An individual type test need not be repeated in some situations e.g.:

- for a change of construction detail, if the manufacturer can establish that this change does not influence the result of that individual type test;
- for a change in the installation instructions, provided that the test conditions are not invalidated by the new instructions (e.g. see J.2);
- for covering other values of ratings for the same switchgear and controlgear, if these new ratings are covered by the tests already performed (e.g. see J.3 or when lower performances are requested).

Particular examples where extension of a type test may be used to validate design changes or other similar equipment, without repeating type tests, are given in the following subclauses. It should be noted that supporting evidence should be provided to validate such extensions of type tests.

More details may be given in the product standards and/or technical reports, e.g. IEC TR 62271-307 [72].

J.2 Dielectric tests

For non-enclosed conductors, the dielectric tests performed cover other dispositions having equal or higher clearances to surroundings (e.g. height above ground) and between conductors, if the insulating materials and shapes of conductors and insulators are the same.

J.3 Short-time withstand current tests

Short-time withstand current and peak withstand current tests performed at 50 Hz or 60 Hz, using a peak factor of 2,6, cover both frequencies for networks having a DC time constant of 45 ms or smaller.

Short-time withstand current and peak withstand current tests performed at 50 Hz or 60 Hz using a peak factor of 2,7, cover both frequencies for any DC time constants.

J.4 Continuous current test

A test performed on a single pole, or on a single unit, covers larger arrangements (i.e. three pole or multiple units) provided that the influence with other poles or other units is negligible, as it is generally the case for non-enclosed switchgear and controlgear; this provision is applicable, for instance, to some outdoor transmission devices.

As stated in 7.5.3.1:

- for switchgear and controlgear rated for both frequencies at 50 Hz and 60 Hz and having no ferrous components adjacent to the current-carrying parts, test can be performed at 50 Hz and cover both frequencies provided that the temperature-rise values recorded during the tests at 50 Hz do not exceed 95 % of the maximum permissible values;
- tests performed at 60 Hz cover both frequencies.

J.5 Electromagnetic immunity test on auxiliary and control circuits

Subassemblies may be positioned in different places within the auxiliary and control circuits, without invalidating the type test of the complete system, provided that the overall wiring length and the number of individual wires connecting the subassembly to the auxiliary and control circuits is not greater than in the tested system.

Interchangeable subassemblies may be replaced by similar subassemblies, without invalidating the original type test, provided that:

- rules for design and installation given in IEC 61000-6-5 are followed;
- type tests have been performed on the most complete subassembly applicable to the type of switchgear and controlgear;
- manufacturer's design rules are the same as for the type-tested subassembly.

J.6 Environmental tests on auxiliary and control circuits

Environmental tests on auxiliary and control circuits need not be repeated if performance requirements are validated during environmental tests on a whole switchgear and controlgear.

Parts, or pieces of equipment, of auxiliary and control circuits validated in a given arrangement are validated also when used in a different arrangement of auxiliary and control circuits belonging to the same range of switchgear and controlgear equipment.

Tests performed with a given supply voltage for auxiliary and control circuit cover similar auxiliary and control circuits designed for lower supply voltages.

Annex K (informative)

Exposure to pollution

K.1 General

The quality of ambient air with respect to pollution by dust, smoke, corrosive and/or flammable gases, vapours, or salt is a consideration under normal and special service conditions (refer to Clause 4 of this document). This annex defines levels of pollution as well as recommendations for the minimum specific creepage distance across external insulation.

K.2 Pollution levels

For purposes of standardization, the levels of pollution, very light, light and medium, are qualitatively defined. The qualitative examples given in Table K.1 are approximate descriptions of some typical corresponding environments. Other more extreme environmental conditions may merit further consideration, e.g., snow and ice in heavy pollution, heavy rain, and arid areas. For these special conditions, reference is given to IEC TS 60815-1:2008, IEC TS 60815-2:2008 and IEC TS 60815-3:2008.

K.3 Minimum requirements for switchgear

The minimum creepage distance expressed as a specific creepage in mm/kV are for the normal service conditions of atmospheric contamination and altitudes up to 1 000 m. This minimum creepage provides generally satisfactory service operation under these conditions.

For each level of pollution described in Table K.1, the corresponding minimum recommended nominal unified specific creepage distance (USCD) in mm/kV across the insulator is given in Table K.2.

NOTE The information in Table K.1 is adapted from IEC TS 60815-1:2008; the values in Table K.2 are taken from IEC TS 60815-2:2008.

Table K.1 – Environmental examples by site pollution severity (SPS) class

SPS Class	Example of typical environments
Very light	Example 1: > 50 km^a from any sea, desert, or open dry land > 10 km from man-made pollution sources ^b Within a shorter distance than mentioned above of pollution sources, but: • prevailing wind not directly from these pollution sources • and/or with regular monthly rain washing
Light	Example 2: 10 km to 50 km^a from the sea, a desert, or open dry land 5 km to 10 km from man-made pollution sources ^b Within a shorter distance than example 1 from pollution sources, but: • prevailing wind not directly from these pollution sources • and/or with regular monthly rain washing
Medium	Example 3: 3 km to 10 km^c from the sea, a desert, or open dry land 1 km to 5 km from man-made pollution sources ^b Within a shorter distance than mentioned above of pollution sources, but: • prevailing wind not directly from these pollution sources • and/or with regular monthly rain washing Example 4: Further away from pollution sources than mentioned in example 3, but: • dense fog (or drizzle) often occurs after a long (several weeks or months) dry pollution accumulation season • and/or heavy, high conductivity rain occurs • and/or there is a high non-soluble deposit level (refer to IEC TS 60815-1:2008)
Heavy and Very heavy	Refer to IEC TS 60815-1:2008.
^a During a storm, the ESDD level at such a distance from the sea may reach a much higher level. ^b The presence of a major city will have an influence over a longer distance, i.e. the distance specified for sea, desert and dry land. ^c Depending on the topography of the coastal area and the wind intensity.	

Table K.2 – Minimum nominal specific creepage distance by pollution level

SPS class	Minimum recommended nominal unified specific creepage distance (USCD) ^a mm/kV
Very light	22
Light	27,8
Medium	34,7
Heavy and Very heavy	Refer to IEC TS 60815-1:2008, IEC TS 60815-2:2008, and IEC TS 60815-3:2008
^a The unified specific creepage distance (USCD) is the creepage distance of an insulator divided by the RMS value of the highest operating voltage across the insulator. [SOURCE: IEC TS 60815-2:2008, 3.2]	

Bibliography

- [1] IEC 60447, *Basic and safety principles for man-machine interface, marking and identification – Actuating principles*
- [2] IEC TR 60943:1998, *Guidance concerning the permissible temperature rise for parts of electrical equipment, in particular for terminals*
IEC TR 60943:1998/AMD1:2008
- [3] IEC Guide 117, *Electrotechnical equipment – Temperatures of touchable hot surfaces*
- [4] IEC TR 62271-306, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 306: Guide to IEC 62271-100, IEC 62271-1 and other IEC standards related to alternating current circuit-breakers*
- [5] IEC Guide 108, *Guidelines for ensuring the coherency of IEC publications – Application of horizontal standards*
- [6] IEC 60721-2-4, *Classification of environmental conditions – Part 2-4: Environmental conditions appearing in nature – Solar radiation and temperature*
- [7] IEEE 693, *IEEE Recommended practice for seismic design of substations*
- [8] IEC 60721-2-2, *Classification of environmental conditions – Part 2-2: Environmental conditions appearing in nature – Precipitation and wind*
- [9] IEC 60721-3-3, *Classification of environmental conditions – Part 3-3: Classification of groups of environmental parameters and their severities – Stationary use at weatherprotected locations*
- [10] IEC 60721-3-4, *Classification of environmental conditions – Part 3-4: Classification of groups of environmental parameters and their severities – Stationary use at non-weatherprotected locations*
- [11] IEC 60664-1, *Insulation coordination for equipment within low-voltage systems – Part 1: Principles, requirements and tests*
- [12] IEC TS 62271-304, *High voltage switchgear and controlgear – Part 304: Design classes for indoor enclosed switchgear and controlgear for rated voltages above 1 kV up to and including 52 kV to be used in severe climatic conditions*
- [13] IEC TR 62271-300, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 300: Seismic qualification of alternating current circuit-breakers*
- [14] IEC 62271-207, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 207: Seismic qualification for gas-insulated assemblies for rated voltages above 52 kV*
- [15] IEC TS 62271-210, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 210: Seismic qualification for metal enclosed and solid-insulation enclosed switchgear and controlgear assemblies for rated voltages above 1 kV and up to and including 52 kV*
- [16] IEEE 693, *IEEE Recommended practice for seismic design of substations*
- [17] IEEE C37.81, *IEEE Guide for seismic qualification of class 1E Metal-Enclosed Power Switchgear Assemblies*

- [18] IEC 60721-1, *Classification of environmental conditions – Part 1: Environmental parameters and their severities*
- [19] IEC 60721-2 (all parts), *Classification of environmental conditions – Part 2: Environmental conditions appearing in nature*
- [20] IEC 60721-3 (all parts), *Classification of environmental conditions – Part 3: Classification of groups of environmental parameters and their severities*
- [21] IEEE C37.04, *IEEE Standard Rating Structure for AC High-Voltage Circuit Breakers*
- [22] IEC 61936-1:2010, *Power installations exceeding 1 kV a.c. – Part 1: Common rules*
IEC 61936-1:2010/AMD1:2014
- [23] IEC 61850 (all parts), *Communication networks and systems for power utility automation*
- [24] IEC 62271-3, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 3: Digital interfaces based on IEC 61850*
- [25] IEC 60073, *Basic and safety principles for man-machine interface, marking and identification – Coding principles for indicators and actuators*
- [26] IEC 60417, *Graphical symbols for use on equipment* (available at <http://www.graphical-symbols.info/equipment>)
- [27] IEC 60617, *Graphical symbols for diagrams* (available at <http://std.iec.ch/iec60617>)
- [28] CIGRE Technical Brochure 430, *SF₆ Tightness Guide*
- [29] IEC 60695-1 (all parts), *Fire hazard testing – Part 1: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products*
- [30] IEC 60695-7 (all parts), *Fire hazard testing – Part 7: Toxicity of fire effluent*
- [31] IEC 60068-2-17:1994, *Basic environmental testing procedures – Part 2-17: Tests – Test Q: Sealing*
- [32] CISPR 16-1 (all parts), *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 1: Radio disturbance and immunity measuring apparatus*
- [33] IEC 60909-0, *Short-circuit currents in three-phase a.c. systems – Part 0: Calculation of currents*
- [34] IEC TR 60909-1, *Short-circuit currents in three-phase a.c. systems – Part 1: Factors for the calculations of short-circuit currents according to IEC 60909-0*
- [35] IEEE C37.122.5, *IEEE Guide for Moisture Measurement and Control in SF₆ Gas-Insulated Equipment*
- [36] IEC 60227 (all parts), *Polyvinyl chloride insulated cables of rated voltages up to and including 450/750 V*
- [37] IEC 60228, *Conductors of insulated cables*

- [38] IEC 60245 (all parts), *Rubber insulated cables – Rated voltages up to and including 450/750 V*
- [39] IEC 60445, *Basic and safety principles for man-machine interface, marking and identification – Identification of equipment terminals, conductor terminations and conductors*
- [40] IEC 60947-7-1, *Low-voltage switchgear and controlgear – Part 7-1: Ancillary equipment – Terminal blocks for copper conductors*
- [41] IEC 60947-7-2, *Low-voltage switchgear and controlgear – Part 7-2: Ancillary equipment – Protective conductor terminal blocks for copper conductors*
- [42] IEC 61810 (all parts), *Electromechanical elementary relays*
- [43] IEC 61810-1, *Electromechanical elementary relays – Part 1: General and safety requirements*
- [44] IEC 61810-2, *Electromechanical elementary relays – Part 2: Reliability*
- [45] IEC 60947-4-1, *Low-voltage switchgear and controlgear – Part 4-1: Contactors and motor-starters – Electromechanical contactors and motor-starters*
- [46] IEC 60947-2, *Low-voltage switchgear and controlgear – Part 2: Circuit-breakers*
- [47] IEC 60947-4-2, *Low-voltage switchgear and controlgear – Part 4-2: Contactors and motor-starters – AC semiconductor motor controllers and starters*
- [48] IEC 60947-3, *Low-voltage switchgear and controlgear – Part 3: Switches, disconnectors, switch-disconnectors and fuse-combination units*
- [49] IEC 60947-5-1, *Low-voltage switchgear and controlgear – Part 5-1: Control circuit devices and switching elements – Electromechanical control circuit devices*
- [50] IEC 60730-2-13, *Automatic electrical controls for household and similar use – Part 2-13: Particular requirements for humidity sensing controls*
- [51] IEC 60669-1, *Switches for household and similar fixed-electrical installations – Part 1: General requirements*
- [52] IEC 60730-2-9, *Automatic electrical controls – Part 2-9: Particular requirements for temperature sensing control*
- [53] IEC 61020-1, *Electromechanical switches for use in electrical and electronic equipment – Part 1: Generic specification*
- [54] IEC 60269-1, *Low-voltage fuses – Part 1: General requirements*
- [55] IEC 60269-2, *Low-voltage fuses – Part 2: Supplementary requirements for fuses for use by authorized persons (fuses mainly for industrial application) – Examples of standardized systems of fuses A to K*
- [56] IEC 60034-1, *Rotating electrical machines – Part 1: Rating and performance*
- [57] IEC 60051-1, *Direct acting indicating analogue electrical measuring instruments and their accessories – Part 1: Definitions and general requirements common to all parts*

- [58] IEC 60051-2, *Direct acting indicating analogue electrical measuring instruments and their accessories – Part 2: Special requirements for ammeters and voltmeters*
 - [59] IEC 60051-4, *Direct acting indicating analogue electrical measuring instruments and their accessories – Part 4: Special requirements for frequency meters*
 - [60] IEC 60051-5, *Direct acting indicating analogue electrical measuring instruments and their accessories – Part 5: Special requirements for phase meters, power factor meters and synchrosopes*
 - [61] IEC 60309-1, *Plugs, socket-outlets and couplers for industrial purposes – Part 1: General requirements*
 - [62] IEC 60309-2, *Plugs, socket-outlets and couplers for industrial purposes – Part 2: Dimensional interchangeability requirements for pin and contact-tube accessories*
 - [63] IEC TR 60083, *Plugs and socket-outlets for domestic and similar general use standardized in member countries of IEC*
 - [64] IEC 60130 (all parts), *Connectors for frequencies below 3 MHz*
 - [65] IEC 62326-1, *Printed boards – Part 1: Generic specification*
 - [66] IEC 60393-1, *Potentiometers for use in electronic equipment – Part 1: Generic specification*
 - [67] IEC 60115-4 (all parts), *Fixed resistors for use in electronic equipment – Part 4: Sectional specification: Fixed power resistors*
 - [68] IEC 60081, *Double-capped fluorescent lamps – Performance specifications*
 - [69] IEC 60064, *Tungsten filament lamps for domestic and similar general lighting purposes – Performance requirements*
 - [70] IEC TR 62063, *High-voltage switchgear and controlgear – The use of electronic and associated technologies in auxiliary equipment of switchgear and controlgear*
 - [71] IEC TR 60816:1984, *Guide on methods of measurement of short duration transients on low-voltage power and signal lines*
 - [72] IEC TR 62271-307, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 307: Guidance for the extension of validity of type tests of AC metal and solid-insulation enclosed switchgear and controlgear for rated voltages above 1 kV and up to and including 52 kV*
 - [73] IEEE C37.100.1, *IEEE Standard of Common Requirements for High Voltage Power Switchgear Rated Above 1000 V*
 - [74] IEC 60059, *IEC standard current ratings*
 - [75] IEC 60068-2 (all parts), *Environmental testing – Part 2: Tests*
-

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	131
INTRODUCTION	134
1 Domaine d'application	135
2 Références normatives	135
3 Termes et définitions	138
3.1 Termes et définitions généraux	138
3.2 Ensembles d'appareillages	141
3.3 Parties d'ensembles	141
3.4 Appareils de connexion	141
3.5 Parties d'appareillage	142
3.6 Caractéristiques opérationnelles de l'appareillage	145
3.6.5 Termes et définitions relatifs à la pression (ou à la masse volumique)	146
3.6.6 Termes et définitions relatifs à l'étanchéité au gaz et au vide	147
3.6.7 Termes et définitions relatifs à l'étanchéité aux liquides	149
3.7 Grandeurs caractéristiques	149
3.8 Index des définitions	150
4 Conditions normales et spéciales de service	152
4.1 Conditions normales de service	152
4.1.1 Généralités	152
4.1.2 Appareillage pour l'intérieur	152
4.1.3 Appareillage pour l'extérieur	153
4.2 Conditions spéciales de service	153
4.2.1 Généralités	153
4.2.2 Altitude	153
4.2.3 Exposition à la pollution	154
4.2.4 Température et humidité	154
4.2.5 Exposition aux vibrations, chocs ou basculements anormaux	154
4.2.6 Vitesse du vent	155
4.2.7 Autres paramètres	155
5 Caractéristiques assignées	155
5.1 Généralités	155
5.2 Tension assignée (U_r)	155
5.2.1 Généralités	155
5.2.2 Plage I pour les tensions assignées inférieures ou égales à 245 kV	156
5.2.3 Plage II pour les tensions assignées supérieures à 245 kV	156
5.3 Niveau d'isolement assigné (U_d , U_p , U_s)	156
5.4 Fréquence assignée (f_r)	160
5.5 Courant permanent assigné (I_r)	160
5.6 Courant de courte durée admissible assigné (I_k)	160
5.7 Valeur de crête du courant admissible assignée (I_p)	161
5.8 Durée de court-circuit assignée (t_k)	161
5.9 Tension d'alimentation assignée des circuits auxiliaires et de commande (U_a)	161
5.9.1 Généralités	161
5.9.2 Tension d'alimentation assignée (U_a)	162
5.10 Fréquence d'alimentation assignée des circuits auxiliaires et de commande	162

5.11	Pression d'alimentation assignée en gaz comprimé pour les systèmes à pression entretenue	162
6	Conception et construction	163
6.1	Exigences pour les liquides utilisés dans l'appareillage.....	163
6.2	Exigences pour les gaz utilisés dans l'appareillage	163
6.3	Raccordement à la terre de l'appareillage	163
6.4	Équipements et circuits auxiliaires et de commande	163
6.4.1	Généralités.....	163
6.4.2	Protection contre les chocs électriques.....	164
6.4.3	Composants installés dans les enveloppes	164
6.5	Manœuvre dépendante à source d'énergie extérieure	168
6.6	Manœuvre à accumulation d'énergie.....	168
6.6.1	Généralités.....	168
6.6.2	Accumulation d'énergie dans des réservoirs de gaz ou dans des accumulateurs hydrauliques	168
6.6.3	Accumulation d'énergie à l'aide de ressorts (ou de poids).....	169
6.6.4	Accumulation d'énergie par une manœuvre manuelle	169
6.6.5	Accumulation d'énergie par servomoteur	169
6.6.6	Accumulation d'énergie dans des condensateurs.....	169
6.7	Manœuvre indépendante sans accrochage mécanique (manœuvre indépendante manuelle ou manœuvre indépendante à source d'énergie extérieure)	169
6.8	Organes de commande à manœuvre manuelle	169
6.9	Fonctionnement des déclencheurs	170
6.9.1	Généralités.....	170
6.9.2	Déclencheur shunt de fermeture	170
6.9.3	Déclencheur shunt d'ouverture	170
6.9.4	Fonctionnement des déclencheurs shunt à l'aide de condensateurs.....	170
6.9.5	Déclencheur à minimum de tension	170
6.10	Indication de la pression / du niveau	171
6.10.1	Pression du gaz.....	171
6.10.2	Niveau du liquide	171
6.11	Plaques signalétiques	171
6.11.1	Généralités.....	171
6.11.2	Application.....	171
6.12	Dispositifs de verrouillage	174
6.13	Indicateur de position.....	174
6.14	Degrés de protection procurés par les enveloppes	174
6.14.1	Généralités.....	174
6.14.2	Protection des personnes contre l'accès aux parties dangereuses et protection du matériel contre la pénétration de corps solides étrangers (codification IP)	174
6.14.3	Protection contre la pénétration d'eau (codification IP)	174
6.14.4	Protection contre les impacts mécaniques dans les conditions normales de service (codification IK)	174
6.15	Lignes de fuite pour les isolateurs d'extérieur	175
6.16	Étanchéité au gaz et au vide	175
6.16.1	Généralités.....	175
6.16.2	Systèmes à pression entretenue de gaz	175
6.16.3	Systèmes à pression autonome de gaz.....	175

6.16.4	Systèmes à pression scellés	176
6.17	Étanchéité des systèmes de liquide	176
6.17.1	Généralités	176
6.17.2	Taux de fuite	176
6.18	Risque de feu (inflammabilité).....	176
6.19	Compatibilité électromagnétique (CEM)	177
6.20	Émission de rayons X	177
6.21	Corrosion	177
6.22	Niveaux de remplissage pour l'isolement, la coupure et/ou la manœuvre	177
7	Essais de type	177
7.1	Généralités	177
7.1.1	Principes fondamentaux	177
7.1.2	Informations pour l'identification des objets d'essai	178
7.1.3	Informations à inclure dans les rapports d'essais de type	178
7.2	Essais diélectriques	179
7.2.1	Généralités	179
7.2.2	Conditions de l'air ambiant pendant les essais.....	179
7.2.3	Modalités des essais sous pluie.....	179
7.2.4	Disposition de l'appareil.....	179
7.2.5	Conditions de réussite des essais.....	180
7.2.6	Application de la tension d'essai et conditions d'essai	181
7.2.7	Essais de l'appareillage de $U_r \leq 245$ kV	185
7.2.8	Essais de l'appareillage de $U_r > 245$ kV	185
7.2.9	Essais de pollution artificielle pour les isolateurs d'extérieur.....	186
7.2.10	Essais de décharges partielles	186
7.2.11	Essais diélectriques sur les circuits auxiliaires et de commande	186
7.2.12	Essai de tension comme essai de vérification d'état	187
7.3	Essai de tension de perturbation radioélectrique	187
7.4	Mesurage de la résistance	187
7.4.1	Mesurage de la résistance des contacts auxiliaires de classes 1 et 2	187
7.4.2	Mesurage de la résistance des contacts auxiliaires de classe 3	187
7.4.3	Essai de continuité électrique des parties métalliques reliées à la terre	187
7.4.4	Mesurage de la résistance des contacts et des connexions dans le circuit principal sous forme de vérification d'état.....	188
7.5	Essais au courant permanent.....	189
7.5.1	État de l'objet d'essai	189
7.5.2	Disposition de l'appareil.....	189
7.5.3	Valeurs du courant d'essai et de sa durée	189
7.5.4	Mesurage de la température pendant l'essai.....	190
7.5.5	Résistance du circuit principal	192
7.5.6	Conditions de réussite des essais.....	192
7.6	Essais au courant de courte durée admissible et à la valeur de crête du courant admissible.....	196
7.6.1	Généralités	196
7.6.2	Disposition de l'appareil et du circuit d'essai.....	196
7.6.3	Valeurs du courant d'essai et de sa durée	197
7.6.4	État de l'objet d'essai après l'essai	198
7.7	Vérification de la protection.....	198
7.7.1	Vérification de la codification IP	198

7.7.2	Vérification de la codification IK.....	199
7.8	Essais d'étanchéité.....	199
7.8.1	Généralités.....	199
7.8.2	Systèmes à pression entretenue de gaz.....	200
7.8.3	Systèmes à pression autonome de gaz.....	200
7.8.4	Systèmes à pression scellés.....	201
7.8.5	Essais d'étanchéité aux liquides.....	201
7.9	Essais de compatibilité électromagnétique (CEM).....	202
7.9.1	Essais d'émission.....	202
7.9.2	Essais d'immunité sur les circuits auxiliaires et de commande.....	204
7.9.3	Essais de CEM complémentaires sur les circuits auxiliaires et de commande.....	207
7.10	Essais complémentaires sur les circuits auxiliaires et de commande.....	208
7.10.1	Généralités.....	208
7.10.2	Essais fonctionnels.....	208
7.10.3	Vérification des caractéristiques de fonctionnement des contacts auxiliaires.....	208
7.10.4	Essais d'environnement.....	209
7.10.5	Essais diélectriques.....	210
7.11	Essai des rayonnements X pour les ampoules à vide.....	211
7.11.1	Exigences générales.....	211
7.11.2	Tension d'essai et procédure de mesure.....	212
7.11.3	Critères d'acceptation.....	212
8	Essais individuels de série.....	213
8.1	Généralités.....	213
8.2	Essai diélectrique du circuit principal.....	213
8.3	Essais des circuits auxiliaires et de commande.....	214
8.3.1	Inspection des circuits auxiliaires et de commande, et vérification de la conformité aux schémas de circuits et schémas de câblage.....	214
8.3.2	Essais fonctionnels.....	214
8.3.3	Vérification de la protection contre les chocs électriques.....	214
8.3.4	Essais diélectriques.....	214
8.4	Mesurage de la résistance du circuit principal.....	215
8.5	Essai d'étanchéité.....	215
8.5.1	Généralités.....	215
8.5.2	Systèmes à pression entretenue de gaz.....	215
8.5.3	Systèmes à pression autonome de gaz.....	215
8.5.4	Systèmes à pression scellés.....	215
8.5.5	Essais d'étanchéité aux liquides.....	216
8.6	Contrôles visuels et de conception.....	216
9	Guide pour le choix de l'appareillage (informatif).....	216
9.1	Généralités.....	216
9.2	Choix des valeurs assignées.....	216
9.3	Considérations sur les interfaces avec les câbles.....	216
9.4	Surcharge continue ou temporaire due à une modification des conditions de service.....	216
9.5	Aspects d'environnement.....	217
9.5.1	Conditions de service.....	217
9.5.2	Distances d'isolement affectées par les conditions de service.....	217
9.5.3	Humidité élevée.....	217

9.5.4	Rayonnement solaire	217
10	Renseignements à donner dans les appels d'offres, les soumissions et les commandes (informatif)	217
10.1	Généralités	217
10.2	Renseignements dans les appels d'offres et les commandes	218
10.3	Renseignements pour les soumissions.....	219
11	Transport, stockage, installation, instructions de fonctionnement et maintenance	219
11.1	Généralités	219
11.2	Conditions à respecter pendant le transport, le stockage et l'installation	220
11.3	Installation	220
11.3.1	Généralités	220
11.3.2	Déballage et manutention	220
11.3.3	Assemblage.....	220
11.3.4	Montage	220
11.3.5	Raccordements.....	220
11.3.6	Informations relatives au gaz et aux mélanges de gaz pour les systèmes à pression entretenue et à pression autonome	221
11.3.7	Inspection finale de l'installation	221
11.3.8	Données d'entrée de base fournies par l'utilisateur.....	222
11.3.9	Données d'entrée de base fournies par le constructeur.....	222
11.4	Instructions de fonctionnement	222
11.5	Maintenance	223
11.5.1	Généralités.....	223
11.5.2	Informations sur les fluides et gaz à inclure dans le manuel de maintenance	223
11.5.3	Recommandations pour le constructeur	223
11.5.4	Recommandations pour l'utilisateur	224
11.5.5	Rapport de défaillance.....	224
12	Sécurité.....	226
12.1	Généralités	226
12.2	Précautions devant être prises par les constructeurs	226
12.3	Précautions devant être prises par les utilisateurs	227
13	Influence du produit sur l'environnement	227
	Annexe A (normative) Identification des objets d'essai.....	229
A.1	Généralités	229
A.2	Données	229
A.3	Plans	229
	Annexe B (informative) Détermination de la valeur efficace équivalente d'un courant de courte durée pendant un court-circuit d'une durée donnée	231
	Annexe C (normative) Méthode pour l'essai de protection contre les intempéries de l'appareillage pour installation à l'extérieur	232
	Annexe D (informative) Références pour les composants des circuits auxiliaires et de commande	235
	Annexe E (normative) Tolérances sur les grandeurs d'essai	237
	Annexe F (informative) Renseignements et exigences techniques à donner dans les appels d'offres, les soumissions et les commandes	240
F.1	Généralités	240
F.2	Conditions normales et spéciales de service (voir l'Article 4)	240
F.3	Caractéristiques assignées (voir l'Article 5).....	241

F.4	Conception et construction (voir l'Article 6)	242
F.5	Informations du réseau	242
F.6	Documentation pour les appels d'offres et les soumissions	243
Annexe G (informative)	Liste des symboles	244
Annexe H (informative)	Compatibilité électromagnétique sur site	245
Annexe I (informative)	Liste des notes concernant certains pays	246
Annexe J (informative)	Extension de la validité des essais de type	247
J.1	Généralités	247
J.2	Essais diélectriques	247
J.3	Essais au courant de courte durée admissible	247
J.4	Essai au courant permanent	247
J.5	Essais d'immunité électromagnétique sur les circuits auxiliaires et de commande	248
J.6	Essais d'environnement sur les circuits auxiliaires et de commande	248
Annexe K (informative)	Exposition à la pollution	249
K.1	Généralités	249
K.2	Degrés de pollution	249
K.3	Exigences minimales relatives à l'appareillage	249
Bibliographie		252
Figure 1	– Exemples de classes de contacts	167
Figure 2	– Schéma des connexions d'un appareil de connexion tripolaire	182
Figure 3	– Schéma d'un circuit d'essai de tension de perturbation radioélectrique	203
Figure 4	– Position en essai du radiamètre	212
Figure B.1	– Détermination du courant de courte durée	231
Figure C.1	– Disposition pour l'essai de protection contre les intempéries	233
Figure C.2	– Buse pour l'essai de protection contre les intempéries	234
Tableau 1	– Niveaux d'isolement assignés pour les tensions assignées de la plage I, série I	157
Tableau 2	– Niveaux d'isolement assignés pour les tensions assignées de la plage I, série II (d'après la pratique courante dans certains pays, incluant les États-Unis)	158
Tableau 3	– Niveaux d'isolement assignés pour les tensions assignées de la plage II	159
Tableau 4	– Niveaux d'isolement assignés supplémentaires pour la plage II, d'après la pratique courante dans certains pays, incluant les États-Unis	160
Tableau 5	– Facteurs de crête pour la valeur de crête du courant admissible assignée	161
Tableau 6	– Tension en courant continu	162
Tableau 7	– Tension en courant alternatif	162
Tableau 8	– Classes des contacts auxiliaires	167
Tableau 9	– Informations sur la plaque signalétique	173
Tableau 10	– Conditions d'essai dans le cas général	182
Tableau 11	– Conditions d'essai à la tension à fréquence industrielle	183
Tableau 12	– Conditions d'essai à la tension de choc	184
Tableau 13	– Conditions d'essai pour la méthode en variante	184
Tableau 14	– Limites de température et d'échauffement pour les différents organes, matériaux et diélectriques de l'appareillage à haute tension	193

Tableau 15 – Taux de fuite admissibles pour les systèmes à gaz.....	200
Tableau 16 – Application de tensions pour l'essai aux transitoires rapides en salves	205
Tableau 17 – Application de tension pour l'essai aux ondes oscillatoires amorties	206
Tableau 18 – Critères d'évaluation pour l'immunité aux perturbations transitoires	207
Tableau D.1 – Liste de documents de référence pour les composants des circuits auxiliaires et de commande	235
Tableau E.1 – Tolérances sur les grandeurs d'essai pour les essais de type.....	238
Tableau K.1 – Exemples d'environnements par classe de sévérité de pollution d'un site (SPS)	250
Tableau K.2 – Valeur nominale minimale de la ligne de fuite spécifique par degré de pollution.....	251

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

APPAREILLAGE À HAUTE TENSION –

**Partie 1: Spécifications communes pour
appareillage à courant alternatif**

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 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 brevet et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale IEC 62271-1 a été établie par le comité d'études 17 de l'IEC: Appareillage haute tension.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 2007 et l'Amendement 1:2011. Cette édition constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente:

Nouvelle numérotation conformément aux Directives ISO/IEC, Partie 2 (2016) et à l'IEEE Std. C37.100.1.

- 4.1.2 a): Limitation des conditions normales de service de l'appareillage pour l'intérieur à une plage de 40 °C à –5 °C.
- 4.1.3 a): Limitation des conditions normales de service de l'appareillage pour l'extérieur à une plage de 40 °C à –25 °C.
- 4.2.2: Adoption des spécifications de l'IEC 60071-2:1996 pour les facteurs de correction de l'altitude supérieure à 1 000 m.
- 5.2.2: Plage I, ajout de la tension assignée de 40,5 kV au Tableau 1 Série I; mise à jour du Tableau 2 et du Tableau 4 sur recommandation du comité national US.
- 6.8: Ajout d'un nouveau paragraphe pour les organes de commande à manœuvre manuelle conformes aux recommandations relatives à l'Interface Homme-Machine de l'IEC 60447 [1]¹.
- 7.2.6.1: Insertion du libellé concernant les impulsions préliminaires dans les ampoules à vide ouvertes selon le résultat de l'IEC 17/1026/RQ.
- 7.3: Modification de l'exigence relative à la tension de perturbation radioélectrique à une tension assignée supérieure ou égale à 245 kV, au lieu d'une tension assignée supérieure ou égale à 123 kV. Cette modification est basée sur des essais et retours d'expérience positifs rapportés par les représentants des utilités membres de l'équipe de maintenance de la présente norme.
- 7.5.6, Tableau 14:
- a) Introduction de la distinction des parties dans les "OG" (gaz oxydants) et dans les "NOG" (gaz non oxydants) qui remplacent ici les termes "air" et "SF₆" de l'édition précédente;
 - b) Augmentation de l'échauffement admissible pour certaines parties des groupes 1 et 2 du Tableau 14 selon l'IEC TR 60943 [2];
 - c) Extension de la définition de l'échauffement admissible pour des catégories de surfaces accessibles en référence au Guide IEC 117 [3]. Voir également le point 15 de 7.5.6.2.
- 7.5.6.2: Modification du Point 5 pour clarifier l'introduction des gaz "OG" et "NOG".
- 7.10: Suppression de certains essais du fait de la modification ou suppression des normes d'essais correspondantes de la série IEC 60068.
- 7.11.3: Modification des critères d'acceptation des essais de rayonnements X pour prendre en compte les ampoules à vide de tension assignée supérieure.

Ancienne Annexe H informative: Le contenu concernant la corrosion est supprimé car il fait partie de l'IEC TR 62271-306 [4].

Nouvelle Annexe J (informative): Ajout de lignes directrices informatives relatives à l'extension de la validité des essais de type.

Nouvelle Annexe K (informative): Ajout de lignes directrices informatives relatives à l'exposition à la pollution.

Le texte de cette Norme internationale est issu des documents suivants:

FDIS	Report on voting
17/1033/FDIS	17/1037/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.

¹ Les chiffres entre crochets renvoient à la Bibliographie.

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

L'attention du lecteur est attirée sur le fait que l'Annexe I (informative) énumère tous les articles traitant des différences à caractère moins permanent inhérentes à certains pays, concernant le sujet de la présente norme.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 62271, publiées sous le titre général *Appareillage à haute tension*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

Le comité a décidé que le contenu de ce document 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 au document recherché. A cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

INTRODUCTION

Lors de l'élaboration du présent projet FDIS en vue d'une révision générale de l'IEC 62271-1:2007 et l'IEC 62271-1:2007/AMD1:2011, l'équipe de maintenance a été motivée par les principes suivants:

- Application des normes horizontales: une telle application est obligatoire pour les normes de produits (référence: Guide 108 de l'IEC [5]). Un exemple type est l'application de l'IEC 60071 (toutes les parties) traitant de la coordination de l'isolement.
- Application du "principe de vérifiabilité" tel que défini dans les Directives ISO/IEC, Partie 2, 5.5 (2016), ".....seules doivent être incluses des exigences qui peuvent être vérifiées".
- Organisation des informations dans l'article approprié, par exemple les termes et définitions dans l'Article 3, les valeurs assignées dans l'Article 5. Par exemple, les valeurs du courant permanent assigné sont spécifiées à l'Article 5 mais les conditions d'essai et les critères d'acceptation (les limites d'échauffement, par exemple) sont transférés à l'Article 7.
- Formulation claire des énoncés de conditions normales de service à l'Article 4 (conditions dans lesquelles l'appareillage est censé fonctionner). Par exemple: "Le rayonnement solaire n'excède pas un niveau de 1 000 W/m²" au lieu de "Il convient de considérer le rayonnement solaire jusqu'à un niveau de 1 000 W/m²".
- Limitation des caractéristiques assignées (Article 5) pour refléter les spécifications communes de l'appareillage données par l'utilisateur et qui s'avèrent nécessaires pour son fonctionnement sur le réseau de l'utilisateur. Voir le dernier alinéa de 5.1 pour plus de clarifications.
- Suppression ou transfert à l'Article 9 des énoncés ou NOTES informatives qui contiennent des guides de conception (et non des exigences) ou des éléments d'application (et non des exigences normalisées).

Par exemple, l'ancienne NOTE suivante contient à la fois un guide de conception et un élément d'application, aucun d'eux ne relevant des conditions normales de service:

"À certains niveaux de rayonnement solaire, des mesures appropriées, par exemple mise à l'abri, ventilation forcée, essai simulant un apport solaire, etc., peuvent être nécessaires, ou bien un déclassement peut être utilisé, de manière à ne pas dépasser les limites spécifiées d'échauffement et d'augmentation de la pression".

- Limitation des spécifications relatives à la conception et construction (Article 6) aux exigences dont la conformité peut être vérifiée par essai ou inspection.
- Transfert à l'Article 11 des références aux essais et procédures concernant le transport, l'installation, la mise en service et la maintenance.
- Amélioration de la formulation pour réduire le plus possible les risques d'interprétation erronée ou d'interprétation contradictoire des spécifications, méthodes ou critères.
- Suppression des alinéas "suspendus" et des références circulaires actuelles ou potentielles. Référence aux Directives ISO/IEC, Partie 2, 22.3.3 (2016).

En raison de l'application de ces principes ou de la poursuite de ces objectifs, le projet FDIS comporte plus de révisions que ce qui est habituellement attendu.

APPAREILLAGE À HAUTE TENSION –

Partie 1: Spécifications communes pour appareillage à courant alternatif

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 62271 s'applique à l'appareillage à courant alternatif prévu pour être installé à l'intérieur et/ou à l'extérieur et pour fonctionner à des fréquences de service inférieures ou égales à 60 Hz, et ayant des tensions assignées supérieures à 1 000 V.

Ce document s'applique à tout l'appareillage à haute tension, sauf spécification contraire dans les normes particulières de l'IEC pour le type d'appareillage considéré.

NOTE Pour l'utilisation du présent document, la haute tension est définie comme la tension assignée supérieure à 1 000 V. Cependant, le terme moyenne tension est communément utilisé pour les réseaux de distribution avec des tensions supérieures à 1 kV et est généralement appliqué pour des tensions inférieures ou égales à 52 kV.

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 60038:2009, *Tensions normales de la CEI*

IEC 60050-131:2002, *Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) – Partie 131: Théorie des circuits*

IEC 60050-151:2001, *Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) – Partie 151: Dispositifs électriques et magnétiques*

IEC 60050-192:2015, *Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) – Partie 192: Sûreté de fonctionnement*

IEC 60050-351, *Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) – Partie 351: Technologie de commande et de régulation*

IEC 60050-441:1984, *Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) – Partie 441: Appareillage et fusibles*
IEC 60050-441:1984/AMD1:2000

IEC 60050-551, *Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) – Partie 551: Électronique de puissance*

IEC 60050-581:2008, *Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) – Partie 581: Composants électromécaniques pour équipements électroniques*

IEC 60050-601:1985, *Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) – Chapitre 601: Production, transport et distribution de l'énergie électrique – Généralités*

IEC 60050-605, *Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) – Chapitre 605: Production, transport et distribution de l'énergie électrique – Postes*

IEC 60050-614:2016, *Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) – Partie 614: Production, transport et distribution de l'énergie électrique – Exploitation*

IEC 60050-811, *Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) – Partie 811: Traction électrique*

IEC 60050-826:2004, *Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) – Partie 826: Installations électriques*

IEC 60060-1:2010, *Techniques des essais à haute tension – Partie 1: Définitions et exigences générales*

IEC 60068-2-1:2007, *Essais d'environnement – Partie 2-1: Essais – Essai A: Froid*

IEC 60068-2-2:2007, *Essais d'environnement – Partie 2-2: Essais – Essai B: Chaleur sèche*

IEC 60068-2-30:2005, *Essais d'environnement – Partie 2-30: Essais – Essai Db: Essai cyclique de chaleur humide (cycle de 12 h + 12 h)*

IEC 60071-1:2006, *Coordination de l'isolement – Partie 1: Définitions, principes et règles*
IEC 60071-1:2006/AMD1:2010

IEC 60071-2:1996, *Coordination de l'isolement – Partie 2: Guide d'application*

IEC 60085 :2007, *Isolation électrique – Évaluation et désignation thermiques*

IEC 60255-21-1:1988, *Relais électriques – Partie 21: Essais de vibrations, de chocs, de secousses et de tenue aux séismes applicables aux relais de mesure et aux dispositifs de protection – Section un: Essais de vibrations (sinusoïdales)*

IEC 60270, *Techniques des essais à haute tension – Mesures des décharges partielles*

IEC 60296, *Fluides pour applications électrotechniques – Huiles minérales isolantes neuves pour transformateurs et appareillages de connexion*

IEC 60376, *Spécifications de la qualité technique de l'hexafluorure de soufre (SF₆) pour utilisation dans les appareils électriques*

IEC 60480, *Lignes directrices relatives au contrôle et au traitement de l'hexafluorure de soufre (SF₆) prélevé sur le matériel électrique et spécification en vue de sa réutilisation*

IEC 60507, *Essais sous pollution artificielle des isolateurs haute tension en céramique et en verre destinés aux réseaux à courant alternatif*

IEC 60512-2-2, *Connecteurs pour équipements électroniques – Essais et mesures – Partie 2-2: Essais de continuité électrique et de résistance de contact – Essai 2b: Résistance de contact – Méthode du courant d'essai spécifié*

IEC 60529:1989, *Degrés de protection procurés par les enveloppes (Code IP)*
IEC 60529:1989/AMD1:1999
IEC 60529:1989/AMD2:2013

IEC TS 60815-1:2008, *Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions – Part 1: Definitions, information and general principles* (disponible en anglais seulement)

IEC TS 60815-2:2008, *Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions – Part 2: Ceramic and glass insulators for a.c. systems* (disponible en anglais seulement)

IEC TS 60815-3:2008, *Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions – Part 3: Polymer insulators for a.c. systems* (disponible en anglais seulement)

IEC 61000-4-4, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-4: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité aux transitoires électriques rapides en salves*

IEC 61000-4-11, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-11: Techniques d'essai et de mesure – Essais d'immunité aux creux de tension, coupures brèves et variations de tension*

IEC 61000-4-17:2009, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-17: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité à l'ondulation résiduelle sur entrée de puissance à courant continu*

IEC 61000-4-18, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-18: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité à l'onde oscillatoire amortie*

IEC 61000-4-29, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-29: Techniques d'essai et de mesure – Essais d'immunité aux creux de tension, coupures brèves et variations de tension sur les accès d'alimentation en courant continu*

IEC 61000-6-2, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 6-2: Normes génériques – Norme d'immunité pour les environnements industriels*

IEC 61000-6-5, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 6-5: Normes génériques – Immunité pour les équipements utilisés dans les environnements de centrales électriques et de postes*

IEC 61180, *Techniques des essais à haute tension pour matériel à basse tension – Définitions, exigences relatives aux essais, matériel d'essai*

IEC 61810-7:2006, *Relais électromécaniques élémentaires – Partie 7: Méthodes d'essai et de mesure*

IEC 62262:2002, *Degrés de protection procurés par les enveloppes de matériels électriques contre les impacts mécaniques externes (code IK)*

IEC 62271-4, *Appareillage à haute tension – Partie 4: Utilisation et manipulation de l'hexafluorure de soufre (SF₆) et des mélanges contenant du SF₆*

CISPR 11:2015, *Appareils industriels, scientifiques et médicaux – Caractéristiques de perturbations radioélectriques – Limites et méthodes de mesure*

CISPR TR 18-2, *Radio interference characteristics of overhead power lines and high-voltage equipment – Part 2: Methods of measurement and procedure for determining limits* (disponible en anglais seulement)

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions de l'IEC 60050-131, de l'IEC 60050-151, de l'IEC 60050-192, de l'IEC 60050-351, de l'IEC 60050-441, IEC 60050-551, de l'IEC 60050-581, de l'IEC 60050-601, de l'IEC 60050-605, de l'IEC 60050-614, de l'IEC 60050-811 et de l'IEC 60050-826, dont certains sont rappelés ci-dessous, ainsi que les suivants, s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <http://www.iso.org/obp>

NOTE Les termes et définitions sont classés selon l'IEC 60050-441. Les références issues d'autres parties que l'IEC 60050-441 sont classées de façon à être alignées avec l'ordre de l'IEC 60050-441.

3.1 Termes et définitions généraux

3.1.1

appareillage

terme général applicable aux appareils de connexion et à leur combinaison avec des appareils de commande, de mesure, de protection et de réglage qui leur sont associés, ainsi qu'aux ensembles de tels appareils avec les connexions, les accessoires, les enveloppes et les charpentes correspondantes

[SOURCE: IEC 60050-441: 2000, 441-11-01]

3.1.2

isolation externe

distances dans l'air atmosphérique et sur les surfaces des isolations solides d'un matériel en contact avec l'air atmosphérique, qui sont soumises aux contraintes diélectriques et à l'influence des conditions atmosphériques ou d'autres conditions environnementales provenant du site

Note 1 à l'article: Des exemples de conditions environnementales sont la pollution, l'humidité, les animaux, etc.

[SOURCE: IEC 60050-614:2016, 614-03-02]

3.1.3

degré de protection

niveau de protection procuré par une enveloppe contre l'accès aux parties dangereuses, contre la pénétration de corps solides étrangers et/ou contre la pénétration de l'eau, et contre les impacts mécaniques

[SOURCE: IEC 60529:1989, 3.3, modifiée – suppression de “vérifié par des méthodes d'essai normalisées” et ajout de “contre les impacts mécaniques” après “de l'eau, et”.]

3.1.4

code IP

système de codification pour indiquer les degrés de protection procurés par une enveloppe contre l'accès aux parties dangereuses, la pénétration de corps solides étrangers, la pénétration de l'eau et pour donner une information additionnelle liée à une telle protection

[SOURCE: IEC 60529:1989, 3.4]

3.1.5

protection procurée par une enveloppe contre l'accès aux parties dangereuses

protection des personnes contre

- le contact avec des parties actives à basse tension dangereuses;
- le contact avec des parties mécaniques dangereuses;
- l'approche de parties actives à haute tension dangereuses à moins de la distance suffisante à l'intérieur de l'enveloppe

Note 1 à l'article: Cette protection peut être procurée:

- au moyen de l'enveloppe elle-même;
- au moyen de barrières faisant partie de l'enveloppe ou de distances internes à l'enveloppe.

[SOURCE: IEC 60529:1989, 3.6]

3.1.6

code IK

système de codification pour indiquer le degré de protection procuré par une enveloppe contre les impacts mécaniques externes nuisibles

[SOURCE: IEC 62262:2002, 3.3]

3.1.7

maintenance

combinaison de toutes les actions techniques et de gestion destinées à maintenir ou à remettre une entité dans un état lui permettant de fonctionner tel que requis

Note 1 à l'article: La gestion est supposée inclure les activités de supervision.

[SOURCE: IEC 60050-192:2015, 192-06-01]

3.1.8

inspection visuelle

examen visuel des caractéristiques principales de l'appareillage

Note 1 à l'article: Cet examen porte généralement sur les pressions et/ou les niveaux des fluides, l'étanchéité, la position des relais, la pollution des parties isolantes, mais comprend également des opérations telles que lubrification, nettoyage, lavage, etc., qui peuvent être effectuées sur l'appareillage en service.

Note 2 à l'article: Les observations faites au cours d'une inspection peuvent motiver le déclenchement de l'entretien.

Note 3 à l'article: Cet examen peut servir à déterminer l'état des objets d'essai par exemple sur des fissures dans les isolateurs solides.

3.1.9

essai de diagnostic

essai comparatif des paramètres caractéristiques d'un appareillage pour vérifier qu'il remplit ses fonctions, lequel s'effectue en mesurant un ou plusieurs de ces paramètres

Note 1 à l'article: Le résultat d'un essai de diagnostic peut motiver le déclenchement de l'entretien.

3.1.10

entretien

travail effectué dans le but de réparer ou de remplacer les parties trouvées hors tolérance par inspection, essai de diagnostic ou examen, ou d'après les exigences du manuel de maintenance du constructeur, afin de remettre en état de fonctionnement acceptable, dans les limites de tolérance, le composant et/ou l'appareillage

3.1.11

défaillance

perte de l'aptitude à fonctionner tel que requis

Note 1 à l'article: La défaillance d'une entité est un événement qui provoque une panne de cette entité: voir panne (IEC 60050-192:2015, 192-04-01).

Note 2 à l'article: Des qualificatifs tels que catastrophique, critique, majeur, mineur, marginal et non significatif peuvent être utilisés pour classer les défaillances en fonction de la gravité des conséquences, selon des critères de gravité dont le choix et les définitions dépendent du domaine d'application.

Note 3 à l'article: Des compléments tels que «par mauvais emploi», «par fausse manœuvre» et «par fragilité» peuvent être utilisés pour classer les défaillances selon leur cause.

[SOURCE: IEC 60050-192:2015, 192-03-01]

3.1.12

défaillance majeure (d'un appareillage)

défaillance d'un appareillage qui entraîne la disparition d'une ou de plusieurs de ses fonctions fondamentales

Note 1 à l'article: Une défaillance majeure peut provoquer une modification immédiate des conditions d'exploitation du réseau, l'équipement de protection situé en amont étant appelé, par exemple, à éliminer la panne, ou bien nécessitera une mise hors service impérative en moins de 30 min pour une opération de maintenance non planifiée

3.1.13

défaillance mineure (d'un appareillage)

toute défaillance d'un élément constitutif ou d'un sous-ensemble qui n'entraîne pas de défaillance majeure de l'appareillage

3.1.14

défaut

imperfection dans l'état d'un dispositif (ou faiblesse inhérente) qui peut donner lieu à une ou plusieurs défaillances de ce dispositif ou d'un autre dispositif dans les conditions spécifiques de service, d'environnement ou de maintenance, pendant un temps donné

3.1.15

température de l'air ambiant

température déterminée dans des conditions prescrites de l'air qui entoure la totalité de l'appareil de connexion ou du fusible

Note 1 à l'article: Pour des appareils de connexion ou des fusibles installés à l'intérieur d'une enveloppe, c'est la température de l'air à l'extérieur de l'enveloppe.

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-11-13]

3.1.16

surveillance

observation du fonctionnement d'un système ou d'une de ses parties en vue de s'assurer de son bon fonctionnement en détectant un fonctionnement incorrect; cela s'opère en mesurant une ou plusieurs variables du système et en comparant les valeurs mesurées aux valeurs spécifiées

Note 1 à l'article: Certaines définitions de ce terme existent dans l'IEC 60050 (toutes les parties) en fonction des différents cas d'application.

3.1.17

supervision

ensemble des opérations manuelles ou automatiques destinées à observer l'état d'une entité

Note 1 à l'article: La supervision automatique d'une entité peut être effectuée à l'intérieur ou à l'extérieur de celle-ci.

3.1.18

classe de sévérité de pollution d'un site

SPS

classification de la sévérité de pollution sur un site, depuis un niveau très faible jusqu'à un niveau très élevé, en fonction de la sévérité de pollution du site (SPS)

Note 1 à l'article: Adaptée de l'IEC TS 60815-1:2008, 3.1.15, modifiée – ajout de «sévérité de pollution du site».

3.1.19

isolation interne

distances internes dans l'isolation solide, liquide ou gazeuse des matériels qui sont à l'abri de l'influence des conditions atmosphériques ou d'autres agents externes

[SOURCE: IEC 60050-614:2016, 614-03-03]

3.1.20

décharge disruptive non soutenue

NSDD

décharge disruptive associée à une coupure de courant, qui n'entraîne pas de rétablissement du courant à fréquence industrielle ou, dans le cas d'une coupure de courant capacitif, qui n'entraîne pas de courant dans le circuit de charge principal

Note 1 à l'article: L'abréviation «NSDD» est dérivée du terme anglais développé correspondant «non-sustained disruptive discharge».

3.2 Ensembles d'appareillages

3.2.1

objet d'essai

matériel nécessaire pour représenter l'appareillage pour un essai de type particulier

3.3 Parties d'ensembles

3.3.1

unité de transport

partie d'un appareillage prévue pour être transportée sans être démontée

3.3.2

barre omnibus

conducteur de faible impédance auquel peuvent être reliés plusieurs circuits électriques en des points séparés

Note 1 à l'article: Dans de nombreux cas, une barre omnibus est constituée d'une barre.

[SOURCE: IEC 60050-151:2001, 151-12-30]

3.4 Appareils de connexion

3.4.1

interrupteur (mécanique)

appareil mécanique de connexion capable d'établir, de supporter et d'interrompre des courants dans les conditions normales du circuit y compris éventuellement les conditions spécifiées de surcharge en service, ainsi que de supporter pendant une durée spécifiée des courants dans des conditions anormales spécifiées du circuit telles que celles du court-circuit

Note 1 à l'article: Un interrupteur peut être capable d'établir des courants de court-circuit mais n'est pas capable de les couper.

[SOURCE: IEC 60050-441: 2000, 441-14-10]

3.4.2

sectionneur

appareil mécanique de connexion qui assure, en position d'ouverture, une distance de sectionnement satisfaisant à des conditions spécifiées

Note 1 à l'article: Un sectionneur est capable d'ouvrir et de fermer un circuit lorsqu'un courant d'intensité négligeable est interrompu ou établi, ou bien lorsqu'il ne se produit aucun changement notable de la tension aux

bornes de chacun des pôles du sectionneur. Il est aussi capable de supporter des courants dans les conditions normales du circuit et de supporter des courants pendant une durée spécifiée dans des conditions anormales telles que celles du court-circuit.

[SOURCE: IEC 60050-441: 2000, 441-14-05]

3.5 Parties d'appareillage

3.5.1

enveloppe

enceinte assurant le type et le degré de protection approprié pour l'application prévue

Note 1 à l'article: Les enveloppes assurent la protection des personnes ou des animaux contre l'accès aux parties dangereuses.

Les barrières, formes d'ouverture ou tous autres moyens (qu'ils soient solidaires de l'enveloppe ou formés par le matériel interne) appropriés pour empêcher ou limiter la pénétration des calibres d'essai spécifiés, sont considérés comme une partie de l'enveloppe, quand ils sont sécurisés en position par verrouillage, clés, ou par un ensemble spécial nécessitant un outil pour l'enlever.

[SOURCE: IEC 60050-826:2004, 826-12-20, modifiée – la Note 1 à l'article a été ajoutée.]

3.5.2

partie dangereuse

partie qu'il est dangereux d'approcher ou de toucher

[SOURCE: IEC 60529:1989, 3.5]

3.5.3

contact (d'un appareil mécanique de connexion)

pièces conductrices destinées à établir la continuité d'un circuit lorsqu'elles se touchent et qui, par leur mouvement relatif pendant la manœuvre, ouvrent et ferment un circuit ou, dans le cas de contacts pivotants ou glissants, maintiennent la continuité du circuit

[SOURCE: IEC 60050-441: 2000, 441-15-05]

3.5.4

circuit auxiliaire (d'un appareil de connexion)

ensemble de pièces conductrices d'un appareil de connexion destinées à être insérées dans un circuit autre que le circuit principal, le circuit de mise à la terre et les circuits de commande de l'appareil

Note 1 à l'article: Certains circuits auxiliaires remplissent des fonctions supplémentaires telles que la signalisation, le verrouillage, etc., et, à ce titre, ils peuvent faire partie du circuit de commande d'un autre appareil de connexion.

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-15-04, modifiée – l'expression "le circuit de mise à la terre" a été ajoutée]

3.5.5

circuit de commande (d'un appareil de connexion)

ensemble de pièces conductrices d'un appareil de connexion, autres que celles du circuit principal, insérées dans un circuit utilisé pour commander la manœuvre de fermeture ou la manœuvre d'ouverture ou les deux manœuvres de l'appareil

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-15-03]

3.5.6

interrupteur auxiliaire (d'un appareil mécanique de connexion)

interrupteur comprenant un ou plusieurs contacts auxiliaires et/ou de commande, manœuvré mécaniquement par un appareil de connexion

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-15-11]

3.5.7

auxiliaire de commande (pour circuits auxiliaires de commande)

appareil mécanique de connexion dont la fonction est de commander la manœuvre d'un appareillage, y compris la signalisation, le verrouillage électrique, etc.

Note 1 à l'article: Un auxiliaire de commande comporte un ou plusieurs éléments de contact et un mécanisme transmetteur commun.

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-14-46]

3.5.8

contact auxiliaire

contact inséré dans un circuit auxiliaire et manœuvré par l'appareil de connexion

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-15-10, modifiée – suppression de "mécaniquement"]

3.5.9

contact de commande

contact inséré dans un circuit de commande d'un appareil de connexion et manœuvré par cet appareil

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-15-09, modifiée – suppression de «mécanique» et «mécaniquement»]

3.5.10

raccord (boulonnés ou équivalents)

ensemble de pièces conductrices conçues pour assurer la continuité permanente d'un circuit lorsqu'elles sont assemblées au moyen de vis, de boulons ou de dispositifs équivalents

3.5.11

indicateur de position

partie d'un appareil mécanique de connexion qui indique les positions de celui-ci, par exemple: position d'ouverture, position de fermeture, ou, le cas échéant, position de mise à la terre

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-15-25]

3.5.12

dispositif de surveillance

dispositif destiné à observer de manière automatique l'état d'une entité

3.5.13

auxiliaire automatique de commande

auxiliaire de commande non manuel, actionné à la suite de conditions spécifiées d'une grandeur d'action

Note 1 à l'article: La grandeur d'action peut être la pression, la température, la vitesse, le niveau d'un liquide, le temps écoulé, etc.

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-14-48]

3.5.14

cloison (d'un ensemble)

partie d'un ensemble séparant un compartiment des autres compartiments

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-13-06]

3.5.15

organe de commande

partie du mécanisme transmetteur à laquelle un effort extérieur de manœuvre est appliqué

Note 1 à l'article: L'organe de commande peut prendre la forme d'une poignée, d'un bouton, d'un bouton-poussoir, d'une roulette, d'un plongeur, etc.

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-15-22]

3.5.16

jonction de fil

dispositif de connexion avec un ou plusieurs fûts destiné à recevoir des conducteurs électriques, avec ou sans pièce additionnelle capable de recevoir et maintenir l'enveloppe isolante

[SOURCE: IEC 60050-581:2008, 581-24-19, modifiée – ajout de «électriques».]

3.5.17

borne

point de connexion d'un élément de circuit électrique, d'un circuit électrique, ou d'un réseau à d'autres éléments de circuit électriques, circuits électriques ou réseaux

Note 1 à l'article: Pour un élément de circuit électrique, les bornes sont les points auxquels ou entre lesquels les grandeurs intégrales sont définies. À chaque borne, il y a un seul courant électrique de l'extérieur vers l'élément de circuit.

Note 2 à l'article: Le terme «borne» a un sens apparenté dans l'IEC 60050-151.

[SOURCE: IEC 60050-131:2002, 131-11-11]

3.5.18

répartiteur

bloc de sorties

assemblage de sorties dans un habitacle ou corps en matière isolante facilitant l'interconnexion entre conducteurs multiples

[SOURCE: IEC 60050-581:2008, 581-26-26]

3.5.19

contacteur

contacteur mécanique

appareil mécanique de connexion ayant une seule position de repos, commandé autrement qu'à la main, capable d'établir, de supporter et d'interrompre des courants dans les conditions normales du circuit, y compris les conditions de surcharge en service

Note 1 à l'article: Les contacteurs peuvent être désignés suivant la façon dont est fourni l'effort nécessaire à la fermeture des contacts principaux.

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-14-33]

3.5.20

démarrreur

combinaison de tous les moyens de mise sous et hors tension nécessaires pour provoquer le démarrage et l'arrêt d'un moteur tout en assurant une protection appropriée contre les surcharges.

Note 1 à l'article: Les démarreurs peuvent être désignés suivant la façon dont est fourni l'effort nécessaire à la fermeture des contacts principaux.

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-14-38]

3.5.21**ampoule à vide**

composant faisant partie d'un appareil de connexion dans lequel les contacts électriques fonctionnent dans un environnement hermétiquement scellé et sous vide poussé

3.5.22**compteur de manœuvres**

dispositif indiquant le nombre de cycles de manœuvres accomplis par un appareil mécanique de connexion

3.5.23**bobine**

ensemble de spires, généralement coaxiales, connectées en série

[SOURCE: IEC 60050-151:2001, 151-13-15]

3.5.24**circuits auxiliaires et de commande**

système constitué par:

- les circuits de commande et auxiliaires montés sur l'appareillage, ou adjacents à l'appareillage, et comprenant les circuits des armoires centrales de commande;
- les équipements de surveillance, diagnostic, etc., faisant partie des circuits auxiliaires de l'appareillage;
- les circuits connectés aux bornes secondaires des transformateurs de mesure et faisant partie de l'appareillage

3.5.25**sous-ensemble** (des circuits auxiliaires et de commande)

partie des circuits auxiliaires et de commande en ce qui concerne la fonction ou la position, possédant sa propre interface et normalement placée dans un boîtier séparé

3.5.26**sous-ensemble interchangeable** (des circuits auxiliaires et de commande)

sous-ensemble destiné à être placé dans différentes positions dans les circuits auxiliaires et de commande ou à être remplacé par d'autres sous-ensembles similaires

Note 1 à l'article: Un sous-ensemble interchangeable possède une interface accessible.

3.5.27**dispositif de verrouillage**

dispositif qui subordonne la possibilité de fonctionnement d'un appareil de connexion à la position ou au fonctionnement d'un ou de plusieurs autres éléments de l'équipement

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-16-49]

3.6 Caractéristiques opérationnelles de l'appareillage**3.6.1****manœuvre dépendante à source d'énergie extérieure** (d'un appareil mécanique de connexion)

manœuvre effectuée au moyen d'une énergie autre que manuelle et dont l'achèvement dépend de la continuité de l'alimentation en énergie (de solénoïdes, moteurs électriques ou pneumatiques, etc.)

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-16-14]

3.6.2**manœuvre à accumulation d'énergie** (d'un appareil mécanique de connexion)

manœuvre effectuée au moyen d'énergie emmagasinée dans le mécanisme lui-même avant l'achèvement de la manœuvre et suffisante pour achever la manœuvre dans des conditions prédéterminées

Note 1 à l'article: Ce type de manœuvre peut être subdivisé suivant:

- le mode d'accumulation de l'énergie (ressort, poids, etc.);
- la provenance de l'énergie (manuelle, électrique, etc.);
- le mode de libération de l'énergie (manuel, électrique, etc.).

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-16-15]

3.6.3**manœuvre indépendante sans accrochage**

manœuvre à accumulation d'énergie dans laquelle l'énergie est accumulée et libérée en une seule manœuvre continue, de telle sorte que la vitesse et la force de la manœuvre soient indépendantes de la vitesse de l'énergie appliquée

Note 1 à l'article: L'énergie emmagasinée pour la manœuvre peut provenir de l'opérateur (provenance manuelle) ou d'une alimentation électrique.

3.6.4**manœuvre effectuée positivement**

manœuvre qui, conformément à des exigences spécifiées, est conçue pour assurer que les contacts auxiliaires d'un appareil mécanique de connexion sont dans des positions correspondant respectivement aux positions d'ouverture et de fermeture des contacts principaux

Note 1 à l'article: Un dispositif à manœuvre effectuée positivement est obtenu par l'association d'une partie mobile reliée mécaniquement au contact principal du circuit primaire sans utilisation de ressorts et d'un élément de détection. Dans le cas des contacts auxiliaires mécaniques, l'élément de détection peut être simplement le contact fixe directement relié à la borne secondaire. Dans le cas où la fonction est réalisée sous forme électronique, l'élément de détection peut être un transducteur statique (optique, magnétique, etc.) associé à un commutateur statique ou associé à un transmetteur électronique ou électro-optique.

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-16-12, modifiée – La Note 1 à l'article a été ajoutée.]

3.6.5 Termes et définitions relatifs à la pression (ou à la masse volumique)**3.6.5.1****pression p_{re} de remplissage pour l'isolement et/ou la coupure****masse volumique ρ_{re} de remplissage pour l'isolement et/ou la coupure**

pression (en Pa), pour l'isolement et/ou la coupure, rapportée aux conditions atmosphériques normales de 20 °C et de 101,3 kPa (ou masse volumique), pouvant être exprimée de façon relative ou absolue, à laquelle le compartiment est rempli avant la mise en service, ou rempli de nouveau automatiquement

3.6.5.2**pression p_{rm} de remplissage pour la manœuvre****masse volumique ρ_{rm} de remplissage pour la manœuvre**

pression (en Pa), pour la manœuvre, rapportée aux conditions atmosphériques normales de 20 °C et de 101,3 kPa (ou masse volumique), pouvant être exprimée de façon relative ou absolue, à laquelle le dispositif d'accumulation d'énergie est rempli avant la mise en service, ou rempli de nouveau automatiquement

3.6.5.3**pression p_{ae} d'alarme pour l'isolement et/ou la coupure****masse volumique ρ_{ae} d'alarme pour l'isolement et/ou la coupure**

pression (en Pa), pour l'isolement et/ou la coupure, rapportée aux conditions atmosphériques normales de 20 °C et de 101,3 kPa (ou masse volumique), pouvant être exprimée de façon relative ou absolue, à laquelle un signal de surveillance peut être fourni

3.6.5.4**pression p_{am} d'alarme pour la manœuvre****masse volumique ρ_{am} d'alarme pour la manœuvre**

pression (en Pa), pour la manœuvre, rapportée aux conditions atmosphériques normales de 20 °C et de 101,3 kPa (ou masse volumique), pouvant être exprimée de façon relative ou absolue, à laquelle un signal de surveillance provenant du dispositif d'accumulation d'énergie peut être fourni

3.6.5.5**pression p_{me} minimale de fonctionnement pour l'isolement et/ou la coupure****masse volumique ρ_{me} minimale de fonctionnement pour l'isolement et/ou la coupure**

pression (en Pa), pour l'isolement et/ou la coupure, rapportée aux conditions atmosphériques normales de 20 °C et de 101,3 kPa (ou masse volumique), pouvant être exprimée de façon relative ou absolue, à laquelle et au-dessus de laquelle les caractéristiques assignées de l'appareillage sont conservées

3.6.5.6**pression p_{mm} minimale de fonctionnement pour la manœuvre****masse volumique ρ_{mm} minimale de fonctionnement pour la manœuvre**

pression (en Pa), pour la manœuvre, rapportée aux conditions atmosphériques normales de 20 °C et de 101,3 kPa (ou masse volumique), pouvant être exprimée de façon relative ou absolue, à laquelle et au-dessus de laquelle les caractéristiques assignées de l'appareillage sont conservées et à laquelle le remplissage du dispositif d'accumulation d'énergie devient nécessaire

Note 1 à l'article: Cette pression est souvent appelée pression de verrouillage.

3.6.6 Termes et définitions relatifs à l'étanchéité au gaz et au vide**3.6.6.1****système à pression entretenue de gaz**

ensemble qui se remplit automatiquement à partir d'une alimentation en gaz comprimé externe ou d'une réserve interne

Note 1 à l'article: Les disjoncteurs à air comprimé ou les mécanismes de commande pneumatique sont des exemples de systèmes à pression entretenue.

Note 2 à l'article: Plusieurs compartiments à remplissage de gaz raccordés en permanence peuvent constituer un ensemble.

3.6.6.2**système à pression autonome de gaz**

ensemble qui reçoit des apports de gaz, lorsque cela est nécessaire, par raccordement manuel à une réserve externe

Note 1 à l'article: Les disjoncteurs à simple pression de SF₆ sont des exemples de systèmes à pression autonome.

3.6.6.3**système à pression scellé**

ensemble pour lequel aucune manipulation de liquide, de gaz ou de vide n'est requise pendant la durée de service escomptée

Note 1 à l'article: Les ampoules à vide et certains disjoncteurs à SF₆ sont des exemples de systèmes à pression scellés.

Note 2 à l'article: Les systèmes à pression scellés sont entièrement montés et contrôlés en usine.

Note 3 à l'article: L'instant où le dispositif est scellé marque le début de la durée de service escomptée.

3.6.6.4

taux de fuite absolu

F

quantité de gaz perdu par unité de temps

Note 1 à l'article: Le taux de fuite absolu s'exprime habituellement en $\text{Pa} \times \text{m}^3 \times \text{s}^{-1}$.

3.6.6.5

taux de fuite admissible

F_p

taux de fuite de gaz absolu maximal admissible spécifié pour une pièce, un composant, ou un sous-ensemble ou, par le biais du tableau de coordination des étanchéités pour un assemblage de pièces, de composants ou de sous-ensembles interconnectés en un seul système à pression

3.6.6.6

taux de fuite relatif

F_{rel}

taux de fuite absolu rapporté à la quantité totale de gaz du système à la pression (ou masse volumique) de remplissage

Note 1 à l'article: Le taux de fuite relatif s'exprime en pourcentage par an ou par jour.

3.6.6.7

intervalle entre compléments de remplissage

t_r

temps écoulé entre deux compléments de remplissage effectués manuellement lorsque la pression (ou la masse volumique) atteint le seuil d'alarme, pour compenser le taux de fuite F

Note 1 à l'article: Cette grandeur s'applique aux systèmes à pression autonome.

3.6.6.8

nombre de compléments de remplissage par jour

N

nombre de compléments de remplissage pour compenser le taux de fuite F

Note 1 à l'article: Cette grandeur s'applique aux systèmes à pression entretenue.

3.6.6.9

baisse de pression

Δp

baisse de pression, pendant une durée donnée, provoquée par le taux de fuite F , sans complément de remplissage

3.6.6.10

tableau de coordination des étanchéités

document de synthèse fourni par le constructeur, utilisé pour l'essai des pièces, des composants ou des sous-ensembles, pour démontrer la relation entre leurs étanchéités et celle de l'ensemble complet

3.6.6.11

reniflage

action par laquelle la sonde d'un fuite-mètre est déplacée lentement autour d'un ensemble pour localiser une fuite de gaz

3.6.6.12**mesurage des fuites par accumulation**

mesurage qui englobe toutes les fuites d'un ensemble pour déterminer son taux de fuite

3.6.7 Termes et définitions relatifs à l'étanchéité aux liquides**3.6.7.1****taux de fuite absolu** F_{liq}

quantité de liquide perdu par unité de temps

Note 1 à l'article: Le taux de fuite absolu s'exprime habituellement en $\text{cm}^3 \times \text{s}^{-1}$.

3.6.7.2**taux de fuite admissible** $F_{p(liq)}$

taux de fuite maximal admissible spécifié par le constructeur pour un système à pression de liquide

3.6.7.3**nombre de compléments de remplissage par jour** N_{liq}

nombre de compléments de remplissage pour compenser le taux de fuite F_{liq}

3.6.7.4**baisse de pression** Δp_{liq}

baisse de pression, pendant une durée donnée, provoquée par le taux de fuite F_{liq} , sans complément de remplissage

3.7 Grandeurs caractéristiques**3.7.1****distance de sectionnement** (d'un pôle d'un appareil mécanique de connexion)

distance d'isolement entre contacts ouverts satisfaisant aux exigences de tension de tenue spécifiées pour les sectionneurs

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-17-35, modifiée – «sécurité» remplacée par «tension de tenue».]

3.7.2**valeur assignée**

valeur d'une grandeur, utilisée à des fins de spécification, correspondant à un ensemble spécifié de conditions de fonctionnement d'un composant, dispositif, matériel ou système

[SOURCE: IEC 60050-151:2001, 151-16-08]

3.7.3**tension la plus élevée pour le matériel** U_m

valeur la plus élevée de la tension entre phases (valeur efficace) pour laquelle le matériel est conçu en ce qui concerne son isolement ainsi que certaines autres caractéristiques qui sont rattachées à cette tension dans les normes de matériel applicables

Note 1 à l'article: Dans les conditions normales de service spécifiées par le comité de produit correspondant, cette tension peut être appliquée au matériel en permanence.

[SOURCE: IEC 60050-614:2016, 614-03-01, modifiée – La note à l'article a été ajoutée.]

3.7.4

tension d'alimentation (des circuits auxiliaires et de commande)

valeur efficace ou, s'il y a lieu, valeur DC, de la tension existant à un instant donné à un point de livraison, mesurée sur un intervalle de temps donné

Note 1 à l'article: Si une tension d'alimentation est spécifiée, par exemple dans le contrat de fourniture, elle est appelée tension d'alimentation déclarée.

Note 2 à l'article: La tension d'alimentation des circuits auxiliaires et de commande est mesurée aux bornes du circuit sur l'appareil lui-même pendant son fonctionnement, y compris s'il y a lieu, les résistances auxiliaires ou les accessoires fournis ou exigés par le constructeur et devant être installés en série sur le circuit, mais non compris les conducteurs de liaison à la source d'alimentation en électricité.

[SOURCE: IEC 60050-614: 2016, 614-01-03, modifiée – Ajout de la note 2 à l'article.]

3.8 Index des définitions

A

Ampoule à vide	3.5.21
Appareillage	3.1.1
Auxiliaire automatique de commande	3.5.13
Auxiliaire de commande	3.5.7

B

Baisse de pression	3.6.6.9 et 3.6.7.4
Barre omnibus	3.3.2
Bobine	3.5.23
Borne	3.5.17

C

Circuit auxiliaire	3.5.4
Circuit de commande	3.5.5
Circuits auxiliaires et de commande	3.5.24
Classe de sévérité de pollution d'un site	3.1.18
Cloison (d'un ensemble)	3.5.14
Code IK	3.1.6
Code IP	3.1.4
Compteur de manœuvres	3.5.22
Contact	3.5.3
Contact auxiliaire	3.5.8
Contact de commande	3.5.9
Contacteur (mécanique)	3.5.19

D

Décharge disruptive non soutenue (NSDD)	3.1.20
Défaillance	3.1.11
Défaillance majeure (d'un appareillage)	3.1.12
Défaillance mineure (d'un appareillage)	3.1.13
Défaut	3.1.14
Degré de protection	3.1.3
Démarrreur	3.5.20
Dispositif de surveillance	3.5.12
Dispositif de verrouillage	3.5.27
Distance de sectionnement d'un pôle	3.7.1

E

Entretien	3.1.10
Enveloppe.....	3.5.1
Essai de diagnostic.....	3.1.9

I – J

Indicateur de position.....	3.5.11
Inspection visuelle	3.1.8
Interrupteur (mécanique)	3.4.1
Interrupteur auxiliaire.....	3.5.6
Intervalle entre compléments de remplissage.....	3.6.6.7
Isolation externe	3.1.2
Isolation interne	3.1.19
Jonction de fil	3.5.16

M

Maintenance	3.1.7
Manœuvre à accumulation d'énergie (d'un appareil mécanique de connexion).....	3.6.2
Manœuvre dépendante à source d'énergie extérieure (d'un appareil mécanique de connexion).....	3.6.1
Manœuvre effectuée positivement	3.6.4
Manœuvre indépendante sans accrochage	3.6.3
Mesurage des fuites par accumulation	3.6.6.12

N – O

Nombre de compléments de remplissage par jour.....	3.6.6.8 et 3.6.7.3
Objet d'essai.....	3.2.1
Organe de commande.....	3.5.15

P

Partie dangereuse	3.5.2
Pression (ou masse volumique) d'alarme pour la manœuvre	3.6.5.4
Pression (ou masse volumique) d'alarme pour l'isolement et/ou la coupure.....	3.6.5.3
Pression (ou masse volumique) de remplissage pour la manœuvre	3.6.5.2
Pression (ou masse volumique) de remplissage pour l'isolement et/ou la coupure	3.6.5.1
Pression (ou masse volumique) minimale de fonctionnement pour la manœuvre	3.6.5.6
Pression (ou masse volumique) minimale de fonctionnement pour l'isolement et/ou la coupure	3.6.5.5
Protection procurée par une enveloppe contre l'accès aux parties dangereuses	3.1.5

R

Raccord (boulonnés ou équivalents)	3.5.10
Reniflage	3.6.6.11
Répartiteur; bloc de sorties	3.5.18

S

Sectionneur	3.4.2
Sous-ensemble (des circuits auxiliaires et de commande).....	3.5.25
Sous-ensemble interchangeable (des circuits auxiliaires et de commande).....	3.5.26
Supervision.....	3.1.17
Surveillance	3.1.16
Système à pression autonome de gaz.....	3.6.6.2

Système à pression entretenue de gaz	3.6.6.1
Système à pression scellé	3.6.6.3

T

Tableau de coordination des étanchéités	3.6.6.10
Taux de fuite absolu	3.6.6.4 et 3.6.7.1
Taux de fuite admissible	3.6.6.5 et 3.6.7.2
Taux de fuite relatif	3.6.6.6
Température de l'air ambiant	3.1.15
Tension d'alimentation (des circuits auxiliaires et de commande).....	3.7.4
Tension la plus élevée pour le matériel	3.7.3

U – V

Unité de transport	3.3.1
Valeur assignée	3.7.2

4 Conditions normales et spéciales de service

4.1 Conditions normales de service

4.1.1 Généralités

Sauf spécification contraire, l'appareillage à haute tension, y compris les dispositifs de manœuvre et équipements auxiliaires qui en font partie intégrante, est prévu pour être utilisé selon ses caractéristiques assignées et dans les conditions normales de service énumérées en 4.1.

Le fonctionnement dans les conditions normales de service est considéré comme couvert par les essais de type conformes au présent document et à la norme de produit correspondante.

4.1.2 Appareillage pour l'intérieur

Les conditions normales de service pour l'appareillage pour l'intérieur sont les suivantes:

- a) la température de l'air ambiant ne dépasse pas 40 °C et sa valeur moyenne, mesurée sur une période de 24 h, ne dépasse pas 35 °C. La température de l'air ambiant ne descend pas en dessous de –5 °C;
- b) l'influence des rayonnements solaires est inexistante;
- c) l'altitude n'excède pas 1 000 m;
- d) l'air ambiant n'est pas pollué de manière significative par de la poussière, de la fumée, des gaz corrosifs et/ou des gaz inflammables, des vapeurs ou du sel. Il est considéré comme étant d'une sévérité de pollution d'un site de classe "très faible" selon l'IEC TS 60815-1:2008;
- e) les conditions d'humidité sont les suivantes:
 - la valeur moyenne de l'humidité relative, mesurée sur une période de 24 h, n'excède pas 95 %;
 - la valeur moyenne de la pression de vapeur d'eau, mesurée sur une période de 24 h, n'excède pas 2,2 kPa;
 - la valeur moyenne de l'humidité relative, mesurée sur une période d'un mois, n'excède pas 90 %;
 - la valeur moyenne de la pression de vapeur d'eau, mesurée sur une période d'un mois, n'excède pas 1,8 kPa.

NOTE 1 La condensation peut être attendue dans les lieux où de brusques variations de température, en période de grande humidité, se produisent.

NOTE 2 Une humidité élevée peut être aussi due à l'eau de pluie à la surface du sol ou pour les applications souterraines, peut provenir des chemins de câbles entrants qui sont reliés à l'appareillage.

- f) les vibrations dues à des causes externes à l'appareillage ou à des tremblements de terre ne dépassent pas l'impact des vibrations causées par la manœuvre de l'appareillage lui-même.

4.1.3 Appareillage pour l'extérieur

Les conditions normales de service pour l'appareillage pour l'extérieur sont les suivantes:

- a) la température de l'air ambiant n'excède pas 40 °C et sa valeur moyenne, mesurée sur une période de 24 h, n'excède pas 35 °C;

la température de l'air ambiant ne descend pas en dessous de –25 °C;

NOTE 1 Des variations rapides de la température peuvent se produire, par exemple un jour bien ensoleillé suivi d'une pluie soudaine.

- b) le rayonnement solaire n'excède pas un niveau de 1 000 W/m².

NOTE 2 Des détails sur le rayonnement solaire en général sont donnés dans l'IEC 60721-2-4 [6].

- c) l'altitude n'excède pas 1 000 m;

- d) l'air ambiant peut être pollué par de la poussière, de la fumée, des gaz corrosifs, des vapeurs ou du sel. La pollution n'excède pas la sévérité de pollution d'un site de classe "moyenne" telle que définie dans l'IEC TS 60815-1:2008;

- e) la couche de glace n'excède pas 20 mm;

- f) la vitesse du vent n'excède pas 34 m/s;

NOTE 3 Les caractéristiques du vent sont définies dans l'IEC 60721-2-2 [8].

- g) les valeurs moyennes d'humidité données en 4.1.2 e) peuvent être dépassées. Il peut se produire de la condensation ou des précipitations;

NOTE 4 Les caractéristiques de précipitation sont définies dans l'IEC 60721-2-2 [8].

NOTE 5 Les conditions d'humidité résultent toujours d'une combinaison de l'humidité relative avec d'autres paramètres d'environnement, notamment la température et les variations rapides de la température.

- h) les vibrations dues à des causes externes à l'appareillage ou à des tremblements de terre ne dépassent pas l'impact des vibrations causées par la manœuvre de l'appareillage lui-même.

4.2 Conditions spéciales de service

4.2.1 Généralités

Lorsqu'il est prévu d'utiliser l'appareillage à haute tension dans des conditions différentes des conditions normales de service décrites en 4.1, il convient que les exigences de l'utilisateur se réfèrent aux niveaux normalisés de 4.2.2 à 4.2.7 s'ils ne sont pas fournis par des normes de produits.

NOTE 1 Des mesures appropriées sont également prises pour assurer un fonctionnement approprié dans les conditions d'autres composants tels que les relais.

NOTE 2 Des informations détaillées concernant la classification des conditions d'environnement sont données dans l'IEC 60721-3-3 [9] (pour l'intérieur) et l'IEC 60721-3-4 [10] (pour l'extérieur).

4.2.2 Altitude

Pour des installations à une altitude supérieure à 1 000 m, le niveau de tenue de l'isolation exigé de l'isolation externe sur le lieu d'utilisation doit être déterminé conformément à l'Article 4 de l'IEC 60071-2:1996. Il convient de choisir le niveau d'isolement assigné de l'appareillage comme étant supérieur ou égal à cette valeur, référence est faite à l'IEC TR 62271-306 [4].

NOTE 1 Pour l'isolation interne, les caractéristiques diélectriques sont identiques, quelle que soit l'altitude, et il n'est pas nécessaire de prendre des précautions particulières. Pour l'isolation externe et interne, se reporter à l'IEC 60071-2:1996.

NOTE 2 Pour le matériel auxiliaire et de commande à basse tension, il n'est pas nécessaire de prendre des précautions particulières si l'altitude est inférieure à 2 000 m. Pour des altitudes supérieures, se reporter à l'IEC 60664-1 [11].

4.2.3 Exposition à la pollution

Pour les applications à l'extérieur, il convient que l'air ambiant, qui peut être pollué par de la poussière, de la fumée, des gaz corrosifs, des vapeurs ou du sel à un niveau supérieur à la classe de sévérité (SPS) "moyenne" telle que définie dans l'IEC TS 60815-1:2008, soit classé comme "élevé" ou "très élevé" tel qu'il est défini dans l'IEC TS 60815-1:2008.

Pour les applications à l'intérieur, il convient que l'air ambiant, qui peut être pollué par de la poussière, de la fumée, des gaz corrosifs, des vapeurs ou du sel à un niveau supérieur à la classe de sévérité (SPS) "très faible" telle que définie dans l'IEC TS 60815-1:2008, soit classé comme "faible", "moyen", "élevé" ou "très élevé" tel qu'il est défini dans l'IEC TS 60815-1:2008.

NOTE De plus amples informations sur l'exposition à la pollution sont disponibles à l'Annexe K (informative).

Pour les applications à l'intérieur de tension inférieure ou égale 52 kV, les spécifications de l'IEC TS 62271-304 [12] peuvent être utilisées, en particulier en cas de préoccupations sur la pollution de l'isolation de l'appareillage.

4.2.4 Température et humidité

Pour une installation dans des emplacements où la température ambiante peut être différentes des plages des conditions normales de service décrites en 4.1, il convient que les plages de températures minimales et maximales à spécifier soient:

- a) –50 °C à 40 °C pour les climats extrêmement froids;
- b) –40 °C à 40 °C pour les climats très froids;
- c) –30 °C à 40 °C pour les climats froids;
- d) –25 °C à 40 °C pour les climats froids (installations pour l'intérieur);
- e) –15 °C à 40 °C pour les climats modérés (installations pour l'intérieur);
- f) –5 °C à 55 °C pour les climats très chauds.

Dans les installations pour l'intérieur sous les climats tropicaux, la valeur moyenne de l'humidité relative, mesurée sur une période de 24 h, peut atteindre 98 %.

NOTE Dans certaines régions où les vents chauds et humides sont fréquents, de brusques variations de température et/ou de pression atmosphérique peuvent se produire.

4.2.5 Exposition aux vibrations, chocs ou basculements anormaux

L'appareillage normalisé est conçu pour un montage sur des structures pratiquement de niveau, exemptes de vibrations, de chocs ou de basculements excessifs. Lorsque l'une quelconque de ces conditions normales peut ne pas être remplie, il convient que l'utilisateur spécifie les exigences pour l'application particulière.

Pour des lieux d'installation où des tremblements de terre sont susceptibles de se produire, il convient que l'utilisateur spécifie le niveau de sévérité selon la publication ou spécification applicable (par exemple, IEC TR 62271-300 [13], IEC 62271-207 [14] et IEC TS 62271-210 [15]). En cas de risque de tremblement de terre, il convient que l'utilisateur spécifie les exigences opérationnelles et le niveau de dommage admissible.

Les installations présentant d'autres formes inhabituelles de vibration doivent être identifiées telles que celles dans les environs immédiats d'une explosion de mine ou celles des applications mobiles.

NOTE La norme IEEE 693 [16] et la norme IEEE C37.81 [17] sont d'autres publications qui peuvent être utilisées dans le cadre des évaluations sismiques.

4.2.6 Vitesse du vent

S'il est prévu que la vitesse du vent dépasse la vitesse de 34 m/s des conditions normales de service, il convient que l'utilisateur spécifie les exigences pour une application particulière.

4.2.7 Autres paramètres

Lorsque des conditions spéciales d'environnement prévalent à l'emplacement où l'appareillage doit être mis en service, il convient que l'utilisateur les spécifie par référence à l'IEC 60721-1 [18], l'IEC 60721-2 (toutes les parties) [19] et l'IEC 60721-3 (toutes les parties) [20].

5 Caractéristiques assignées

5.1 Généralités

Les caractéristiques assignées communes pour l'appareillage attribuées par le constructeur, y compris les dispositifs de manœuvre et l'équipement auxiliaire, doivent être choisies parmi les caractéristiques suivantes (si applicable):

- a) tension assignée (U_r);
- b) niveau d'isolement assigné (U_p , U_d et U_s le cas échéant);
- c) fréquence assignée (f_r);
- d) courant permanent assigné (I_r);
- e) courant de courte durée admissible assigné (I_k);
- f) valeur de crête du courant admissible assignée (I_p);
- g) durée admissible assignée du courant de court-circuit (t_k);
- h) tension d'alimentation assignée des circuits auxiliaires et de commande (U_a);
- i) fréquence d'alimentation assignée des circuits auxiliaires et de commande;
- j) pression d'alimentation assignée en gaz comprimé pour les systèmes à pression entretenue.

NOTE D'autres caractéristiques assignées peuvent être nécessaires et sont spécifiées dans les normes de produits applicables de l'IEC.

Les caractéristiques assignées définissent les spécifications communes de l'appareillage qui sont nécessaires pour une sélection et une utilisation adéquates dans un réseau particulier. D'autres caractéristiques importantes de l'appareillage sont définies à l'Article 3 (par exemple, la pression minimale de fonctionnement pour l'isolement). Certaines d'entre elles sont marquées sur la plaque signalétique sans toutefois être des caractéristiques assignées. Aussi d'autres caractéristiques renvoient à l'installation, au fonctionnement et à la maintenance; elles ne sont pas considérées comme des caractéristiques assignées puisqu'elles se rapportent à la technologie utilisée pour l'appareillage. Des exemples incluent le niveau normal de remplissage ou la pression (masse volumique) de remplissage / d'alarme des fluides et l'étanchéité pour systèmes à liquide, à gaz et à vide.

5.2 Tension assignée (U_r)

5.2.1 Généralités

La tension assignée (U_r), utilisée dans le présent document, est la tension efficace entre phases égale à la tension maximale du système pour laquelle le matériel est conçu. Elle indique la valeur maximale de la "tension la plus élevée du réseau" des réseaux pour lesquels le matériel peut être utilisé (voir 3.7.3, tension la plus élevée pour le matériel U_m). Les tensions assignées sont indiquées en 5.2.2 et 5.2.3 ci-dessous.

NOTE Le terme «tension assignée maximale» utilisé dans la plupart des normes d'appareillage IEEE a le même sens que le terme «tension assignée» utilisé dans le présent document.

5.2.2 Plage I pour les tensions assignées inférieures ou égales à 245 kV

Série I: 3,6 kV – 7,2 kV – 12 kV – 17,5 kV – 24 kV – 36 kV – 40,5 kV – 52 kV – 72,5 kV – 100 kV – 123 kV – 145 kV – 170 kV – 245 kV.

Série II (Tensions basées sur la pratique courante dans certains pays, par exemple aux États-Unis):

4,76 kV – 8,25 kV – 15 kV (voir Note 1) – 15,5 kV – 25,8 kV (voir Note 2) – 27 kV – 38 kV – 48,3 kV – 72,5 kV – 123 kV – 145 kV – 170 kV – 245 kV.

NOTE 1 La tension assignée de 15 kV est utilisée aux États-Unis et dans certains autres pays. Historiquement, elle a été associée à l'appareillage sous enveloppe métallique utilisé pour des applications qui sont principalement en intérieur et/ou en extérieur lorsque le niveau d'isolement est inférieur à celui requis pour les applications aériennes à l'extérieur. Pour les applications autres que l'appareillage sous enveloppe métallique, la tension assignée de 15,5 kV est préférable.

NOTE 2 La valeur de 25,8 kV, encore utilisée dans l'IEEE C37.04 [21] comme une caractéristique assignée du disjoncteur et dans certains autres pays, a été remplacée par la tension assignée de 27 kV dans la plupart des normes de matériels applicables. Pour les nouvelles applications et conceptions, la tension assignée de 27 kV est préférable.

5.2.3 Plage II pour les tensions assignées supérieures à 245 kV

300 kV – 362 kV – 420 kV – 550 kV – 800 kV – 1 100 kV – 1 200 kV.

5.3 Niveau d'isolement assigné (U_d , U_p , U_s)

Le niveau d'isolement assigné d'un appareillage doit être choisi parmi les valeurs indiquées dans le Tableau 1, le Tableau 2, le Tableau 3 et le Tableau 4.

Les valeurs de tenue données dans le Tableau 1, le Tableau 2, le Tableau 3 et le Tableau 4 correspondent à l'application de l'appareillage dans les conditions normales de service définies en 4.1, y compris les altitudes par rapport au niveau de la mer jusqu'à 1000 m. Cependant, pour les besoins des essais en vue de vérifier une caractéristique assignée ou une capacité, elles doivent être considérées comme des valeurs d'isolement aux conditions atmosphériques normales de référence (température (20 °C), pression (101,3 kPa) et humidité (11 g/m³) spécifiées dans l'IEC 60071-1:2006 et l'IEC 60071-1:2006/AMD1:2010. Pour les conditions spéciales de service, se reporter à l'IEC TR 62271-306 [4].

NOTE Selon l'IEC 60071-1:2006 et l'IEC 60071-1:2006/AMD1:2010, les niveaux d'isolement spécifiés du Tableau 1 au Tableau 4 couvrent la plage de températures de –40 °C à 40 °C.

Les valeurs assignées de tension de tenue aux chocs de foudre (U_p), aux chocs de manœuvre (U_s) (lorsque cela est applicable) et à la tension de tenue de courte durée à fréquence industrielle assignée (U_d), doivent être choisies sans couper de ligne horizontale marquée dans le Tableau 1, le Tableau 2, le Tableau 3 et le Tableau 4.

Les "valeurs communes" utilisées dans le Tableau 1 et le Tableau 2 s'appliquent entre phase et terre, entre phases et entre les contacts de l'appareil de connexion en position ouverte, sauf spécification contraire dans le présent document. Les valeurs de tension de tenue "sur la distance de sectionnement" s'appliquent aux appareils de connexion dont l'espace entre contacts ouverts est conçu pour satisfaire aux exigences diélectriques spécifiées pour les sectionneurs.

Tableau 1 – Niveaux d'isolement assignés pour les tensions assignées de la plage I, série I

Tension assignée U_r kV (valeur efficace)	Tension de tenue de courte durée à fréquence industrielle assignée U_d kV (valeur efficace)		Tension de tenue aux chocs de foudre assignée U_p kV (valeur de crête)	
	Valeur commune	Sur la distance de sectionnement	Valeur commune	Sur la distance de sectionnement
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
3,6	10	12	20	23
			40	46
7,2	20	23	40	46
			60	70
12	28	32	60	70
			75	85
17,5	38	45	75	85
			95	110
24	50	60	95	110
			125	145
36	70	80	145	165
			170	195
40,5 (NOTE)	80	90	185	215
52	95	110	250	290
72,5	140	160	325	375
100	150	175	380	440
	185	210	450	520
123	185	210	450	520
	230	265	550	630
145	230	265	550	630
	275	315	650	750
170	275	315	650	750
	325	375	750	860
245	360	415	850	950
	395	460	950	1 050
	460	530	1 050	1 200

NOTE La tension assignée de 40,5 kV est reconnue dans l'IEC 60038:2009 avec une note indiquant que son unification avec la tension assignée de 36 kV est à l'étude. Les valeurs actuelles sont issues de l'IEC 60071-1:2006, Annexe B.

Tableau 2 – Niveaux d'isolement assignés pour les tensions assignées de la plage I, série II (d'après la pratique courante dans certains pays, incluant les États-Unis)

Tension assignée U_r kV (valeur efficace)	Tension de tenue de courte durée à fréquence industrielle assignée U_d kV (valeur efficace)		Tension de tenue aux chocs de foudre assignée U_p kV (valeur de crête)	
	Valeur commune	Sur la distance de sectionnement	Valeur commune	Sur la distance de sectionnement
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
4,76	19	21	60	66
8,25	36	40	95	105
15 (NOTE)	36	40	95	105
15,5	36	40	95	105
	50	55	110	121
25,8 (NOTE)	60	66	125	138
			150	165
27	60	66	125	138
	70	77	150	165
38	70	77	150	165
	80	88	170	187
	95	105	200	220
48,3	105	115	250	275
	120	132	250	275
72,5	160	--	350	385
	175	193	350	385
123	260	286	550	--
	280	308	550	605
145	310	--	650	--
	335	369	650	715
170	365	--	750	--
	385	424	750	825
245	425	--	900	--
	465	512	900	990

NOTE Pour les tensions assignées de 15 kV et 25,8 kV, voir NOTE 1 et NOTE 2 en 5.2.2.

Tableau 3 – Niveaux d'isolement assignés pour les tensions assignées de la plage II

Tension assignée	Tension de tenue de courte durée à fréquence industrielle assignée		Tension de tenue aux chocs de manœuvre assignée			Tension de tenue aux chocs de foudre assignée	
U_r (kV (valeur efficace))	U_d kV (valeur efficace)		U_s kV (valeur de crête)			U_p kV (valeur de crête)	
	Entre phase et terre, et entre phases	Entre contacts de l'appareil de connexion en position ouverte et/ou sur la distance de sectionnement	Entre phase et terre, et entre contacts de l'appareil de connexion en position ouverte	Entre phases	Sur la distance de sectionnement	Entre phase et terre, et entre phases	Entre contacts de l'appareil de connexion en position ouverte et/ou sur la distance de sectionnement
	(NOTE 2)	(NOTE 2)	(NOTE 2)	(NOTES 2 et 3)	(NOTES 1 et 2)	(NOTE 2)	(NOTES 1 et 2)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
300	395	435	750	1 125	700(+245)	950	950(+170)
			850	1 275		1 050	1 050(+170)
362	450	520	850	1 275	800(+295)	1 050	1 050(+205)
			950	1 425		1 175	1 175(+205)
420	520	610	950	1 425	900(+345)	1 300	1 300(+240)
			1 050	1 575		1 425	1 425(+240)
550	620	800	1 050	1 680	900(+450)	1 425	1 425(+315)
			1 175	1 760		1 550	1 550(+315)
800	830	1150	1 425	2 420	1 175(+650)	2 100	2 100(+455)
			1 550	2 480			
1 100	1 100	1 100	1 550	2 635	1 550 + (900)	2 250	2 250 + (630)
		1 100 + (635)	1 800	2 880	1 675 + (900)	2 400	2 400 + (630)
1 200	1 200	1 200	1 800	2 970	1 675 + (980)	2 400	2 400 + (685)
		1 200 + (695)	1 950	3 120		2 550	2 550 + (685)

NOTE 1 Dans la colonne (6), les valeurs entre parenthèses sont les valeurs de crête $U_r \times \sqrt{2}/\sqrt{3}$ de la tension à fréquence industrielle appliquée à la borne opposée (tension combinée).

Dans la colonne (8), les valeurs entre parenthèses sont les valeurs de crête $0,7 U_r \times \sqrt{2}/\sqrt{3}$ de la tension à fréquence industrielle appliquée à la borne opposée (tension combinée).

NOTE 2 Les valeurs de la colonne (2) sont applicables:

- a) pour les essais de type entre phase et terre et entre phases;
- b) pour les essais individuels de série, entre phase et terre, entre phases et entre contacts de l'appareil de connexion en position ouverte;

Les valeurs des colonnes (3), (4), (5), (6), (7) et (8) ne sont applicables que pour les essais de type.

NOTE 3 Ces valeurs sont déduites à l'aide des facteurs multiplicateurs donnés au Tableau 3 de l'IEC 60071-1:2006/AMD1:2010.

Tableau 4 – Niveaux d'isolement assignés supplémentaires pour la plage II, d'après la pratique courante dans certains pays, incluant les États-Unis

Tension assignée U_r kV (valeur efficace)	Tension de tenue de courte durée à fréquence industrielle assignée U_d kV (valeur efficace)		Tension de tenue aux chocs de manœuvre assignée U_s kV (valeur de crête)		Tension de tenue aux chocs de foudre assignée U_p kV (valeur de crête)	
	Entre phase et terre, et entre phases	Entre contacts de l'appareil de connexion en position ouverte et/ou sur la distance de sectionnement	Entre phase et terre, appareil de connexion fermé	Entre bornes, appareil de connexion ouvert	Entre phase et terre, et entre phases	Entre contacts de l'appareil de connexion en position ouverte et/ou sur la distance de sectionnement
	(NOTE)	(NOTE)	(NOTE)	(NOTE)	(NOTE)	(NOTE)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
362	555	555	825	900	1 300	1 300
362	610	671	885	825+(295)	1 300	1 430
550	860	890	1 180	1 300	1 800	1 800
550	810	891	1 150	1 000+(450)	1 800	1 980
800	960	960	1 430	1 500	2 050	2 050
800	940	1 034	1 300	1 000+(650)	2 050	2 255
NOTE Les valeurs de la colonne (2) sont applicables: a) pour les essais de type, entre phase et terre et entre phases; b) pour les essais individuels de série entre phase et terre, entre phases, et entre contacts de l'appareil de connexion en position ouverte Les valeurs des colonnes (3), (4), (5), (6) et (7) sont applicables pour les essais de type seulement. Dans la colonne (5), les valeurs entre parenthèses sont les valeurs de crête $U_r \sqrt{2}/\sqrt{3}$ de la tension à fréquence industrielle appliquée à la borne opposée (tension combinée).						

5.4 Fréquence assignée (f_r)

Les valeurs préférentielles de la fréquence assignée sont 16,7 Hz, 25 Hz, 50 Hz et 60 Hz.

5.5 Courant permanent assigné (I_r)

Cette caractéristique assignée définit la valeur efficace du courant que l'appareillage peut supporter indéfiniment dans ses conditions normales de service (voir Article 4).

Il convient de choisir les valeurs du courant permanent assigné dans la série R 10, spécifiée dans l'IEC 60059.

NOTE 1 La série R 10 comprend les nombres 1 – 1,25 – 1,6 – 2 – 2,5 – 3,15 – 4 – 5 – 6,3 – 8 et leurs produits par 10^n .

NOTE 2 Le terme «courant permanent assigné» associé à l'essai au courant permanent en 7.5 utilisé dans cette édition est équivalent au terme «courant assigné en service continu» utilisé dans l'édition précédente du présent document.

5.6 Courant de courte durée admissible assigné (I_k)

Cette caractéristique assignée définit la valeur efficace du courant de court-circuit que l'appareillage peut supporter en position de fermeture pendant sa durée assignée (voir 5.8) et dans ses conditions de service (voir l'Article 4).

Il convient de choisir la valeur du courant de courte durée admissible assigné dans la série R 10 spécifiée dans l'IEC 60059.

NOTE La série R 10 comprend les nombres 1 – 1,25 – 1,6 – 2 – 2,5 – 3,15 – 4 – 5 – 6,3 – 8 et leurs produits par 10^n .

5.7 Valeur de crête du courant admissible assignée (I_p)

Cette caractéristique assignée définit la valeur de crête du courant dans la première grande alternance du courant de courte durée admissible assigné que l'appareillage peut supporter en position de fermeture et dans ses conditions de service (voir l'Article 4).

La valeur de crête du courant admissible assignée est obtenue en multipliant la valeur efficace du courant de courte durée admissible assigné par un facteur de crête. Ce facteur de crête est fonction de la constante de temps de la composante continue du réseau et de la fréquence assignée.

Une constante de temps de la composante continue de 45 ms couvre la majorité des cas et correspond à une valeur de crête du courant admissible assignée égale à 2,5 fois le courant de courte durée admissible assigné pour une fréquence assignée de 50 Hz. Pour une fréquence assignée de 60 Hz, elle est égale à 2,6 fois le courant de courte durée admissible assigné.

Le Tableau 5 donne les facteurs de crête pour différentes constantes de temps et différentes fréquences assignées.

NOTE 1 L'IEC TR 62271-306 [4] fournit des informations sur le calcul des facteurs de crête en fonction de la fréquence assignée et de la constante de temps du réseau.

NOTE 2 Le facteur de crête peut être différent pour les mécanismes de commande non simultanés de chaque pôle. Voir l'IEC TR 62271-306 [4] pour plus de détails.

Tableau 5 – Facteurs de crête pour la valeur de crête du courant admissible assignée

Fréquence assignée (f_r) Hz	Constante de temps de la composante continue ms			
	45	60	75	120
16,7	2,1	2,3	2,4	2,5
25	2,3	2,4	2,5	2,6
50	2,5	2,6	2,7	2,7
60	2,6	2,7	2,7	2,7

5.8 Durée de court-circuit assignée (t_k)

Cette caractéristique assignée définit l'intervalle de temps pendant lequel l'appareillage, en position de fermeture, peut supporter un courant égal au courant de courte durée admissible assigné.

La valeur préférentielle de la durée de court-circuit assignée est 1 s.

En variante, une valeur inférieure ou supérieure à 1 s peut être choisie, par exemple 0,5 s, 2 s ou 3 s.

5.9 Tension d'alimentation assignée des circuits auxiliaires et de commande (U_a)

5.9.1 Généralités

Plusieurs tensions auxiliaires peuvent être utilisées sur un seul appareillage.

5.9.2 Tension d'alimentation assignée (U_a)

Il convient de choisir la tension d'alimentation assignée parmi les valeurs normales figurant au Tableau 6 et au Tableau 7.

Tableau 6 – Tension en courant continu

U_a V
24
48
60
110
125
220
250

Tableau 7 – Tension en courant alternatif

Numéro de ligne	Réseaux triphasés à trois ou quatre fils V	Réseaux monophasés à trois fils V	Réseaux monophasés à deux fils V
(1)	(2)	(3)	(4)
1	–	120/240	120
2	120/208	–	120
3	(220/380)	–	(220)
4	230/400	–	230
5	(240/415)	–	(240)
6	277/480	–	277
7	347/600	–	347

Il convient que la valeur 230/400 V indiquée à la ligne 4 dans ce tableau soit, à l'avenir, la tension normale de l'IEC remplaçant les valeurs 220/380 V et 240/415 V aux lignes 3 et 5, et son adoption est recommandée dans les nouveaux réseaux. Il convient que les variations de tension des réseaux existants à 220/380 V et 240/415 V soient ramenées dans la plage 230/400 V $\pm$ 23/40 V. La réduction de cette plage sera prise en considération lors d'une étape ultérieure de la normalisation.

NOTE Les valeurs inférieures de la colonne (2) de ce tableau désignent les tensions entre phase et neutre et les valeurs supérieures désignent les tensions entre phases. La valeur inférieure dans la colonne (3) désigne la tension entre phase et neutre et la valeur supérieure désigne la tension entre lignes.

5.10 Fréquence d'alimentation assignée des circuits auxiliaires et de commande

Lorsque la tension d'alimentation en courant alternatif est utilisée, les valeurs préférentielles de la fréquence d'alimentation assignée sont 50 Hz et 60 Hz.

5.11 Pression d'alimentation assignée en gaz comprimé pour les systèmes à pression entretenue

Les valeurs préférentielles de la pression assignée (pression relative) sont:

0,5 MPa – 1 MPa – 1,6 MPa – 2 MPa – 3 MPa – 4 MPa.

NOTE Les disjoncteurs à air comprimé ou les mécanismes de commande pneumatique sont des exemples de systèmes à pression entretenue.

6 Conception et construction

6.1 Exigences pour les liquides utilisés dans l'appareillage

Le constructeur doit spécifier le type, ainsi que la quantité et la qualité requises du liquide devant être utilisé dans un appareillage.

Le constructeur doit fournir à l'utilisateur les instructions nécessaires pour la régénération du liquide et le maintien de la quantité et de la qualité requises (voir 11.5.2), sauf dans le cas des systèmes à pression scellés.

Pour l'appareillage à remplissage d'huile, de l'huile isolante neuve conforme à l'IEC 60296 doit être utilisée.

6.2 Exigences pour les gaz utilisés dans l'appareillage

Le constructeur doit spécifier le type, ainsi que la quantité et la qualité requises du gaz utilisé dans un appareillage.

Le constructeur doit fournir à l'utilisateur les instructions nécessaires pour la régénération du gaz et le maintien de la quantité et de la qualité requises (voir 11.5.2 et le point a) de 11.5.3). Cette exigence ne s'applique pas aux systèmes à pression scellés.

Pour l'appareillage utilisant de l'hexafluorure de soufre (SF_6), du SF_6 conforme à l'IEC 60376 (s'il s'agit du SF_6 neuf) et à l'IEC 60480 (s'il s'agit du SF_6 réutilisé) doit être utilisé. Pour l'appareillage utilisant des mélanges de SF_6 , il est fait référence à l'IEC 62271-4.

Pour éviter toute condensation, la quantité maximale admissible d'humidité dans un compartiment d'appareillage rempli de gaz, à la masse volumique de remplissage pour l'isolement ρ_{re} , doit être telle que le point de rosée à la pression (masse volumique) de remplissage pour l'isolement ne soit pas supérieur à -5 °C pour un mesurage effectué à 20 °C pendant la durée de vie en service (voir 11.3.6).

6.3 Raccordement à la terre de l'appareillage

L'appareillage doit être équipé d'un point de mise à la terre sûr pour le raccordement d'un conducteur de terre convenable pour les conditions spécifiées de défaut à la terre. Le point de raccordement doit être marqué du symbole "terre de protection", comme indiqué par l'IEC 60417-5019 :2006-08. Les parties conductrices de l'appareillage destinées à être raccordées au réseau de terre peuvent être conçues de façon à faire partie du circuit de terre.

Tous les composants et enveloppes conducteurs qui peuvent être touchés dans les conditions normales de fonctionnement et qui sont destinés à être mis à la terre, doivent être conçus pour conduire un courant de 30 A (courant continu) avec une chute de tension maximale de 3 V au point de mise à la terre de l'appareillage.

NOTE Se reporter à l'Article 10 de l'IEC 61936-1:2010 et de l'IEC 61936-1:2010/AMD1:2014 [22] pour des recommandations sur le raccordement du point de mise à la terre de l'appareillage à la mise à la terre du poste.

6.4 Équipements et circuits auxiliaires et de commande

6.4.1 Généralités

L'appareillage comporte tous les équipements auxiliaires et circuits électriques auxiliaires (commandes électroniques, équipements de supervision, de surveillance et de communication).

Dans le cas de circuits électriques, il doit être possible de les faire fonctionner normalement lorsque la tension d'alimentation mesurée aux bornes d'alimentation des circuits auxiliaires est telle que:

- la variation de tension est comprise entre 85 % et 110 % de la tension d'alimentation assignée (U_a);
- dans le cas d'une alimentation en courant continu, la tension d'ondulation est limitée à une valeur inférieure ou égale à 5 % de U_a ;
- les chutes de tension et les coupures d'alimentation se situent dans les limites spécifiées par l'IEC 61000-4-29 (tension d'alimentation en courant continu) et l'IEC 61000-4-11 (tension d'alimentation en courant alternatif).

En ce qui concerne les coupures d'alimentation, le système est considéré comme fonctionnant normalement si:

- aucun dysfonctionnement n'est observé;
- aucune fausse alarme ni fausse signalisation distante n'est observée;
- toutes les actions en cours s'achèvent normalement, un léger retard est acceptable.

Des conditions spécifiques sont données en 6.9 pour les déclencheurs shunt de fermeture, les déclencheurs shunt d'ouverture et les déclencheurs à minimum de tension.

Dans le cas de tensions d'alimentation inférieures à la valeur minimale définie, des précautions doivent être prises pour prévenir tout dommage à l'équipement électronique et/ou toute manœuvre dangereuse résultant d'un comportement imprévisible.

Les exigences en matière d'interface avec la communication numérique et qui assurent la conformité à l'IEC 61850 (toutes les parties) [23] sont données en détail dans l'IEC 62271-3 [24].

6.4.2 Protection contre les chocs électriques

6.4.2.1 Protection des circuits auxiliaires et de commande vis-à-vis du circuit principal

Les circuits auxiliaires et de commande qui sont installés sur le châssis de l'appareillage doivent être protégés de manière adaptée contre les décharges disruptives du circuit principal. Cette exigence est vérifiée par les essais de type diélectriques spécifiés en 7.2, voir 7.2.5 c).

6.4.2.2 Distance d'isolement de sécurité en service

Les circuits auxiliaires et de commande nécessitant un accès lorsque l'appareillage est en service doivent être accessibles sans la nécessité de compromettre les distances d'isolement par rapport aux parties dangereuses.

6.4.3 Composants installés dans les enveloppes

6.4.3.1 Choix des composants

Tous les composants utilisés dans les circuits auxiliaires et de commande doivent être conçus ou choisis pour fonctionner avec leurs caractéristiques assignées dans l'ensemble des conditions de service à l'intérieur des enveloppes des circuits auxiliaires et de commande. Il convient de prendre des précautions appropriées (chauffage, ventilation, isolation, par exemple) pour s'assurer du maintien de ces conditions de service essentielles au bon fonctionnement, des relais, contacteurs, sectionneurs à basse tension, appareils de mesure, compteurs de manœuvres, boutons-poussoirs, etc.

NOTE Ces conditions internes à l'armoire de commande pour circuits auxiliaires et de commande peuvent différer des conditions externes de service spécifiées à l'Article 4.

La perte des "précautions appropriées" ne doit pas causer de défaillance des circuits auxiliaires et de commande à l'intérieur de l'enveloppe ni provoquer de manœuvre intempestive de l'appareillage au cours du temps spécifié. Il convient de choisir les composants en tenant compte de la température obtenue dans l'armoire du circuit auxiliaire et de commande pendant les 2 h suivant la perte des "précautions appropriées", en vue de s'assurer du bon fonctionnement de l'appareillage jusqu'à la fin de cette période de 2 h.

Au-delà de cette période de 2 h, le non-fonctionnement de l'appareillage est acceptable. Si la perte des "précautions appropriées" dure plus de 2 h sans dépasser 24 h au total, les fonctionnalités de l'appareillage doivent être rétablies à leurs caractéristiques initiales au rétablissement des conditions de service.

Lorsque le chauffage est essentiel au bon fonctionnement de l'appareil, une surveillance du circuit de chauffage doit être prévue.

Dans le cas d'un appareillage conçu pour être installé à l'extérieur, des mesures appropriées (ventilation et/ou chauffage intérieurs, etc.) peuvent être exigées pour empêcher une condensation nuisible à l'intérieur des enveloppes des circuits auxiliaires et de commande.

6.4.3.2 Accessibilité

Les organes de commande d'ouverture et de fermeture et les organes de commande d'arrêt d'urgence doivent être placés entre 0,4 m et 2 m au-dessus du plancher, du sol, ou de la plateforme de service normalement utilisée par le personnel d'exploitation.

Il convient d'installer les organes de commande secondaires à une hauteur telle qu'ils puissent être facilement manœuvrés, et les dispositifs indicateurs à une hauteur telle qu'ils puissent être facilement lisibles.

Lorsqu'un composant peut nécessiter un ajustement durant sa durée de vie en service, un accès à ce composant doit être prévu avec le degré minimum de protection IP XXB, voir l'IEC 60529:1989, l'IEC 60529:1989/AMD1:1999 et l'IEC IEC 60529:1989/AMD2:2013.

6.4.3.3 Identification

L'identification des composants installés dans les enveloppes doit être conforme aux identifications des schémas et dessins de câblage. Si un composant est embrochable, il convient de placer une identification sur le composant et sur la partie fixe sur laquelle vient s'embrocher le composant.

6.4.3.4 Exigences applicables aux composants des circuits auxiliaires et de commande

6.4.3.4.1 Généralités

Les composants des circuits auxiliaires et de commande doivent être conformes aux normes IEC éventuelles applicables. L'Annexe D (informative) est donnée comme référence rapide à un certain nombre de normes de composants.

6.4.3.4.2 Câblage et filerie

Des dispositifs appropriés doivent être prévus pour la connexion de la filerie externe, par exemple blocs de jonction ou prises embrochables.

Les inversions de polarité aux points d'interfaces ne doivent causer aucun dommage aux circuits auxiliaires et de commande.

Il convient que les blocs de jonction soient fixés. Les câbles entre deux blocs de jonction ne doivent pas avoir de raccordements intermédiaires avec une jonction de fil ou une soudure.

Le câblage et la filerie doivent être maintenus convenablement et ne doivent pas reposer contre des arêtes vives.

L'espace disponible pour le branchement externe doit permettre l'épanouissement de câbles à âmes multiples et le raccordement correct de leurs conducteurs sans contraintes excessives.

Les conducteurs raccordés aux composants montés sur des portes doivent être disposés de manière qu'aucun dommage mécanique ne puisse advenir aux conducteurs par suite du mouvement des portes.

6.4.3.4.3 Bornes

Si des possibilités de raccordement des conducteurs de neutre, de protection et PEN (neutre de terre de protection), d'entrée et de sortie sont prévues, elles doivent être placées dans le voisinage des bornes des conducteurs de phase associés.

6.4.3.4.4 Interrupteurs auxiliaires

Les interrupteurs auxiliaires doivent être adaptés au nombre de cycles de manœuvres spécifié pour les appareils de connexion haute tension auxquels ils sont reliés.

Les interrupteurs auxiliaires qui sont manœuvrés en liaison avec les contacts principaux doivent être à commande positive dans les deux sens. Un interrupteur auxiliaire peut être constitué d'un ensemble de deux contacts auxiliaires à commande positive dans un seul sens (un dans chaque direction).

6.4.3.4.5 Contacts auxiliaires et de commande

Les contacts auxiliaires et de commande doivent être adaptés au nombre de cycles de manœuvres spécifié pour l'appareil de connexion. Cette exigence est vérifiée par l'essai d'endurance mécanique des appareils de connexion haute tension auxquels ils sont reliés.

Les caractéristiques opérationnelles des contacts auxiliaires mis à disposition de l'utilisateur doivent être conformes à l'une des classes indiquées dans le Tableau 8.

Tableau 8 – Classes des contacts auxiliaires

Courant continu				
Classe	Courant permanent assigné	Courant de courte durée admissible assigné	Pouvoir de coupure	
			$U_a \leq 48 \text{ V}$	$110 \text{ V} \leq U_a \leq 250 \text{ V}$
1	10 A	100 A/30 ms		440 W
2	2 A	100 A/30 ms		22 W
3	200 mA	1 A/30 ms	50 mA	

NOTE 1 Les contacts de commande qui sont insérés dans un circuit de commande d'un appareil mécanique de connexion, peuvent être couverts par ce tableau.

NOTE 2 Une valeur trop faible de courant traversant le contact peut par oxydation provoquer une augmentation de la résistance de contact. Un courant minimal peut par conséquent s'avérer nécessaire pour les contacts de classe 1.

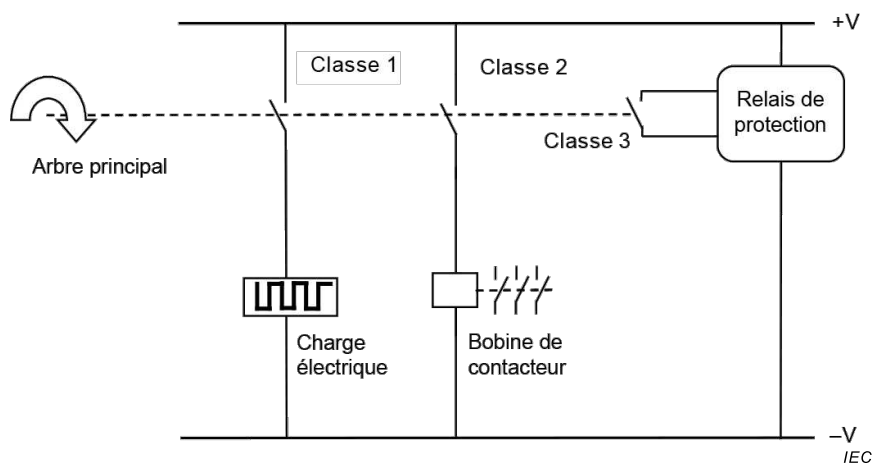
NOTE 3 Dans le cas de contacts statiques, le courant de courte durée admissible assigné peut être réduit si un dispositif de limitation de courant autre qu'un fusible est utilisé.

NOTE 4 Pour toutes les classes, le pouvoir de coupure est basé sur une constante de temps de 20 ms avec une tolérance de $^{+20}_0$ %.

NOTE 5 Un contact auxiliaire conforme aux classes 1, 2 ou 3 en courant continu est normalement capable de supporter un courant et une tension alternatifs correspondants.

NOTE 6 Le courant coupé à une valeur définie de tension entre 110 V et 250 V peut être déduit de la valeur de la puissance indiquée pour les contacts de classe 1 et de classe 2 (par exemple 2 A à 220 V en courant continu pour un contact de classe 1).

Des exemples de l'utilisation des trois classes de contacts sont présentés à la Figure 1.

**Figure 1 – Exemples de classes de contacts**

6.4.3.4.6 Éléments chauffants

Tous les éléments chauffants doivent être conçus de manière à empêcher l'accès à une partie électriquement active.

La température à la surface de tout élément chauffant ou de son blindage où peut survenir un contact accidentel ne doit pas dépasser les limites de température spécifiées en 7.5.6 pour les parties accessibles non prévues pour être touchées en service normal.

6.4.3.5 Compteur de manœuvres

Les compteurs de manœuvres doivent convenir à l'usage qui leur est destiné en ce qui concerne les conditions d'environnement et le nombre de cycles de manœuvres spécifié pour les appareils de connexion.

6.5 Manœuvre dépendante à source d'énergie extérieure

Un appareil de connexion comportant une manœuvre dépendante à source d'énergie extérieure doit être en mesure de commuter ses courants assignés d'établissement et/ou de coupure (s'il y en a) lorsque la tension ou la pression d'alimentation du dispositif de manœuvre correspond à la limite inférieure spécifiée en 6.4.1 et 6.6.2 (l'expression "dispositif de manœuvre" comprend ici les relais et contacteurs intermédiaires de commande éventuels).

Sauf pour une manœuvre lente pendant la maintenance, le déplacement des contacts principaux ne doit se faire que par l'action du mécanisme de commande et selon la manière indiquée. Les positions "fermé" et "ouvert" des contacts principaux ne doivent pas être modifiées par suite d'une perte d'alimentation en énergie ou de la réapplication de l'alimentation en énergie au dispositif de fermeture et/ou d'ouverture après une perte de l'énergie.

6.6 Manœuvre à accumulation d'énergie

6.6.1 Généralités

Un appareil de connexion comportant une manœuvre à accumulation d'énergie doit être capable d'établir ou d'interrompre tous les courants jusqu'à ses valeurs assignées lorsque l'accumulation d'énergie est convenablement réalisée. Sauf pour une manœuvre lente pendant la maintenance, le déplacement des contacts principaux ne doit se faire que par l'action du mécanisme de commande et selon la manière indiquée, et non en raison d'une réapplication de l'alimentation en énergie, après une perte de l'énergie (alimentation en énergie électrique ou alimentation sous pression).

L'appareil de connexion doit comporter un dispositif indiquant que le dispositif à accumulation d'énergie est chargé, sauf pour une manœuvre indépendante sans accrochage mécanique.

Les contacts mobiles ne doivent pas pouvoir passer d'une position à une autre, à moins que l'énergie accumulée ne soit suffisante pour permettre l'achèvement satisfaisant de la manœuvre d'ouverture ou de fermeture. Les dispositifs à accumulation d'énergie doivent pouvoir être déchargés à un niveau sûr avant tout accès.

6.6.2 Accumulation d'énergie dans des réservoirs de gaz ou dans des accumulateurs hydrauliques

Lorsque le dispositif à accumulation d'énergie est un réservoir de gaz ou un accumulateur hydraulique, les exigences de 6.6.1 s'appliquent aux pressions de fonctionnement comprises entre les limites spécifiées aux points a) et b).

a) Alimentation pneumatique ou hydraulique extérieure

Sauf spécification contraire du constructeur, les limites de la pression de fonctionnement sont comprises entre 85 % et 110 % de la pression assignée spécifiée pour ces alimentations.

Ces limites ne sont pas applicables lorsque les réservoirs emmagasinent également des gaz comprimés pour la coupure.

b) Compresseur ou pompe faisant partie intégrante de l'appareil de connexion ou de son dispositif de manœuvre

Les limites de la pression de fonctionnement doivent être fixées par le constructeur.

6.6.3 Accumulation d'énergie à l'aide de ressorts (ou de poids)

Lorsque le dispositif à accumulation d'énergie est un ressort (ou un poids), les exigences de 6.6.1 s'appliquent lorsque le ressort est chargé (ou le poids en position haute).

6.6.4 Accumulation d'énergie par une manœuvre manuelle

Lorsque l'énergie est accumulée à l'aide de ressorts (ou de poids) au moyen d'une manœuvre manuelle, le sens de manœuvre de la poignée doit être indiqué.

Le dispositif de manœuvre manuelle doit être conçu de telle sorte que la poignée ne soit pas entraînée par le fonctionnement de l'appareil de connexion.

La force maximale nécessaire pour la charge manuelle d'un ressort (ou d'un poids) ne doit pas être supérieure à 250 N.

6.6.5 Accumulation d'énergie par servomoteur

Les moteurs et leur équipement électrique auxiliaire, destinés à bander un ressort (ou à lever un poids) ou à entraîner un compresseur ou une pompe, doivent fonctionner de façon satisfaisante entre 85 % et 110 % de la tension d'alimentation assignée (voir 5.9), la fréquence étant, en courant alternatif, la fréquence d'alimentation assignée (voir 5.10).

NOTE Pour les moteurs électriques, ces limites n'impliquent pas l'utilisation de moteurs non standards, mais seulement le choix d'un moteur fournissant la puissance nécessaire à ces valeurs, et il n'est pas nécessaire de faire coïncider la tension assignée du moteur et la tension d'alimentation assignée des circuits auxiliaires et de commande.

6.6.6 Accumulation d'énergie dans des condensateurs

Lorsque le dispositif d'accumulation d'énergie est un condensateur chargé, les exigences de 6.6.1 s'appliquent lorsque le condensateur est chargé.

6.7 Manœuvre indépendante sans accrochage mécanique (manœuvre indépendante manuelle ou manœuvre indépendante à source d'énergie extérieure)

Le mécanisme ne doit pas atteindre le point de libération d'énergie d'une manœuvre de fermeture si l'appareil de connexion est en position de fermeture ou d'une manœuvre d'ouverture s'il est en position d'ouverture.

NOTE 1 Cette exigence vise à empêcher la décharge d'énergie accumulée, involontaire et potentiellement nuisible, sur un appareil de connexion déjà fermé ou déjà ouvert.

Il ne doit pas être possible d'accumuler de l'énergie progressivement par des manœuvres incomplètes jusqu'à un verrouillage, s'il est fourni. Au cours de la manœuvre, tout mouvement des contacts avant la libération d'énergie ne doit pas réduire tout intervalle contraint électriquement en dessous de la valeur pouvant supporter les niveaux d'isolement assignés.

Pour un appareil de connexion avec un pouvoir de fermeture en court-circuit mais pas de pouvoir de coupure de courant en court-circuit, un intervalle de temps doit être introduit entre la manœuvre de fermeture et la manœuvre d'ouverture. La durée de cet intervalle de temps ne doit pas être inférieure à la durée de court-circuit assignée (voir 5.8).

NOTE 2 Cette disposition vise à permettre à l'appareil de connexion "de laisser passer" le court-circuit en position de fermeture jusqu'à l'élimination en toute sécurité du défaut par un appareil amont.

6.8 Organes de commande à manœuvre manuelle

Le sens de manœuvre des organes de commande à manœuvre manuelle doit être évident ou explicite pour l'utilisateur.

Les principes de manœuvre préférentiels doivent consister à

- tourner dans le sens des aiguilles d'une montre pour fermer et dans le sens contraire des aiguilles d'une montre pour ouvrir, ou
- pousser pour fermer et tirer pour ouvrir, ou
- tourner à droite pour fermer et tourner à gauche pour ouvrir, ou
- déplacer vers le haut pour fermer et déplacer vers le bas pour ouvrir.

D'autres conceptions peuvent être mises en œuvre.

NOTE Ces préférences sont en accord avec l'IEC 60447.

6.9 Fonctionnement des déclencheurs

6.9.1 Généralités

Voir 6.4.1 pour la base des limites de fonctionnement par rapport à la tension d'alimentation.

6.9.2 Déclencheur shunt de fermeture

Un déclencheur shunt de fermeture doit pouvoir fonctionner dans une plage de tension d'alimentation, mesurée aux bornes d'entrée, entre 85 % et 110 % de la tension d'alimentation assignée du dispositif de fermeture (voir 5.9), la fréquence, en courant alternatif, étant la fréquence d'alimentation assignée du dispositif de fermeture (voir 5.10).

6.9.3 Déclencheur shunt d'ouverture

Un déclencheur shunt d'ouverture doit pouvoir fonctionner dans toutes les conditions de fonctionnement de l'appareil de connexion jusqu'à son pouvoir de coupure assigné en court-circuit (s'il existe) et entre 70 % en courant continu – ou 85 % en courant alternatif – et 110 % de la tension d'alimentation assignée du dispositif d'ouverture, mesure faite aux bornes d'entrée (voir 5.9), la fréquence, en courant alternatif, étant la fréquence d'alimentation assignée du dispositif d'ouverture (voir 5.10).

6.9.4 Fonctionnement des déclencheurs shunt à l'aide de condensateurs

Lorsqu'un ensemble redresseur-condensateur constitue une partie intégrante de l'appareil de connexion pour l'accumulation d'énergie d'un déclencheur shunt, la charge des condensateurs issue de la tension du circuit principal ou de l'alimentation auxiliaire doit être suffisante pour permettre un fonctionnement satisfaisant du déclencheur 5 s après que la tension d'alimentation a été déconnectée des bornes de l'ensemble et remplacée par une connexion de court-circuit.

La tension du circuit principal avant déconnexion doit être égale à la tension la plus basse du réseau associée à la tension assignée de l'appareil de connexion. L'IEC 60038:2009 doit être consulté pour la relation entre la «tension la plus élevée pour le matériel» et les tensions du réseau.

6.9.5 Déclencheur à minimum de tension

Un déclencheur à minimum de tension, lorsqu'il est fourni, doit fonctionner pour ouvrir et empêcher la fermeture de l'appareil de connexion pour toutes les valeurs de la tension à ses bornes en dessous de 35 % de sa tension d'alimentation assignée.

Lorsque la tension à ses bornes est comprise entre 70 % et 35 % de sa tension d'alimentation assignée, le déclencheur à minimum de tension peut fonctionner, entraînant l'ouverture de l'appareil de connexion et empêchant sa fermeture.

Par ailleurs, le déclencheur à minimum de tension ne doit pas fonctionner pour ouvrir l'appareil de connexion quand la tension à ses bornes dépasse 70 % (en courant alternatif ou en courant continu) de sa tension d'alimentation assignée.

La fermeture de l'appareil de connexion doit être possible lorsque la valeur de la tension aux bornes du déclencheur est supérieure ou égale à 85 % de sa tension assignée.

6.10 Indication de la pression / du niveau

6.10.1 Pression du gaz

Les systèmes à pression autonome remplis de gaz comprimé pour l'isolement et/ou la manœuvre et dont la pression minimale de fonctionnement pour l'isolement et/ou la manœuvre est supérieure à 0,2 MPa (pression absolue) doivent être équipés d'un dispositif de surveillance de la pression (ou de la masse volumique).

Il convient d'établir l'incertitude de ce dispositif de surveillance en prenant en compte la coordination de la pression (pression de remplissage, pression minimale de fonctionnement et pression d'alarme) et le taux de fuite.

6.10.2 Niveau du liquide

Un dispositif doit être prévu pour vérifier le niveau du liquide, avec indication des limites minimales et maximales admissibles pour un fonctionnement correct. Cette exigence ne s'applique pas aux amortisseurs à fluide ou amortisseurs de choc.

6.11 Plaques signalétiques

6.11.1 Généralités

L'appareillage (et ses dispositifs de manœuvre le cas échéant) doit être équipé de plaques signalétiques donnant les renseignements exigés pour identifier le matériel, ses caractéristiques assignées et ses paramètres de fonctionnement appropriés tels que spécifiés dans les normes IEC applicables.

6.11.2 Application

Le Tableau 9 doit être utilisé dans la mesure du possible si la norme de produit ne fournit pas d'informations plus spécifiques.

Notamment, la terminologie, les abréviations et les unités données dans le tableau doivent être utilisées selon le cas. L'Annexe G (informative) fournit une liste étendue comportant des valeurs non assignées. Il convient de considérer les recommandations suivantes comme étant appropriées:

- a) il convient d'indiquer le type et la masse du fluide isolant sur une plaque signalétique ou sur une étiquette placée dans un emplacement visible;
- b) il convient d'indiquer si les pressions sont exprimées en valeurs absolues ou relatives;
- c) il convient d'équiper l'appareillage, installé à l'extérieur ou sous humidité élevée, de plaques signalétiques et de moyens de fixation qui sont à l'épreuve des intempéries et de la corrosion;
- d) il convient d'équiper l'appareillage constitué de plusieurs pôles, ayant des mécanismes de commande individuels, d'une plaque signalétique par pôle;
- e) pour un dispositif de manœuvre qui fait partie intégrante de l'appareillage, il peut être suffisant de combiner les plaques signalétiques en une seule;
- f) il convient de placer les plaques signalétiques de sorte qu'elles soient visibles en position normale de service et d'installation;

- g) il convient de représenter par les mêmes symboles les caractéristiques techniques mentionnées sur les plaques signalétiques et/ou dans les documents qui sont communes à plusieurs sortes d'appareillages à haute tension;
- h) du fait que d'autres caractéristiques (comme le type de gaz ou les limites de température) sont spécialisées, elles doivent être représentées par les symboles utilisés dans les normes correspondantes.

Tableau 9 – Informations sur la plaque signalétique

Élément		Abréviation	Unité	(**)	Condition: Marquage seulement exigé si
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1	Nom du constructeur			X	
2	Désignation de type et numéro de série			X	
3	Tension assignée	U_r	kV	X	
4	Tension de tenue de courte durée à fréquence industrielle assignée	U_d	kV	X	
5	Tension de tenue aux chocs de foudre assignée	U_p	kV	X	
6	Tension de tenue aux chocs de manœuvre assignée	U_s	kV	Y	tension assignée supérieure ou égale à 300 kV
7	Fréquence assignée	f_r	Hz	X	
8	Courant permanent assigné	I_r	A	X	
9	Courant de courte durée admissible assigné	I_k	kA	X	
10	Valeur de crête du courant admissible assignée	I_p	kA	X	
11	Durée de court-circuit assignée	t_k	s	Y	différente de 1 s
12	Pression de remplissage pour la manœuvre (*)	p_{rm}	MPa	X	
13	Pression de remplissage pour l'isolement (*)	p_{re}	MPa	X	
14	Pression d'alarme pour l'isolement (*)	p_{ae}	MPa	X	
15	Pression d'alarme pour la manœuvre (*)	p_{am}	MPa	X	
16	Pression minimale de fonctionnement pour l'isolement et/ou la coupure(*)	p_{me}	MPa	X	
17	Pression minimale de fonctionnement pour la manœuvre (*)	p_{mm}	MPa	X	
18	Tension(s) d'alimentation assignée(s) des circuits auxiliaires et de commande. Spécifier courant continu/ courant alternatif (avec fréquence assignée)	U_a	V	X	
19	Type et masse du fluide (liquide ou gaz) pour l'isolement	M_f	kg	X	
20	Masse de l'appareillage (y compris tout fluide)	M	kg	Y	supérieure à 300 kg
21	Année de fabrication			X	
22	Température minimale et maximale de l'air ambiant		°C	Y	Si différent de –5 °C et/ou 40 °C
(*) Pression absolue (abs.) ou pression relative (rel.) à indiquer sur la plaque signalétique.					
(**) X = le marquage de ces valeurs est obligatoire, le cas échéant. Y = les conditions de marquage de ces valeurs sont données dans la colonne (6).					
NOTE 1 L'abréviation à la colonne (3) peut être utilisée au lieu du terme de la colonne (2) à indiquer sur la plaque signalétique.					
NOTE 2 lorsque les termes de la colonne (2) sont utilisés, il n'est pas nécessaire que le mot "assigné" y figure.					

6.12 Dispositifs de verrouillage

Les appareils de connexion dont la manœuvre incorrecte peut causer des dommages ou qui sont utilisés pour assurer des distances de sectionnement doivent être équipés de moyens de verrouillage (par exemple, possibilité de pose de cadenas).

6.13 Indicateur de position

L'indication de la position réelle des contacts principaux des appareils de connexion doit être fournie si les contacts ne sont pas eux-mêmes visibles dans toutes les positions.

Les exigences relatives aux dispositifs indicateurs de position sont les suivantes:

- il doit être possible de lire l'indicateur de position lors d'une manœuvre locale;
- toutes les positions stables telles que "ouvert" et "fermé" et les positions d'essai doivent être clairement indiquées.

Il convient d'utiliser pour l'identification des positions "ouvert", "fermé" et, le cas échéant, "mis à la terre" des symboles et/ou des couleurs définis dans les publications IEC correspondantes (IEC 60073 [25] pour les couleurs, IEC 60417 [26] pour les symboles et IEC 60617 [27] pour les schémas).

6.14 Degrés de protection procurés par les enveloppes

6.14.1 Généralités

Les degrés de protection procurés par les enveloppes doivent être conformes aux spécifications données de 6.14.2 à 6.14.4.

6.14.2 Protection des personnes contre l'accès aux parties dangereuses et protection du matériel contre la pénétration de corps solides étrangers (codification IP)

Le degré minimum de protection des personnes et du matériel procuré par une enveloppe, contre l'accès aux parties dangereuses du circuit principal, des circuits de commande et/ou auxiliaires, contre l'accès aux parties en mouvement dangereuses ainsi que contre la pénétration de corps solides étrangers, doit être IP1XB selon l'IEC 60529:1989, l'IEC 60529:1989/AMD1:1999 et l'IEC 60529:1989/AMD2:2013.

6.14.3 Protection contre la pénétration d'eau (codification IP)

Pour le matériel pour installation à l'intérieur, aucun degré minimum de protection n'est spécifié contre les effets nuisibles dus à la pénétration d'eau, c'est-à-dire le second chiffre caractéristique du code IP est X selon l'IEC 60529:1989, l'IEC 60529:1989/AMD1:1999 et l'IEC 60529:1989/AMD2:2013.

Le matériel pour installation à l'extérieur doit être du degré de protection d'au moins IPX3 selon l'IEC 60529:1989, l'IEC 60529:1989/AMD1:1999 et l'IEC 60529:1989/AMD2:2013. S'il est muni d'une protection supplémentaire contre la pluie et autres conditions climatiques (lettre supplémentaire W), les performances font référence à l'état avec cette protection supplémentaire mise en place et doivent être vérifiées conformément à l'Annexe C (normative) (voir 7.7.1).

6.14.4 Protection contre les impacts mécaniques dans les conditions normales de service (codification IK)

Pour l'installation à l'intérieur, le niveau d'impact préférentiel est IK07, conformément à l'IEC 62262:2002 (2 J).

Pour l'installation à l'extérieur sans protection mécanique supplémentaire, le niveau d'impact minimum doit être IK10, conformément à l'IEC 62262:2002 (20 J).

Les isolateurs et les traversées de l'appareillage à haute tension ne sont pas soumis à cette exigence.

6.15 Lignes de fuite pour les isolateurs d'extérieur

L'Annexe K fournit des règles générales pour aider à choisir des isolateurs devant donner des performances satisfaisantes sous pollution.

Les règles générales données à l'Annexe K (informative) s'appliquent aux isolateurs en verre, en céramique et en polymère.

6.16 Étanchéité au gaz et au vide

6.16.1 Généralités

Les spécifications suivantes s'appliquent à tout appareillage utilisant pour l'isolement, la coupure, l'isolement et la coupure combinés ou pour le fonctionnement, le vide ou un gaz autre que l'air ambiant.

Pour l'étanchéité au vide, il n'est pas nécessaire de spécifier un taux de fuite F , en lieu et place le niveau du vide et la durée de service escomptée doivent être donnés.

NOTE 1 L'IEC TR 62271-306 [4] et la Brochure Cigre 430 [28] donnent des éléments d'information, des exemples et des lignes directrices relatifs à l'étanchéité.

Le taux de fuite absolu F ne doit pas dépasser la valeur spécifiée du taux de fuite admissible F_p à la température ambiante normalisée de 20 °C.

Un taux de fuite accru aux températures extrêmes est admissible, à condition que ce taux reprenne une valeur ne dépassant pas la valeur admissible F_p à la température ambiante normalisée de 20 °C. Le taux de fuite accru temporairement ne doit pas excéder les valeurs données en 7.8.1.

NOTE 2 Le taux moyen de fuite observé pendant la durée de vie en service peut être supérieur au taux de fuite spécifié en raison du taux de fuite accru temporairement à des températures supérieures ou inférieures à la température ambiante normalisée.

6.16.2 Systèmes à pression entretenue de gaz

L'étanchéité des systèmes à pression entretenue de gaz est spécifiée par le nombre de compléments de remplissage par jour (N) ou par la baisse de pression par jour (Δp). Le gaz SF₆ et les mélanges de SF₆ ne sont pas applicables aux systèmes à pression entretenue.

NOTE La plupart des systèmes à pression entretenue utilisent l'air comme gaz même si d'autres gaz peuvent être utilisés.

6.16.3 Systèmes à pression autonome de gaz

L'étanchéité des systèmes à pression autonome de gaz est spécifiée par le taux de fuite relatif F_{rel} de chaque compartiment. Les valeurs maximales à la température ambiante normalisée de 20 °C sont:

- 0,5 % par an pour le SF₆ et les mélanges de SF₆;
- 1 % par an pour les autres gaz.

NOTE 1 Certaines réglementations locales ou gouvernementales peuvent exiger un taux de fuite de SF₆ inférieur, par exemple 0,1 % par an.

Les caractéristiques d'étanchéité des systèmes à pression autonome et l'intervalle entre compléments de remplissage dans les conditions normales de service doivent être indiqués par le constructeur. Cet intervalle de temps doit être d'au moins 10 ans afin de permettre de

planifier les opérations de maintenance. Des moyens doivent être fournis pour permettre les compléments de remplissage des systèmes à gaz pendant que le matériel est en service.

NOTE 2 L'expression "en service" implique "sous tension".

NOTE 3 Les instructions du constructeur et les pratiques d'exploitation de l'utilisateur donnent des préconisations applicables lors de l'apport de compléments de remplissage en gaz.

6.16.4 Systèmes à pression scellés

L'étanchéité des systèmes à pression scellés est spécifiée par leur durée de service escomptée. La durée de service escomptée doit être spécifiée par le constructeur et doit être d'au moins 20 ans. D'autres valeurs préférentielles de cette durée sont 30 ans et 40 ans.

L'étanchéité de l'appareillage isolé au gaz doit être conçue de manière à s'assurer que la pression (masse volumique) minimale de fonctionnement n'est pas atteinte avant la date prévue de fin de vie. Le constructeur doit spécifier un taux de fuite admissible.

NOTE 1 Pour certaines conceptions, la vérification d'une durée de service escomptée supérieure à 20 ans peut ne pas être réaliste pour un essai de type ou un essai individuel de série.

NOTE 2 L'appareillage à SF₆ scellé est considéré comme ayant des pertes de SF₆ insignifiantes (perte inférieure à 0,1 % par an pendant leur durée de service escomptée).

6.17 Étanchéité des systèmes de liquide

6.17.1 Généralités

Les spécifications suivantes s'appliquent à tout appareillage qui utilise des liquides pour l'isolement, l'isolement et la coupure combinés ou pour le fonctionnement, avec ou sans pression permanente.

6.17.2 Taux de fuite

Le taux de fuite admissible ($F_{p(liq)}$) pour les liquides doit être indiqué par le constructeur. Une distinction claire doit être faite entre les étanchéités interne et externe. L'étanchéité interne renvoie à la fuite entre deux compartiments au sein d'un seul système fermé et l'étanchéité externe renvoie à la fuite hors du système fermé.

- a) étanchéité totale (système à pression scellé): aucune perte de liquide ne peut être détectée;
- b) étanchéité relative: une légère perte est acceptable dans les conditions suivantes:
 - le taux de fuite, F_{liq} , doit être inférieur au taux de fuite admissible, $F_{p(liq)}$;
 - le taux de fuite, F_{liq} , ne doit pas augmenter en fonction du temps ou, pour un appareil de connexion, en fonction du nombre de manœuvres;
 - la fuite de liquide ne doit provoquer aucun dysfonctionnement de l'appareillage ni provoquer de blessure pour les opérateurs dans l'exercice normal de leur travail.

6.18 Risque de feu (inflammabilité)

Aucune exigence technique relative à l'appareillage à haute tension n'est définie du fait de la grande diversité de conceptions et de l'absence de critères d'acceptation. Les informations ci-dessous sont fournies à titre de lignes directrices.

L'IEC 60695-1 (toutes les parties) [29] fournit des lignes directrices pour l'évaluation des risques du feu des produits électrotechniques.

L'IEC 60695-7 (toutes les parties) [30] fournit des lignes directrices sur la réduction des risques toxiques dus à des feux impliquant des produits électrotechniques.

6.19 Compatibilité électromagnétique (CEM)

L'appareillage doit être capable de satisfaire aux essais de CEM spécifiés en 7.9.

6.20 Émission de rayons X

Le présent paragraphe s'applique aux ampoules à vide utilisées dans l'appareillage. Les ampoules à vide doivent être conçues de telle sorte que les critères d'acceptation sur les niveaux d'émission de rayons X spécifiés en 7.11.3 soient satisfaits lorsqu'elles sont soumises à l'essai spécifié en 7.11.

6.21 Corrosion

Aucune exigence type ne peut être fournie en raison du nombre considérable de paramètres à prendre en compte. Des recommandations d'ordre général sont données dans l'IEC TR 62271-306 [4].

6.22 Niveaux de remplissage pour l'isolement, la coupure et/ou la manœuvre

La pression (ou masse volumique) ou la masse de liquide doit être assignée par le constructeur. La pression (ou masse volumique) du gaz à laquelle l'appareillage à remplissage de gaz est rempli avant la mise en service est rapportée aux conditions atmosphériques à 20 °C .

En plus des niveaux de remplissage, les valeurs suivantes doivent être assignées par le constructeur (lorsque cela s'applique):

- pression p_{ae} (ou masse volumique ρ_{ae}) d'alarme pour l'isolement et/ou la coupure;
- pression p_{am} (ou masse volumique ρ_{am}) d'alarme pour la manœuvre;
- pression p_{me} (ou masse volumique ρ_{me}) minimale de fonctionnement pour l'isolement et/ou la coupure;
- pression p_{mm} (ou masse volumique ρ_{mm}) minimale de fonctionnement pour la manœuvre.

7 Essais de type

7.1 Généralités

7.1.1 Principes fondamentaux

Les essais de type ont pour but de démontrer les valeurs assignées et les caractéristiques de l'appareillage, de ses dispositifs de manœuvre et de ses équipements auxiliaires. Chaque essai de type particulier ou séquence d'essais de type particulière doit être effectué(e) sur les objets d'essai tels que définis en 3.2.1 en condition de service (remplis des types et quantités spécifiés de liquides ou de gaz), avec leurs dispositifs de manœuvre et équipements auxiliaires, le tout devant en principe être, ou être ramené, à l'état neuf et propre au début de chaque essai de type ou séquence d'essais de type.

La remise en état pendant chaque essai de type ou séquence d'essais de type peut être permise par la norme de produit IEC applicable. Le constructeur doit déclarer au laboratoire d'essai la liste des pièces qu'il est admis de remettre à neuf pendant les essais.

Les tolérances relatives aux grandeurs d'essai sont énumérées au Tableau E.1.

Les informations relatives à l'extension de la validité des essais de type sont données à l'Annexe J (informative).

7.1.2 Informations pour l'identification des objets d'essai

Le constructeur doit soumettre au laboratoire d'essai les plans et les autres données fournissant les informations suffisantes pour identifier sans ambiguïté les détails et les pièces essentiels du type d'appareillage présenté à l'essai. Une liste résumée des plans et des tableaux de données doit être fournie par le constructeur et doit avoir une référence unique, et elle doit inclure une déclaration selon laquelle le constructeur garantit que les plans ou les fiches techniques répertorié(e)s sont la version correcte et représentent l'appareillage à soumettre aux essais.

Le laboratoire d'essai doit vérifier que les plans et fiches techniques représentent correctement les détails et pièces essentiels de l'objet d'essai, mais n'est pas responsable de la précision des informations détaillées.

Les plans particuliers et les données qui doivent être soumis par le constructeur au laboratoire d'essai pour l'identification des pièces essentielles de l'objet d'essai sont spécifiés à l'Annexe A (normative).

7.1.3 Informations à inclure dans les rapports d'essais de type

Les résultats de tous les essais de type doivent être enregistrés dans des rapports d'essai contenant suffisamment de données pour prouver la conformité aux caractéristiques assignées et aux articles relatifs aux essais des normes applicables, et des informations suffisantes doivent être incluses afin de pouvoir identifier les parties essentielles de l'objet d'essai. Ils doivent comprendre en particulier les informations suivantes:

- le constructeur;
- la désignation du type et le numéro de série de l'objet d'essai;
- les caractéristiques assignées de l'objet d'essai, telles que spécifiées dans la norme IEC applicable;
- la description générale de l'objet d'essai, y compris le nombre de pôles;
- le constructeur, le type, les numéros de série et les caractéristiques assignées des parties essentielles, quand cela s'applique (par exemple les mécanismes de commande, les ampoules, les impédances shunt);
- les détails généraux du châssis de l'appareil de connexion ou de l'appareillage sous enveloppe dont l'appareil de connexion fait partie intégrante;
- les détails des mécanismes et dispositifs de manœuvre utilisés pendant les essais, lorsque cela s'applique;
- des photographies représentant l'état de l'objet d'essai avant et après l'essai;
- les plans d'encombrement et tableaux de données suffisants pour représenter l'objet d'essai;
- les numéros de référence de tous les plans, y compris le numéro de révision, soumis pour identifier les parties essentielles de l'objet d'essai;
- une déclaration selon laquelle l'objet d'essai est conforme aux plans soumis;
- les détails des dispositions d'essai (y compris les schémas du circuit d'essai);
- la description du comportement de l'objet d'essai pendant les essais, son état après les essais, et toute pièce remise en état ou à neuf pendant les essais;
- dans le cas de coupures à l'aide de certaines technologies spécifiques, des décharges disruptives non soutenues (NSDD) peuvent apparaître pendant la période de tension de rétablissement. Leur nombre n'a pas de signification dans l'interprétation des performances du dispositif en essai. Elles doivent être mentionnées dans le rapport d'essai, uniquement afin de les différencier des réamorçages;
- les enregistrements des grandeurs d'essai pendant chaque essai ou chaque séquence d'essais, comme spécifié dans la norme IEC applicable;
- l'emplacement, le nom du laboratoire où les essais ont été effectués et la date d'essai.

7.2 Essais diélectriques

7.2.1 Généralités

Les essais diélectriques doivent être effectués conformément à l'IEC 60060-1:2010, sauf spécification contraire dans le présent document.

7.2.2 Conditions de l'air ambiant pendant les essais

L'IEC 60060-1:2010 doit être utilisée comme référence en ce qui concerne les conditions atmosphériques normalisées de référence et les facteurs de correction atmosphérique.

Le facteur de correction atmosphérique K_t doit être appliqué pour les objets d'essai dont l'isolation externe exposée à l'air ambiant constitue la préoccupation principale.

Le facteur de correction de l'humidité k_2 ne doit être appliqué que pour les essais à sec de l'objet d'essai dont l'isolation à l'air ambiant constitue la préoccupation principale.

Pour l'appareillage de tension assignée inférieure ou égale à 52 kV, il peut être considéré que:

- $m = 1$ et $w = 0$ quand l'humidité absolue est supérieure à celle de l'atmosphère de référence, c'est-à-dire quand $h > 11 \text{ g/m}^3$;
- $m = 1$ et $w = 1$ quand l'humidité absolue est inférieure à celle de l'atmosphère de référence, c'est-à-dire quand $h < 11 \text{ g/m}^3$.

Pour les objets d'essai comportant une isolation externe et une isolation interne, le facteur de correction K_t doit être appliqué si sa valeur est comprise entre 0,95 et 1,05. Cependant, de manière à éviter des contraintes supplémentaires sur l'isolation interne, le facteur de correction K_t peut ne pas être appliqué si le comportement satisfaisant de l'isolation externe a été prouvé.

Si le facteur de correction K_t est supérieur à 1,0, alors l'isolation interne sera anormalement contrainte pour pouvoir soumettre complètement à l'essai l'isolation externe et des mesures peuvent être nécessaires pour éviter de contraindre anormalement l'isolation interne. Si le facteur de correction K_t est inférieur à 1,0, alors l'isolation externe sera anormalement contrainte pour pouvoir soumettre complètement à l'essai l'isolation interne et des mesures peuvent être nécessaires pour éviter de contraindre anormalement l'isolation externe. Quelques méthodes sont proposées dans l'IEC 60060-1:2010.

Pour les objets d'essai comportant seulement une isolation interne, les conditions de l'air ambiant n'ont pas d'influence et le facteur de correction K_t ne doit pas être appliqué.

Pour les essais de tension combinée, le paramètre g doit être calculé en considérant la valeur totale de la tension d'essai.

7.2.3 Modalités des essais sous pluie

Lorsqu'un essai sous pluie est exigé, la procédure normalisée des essais sous pluie de l'IEC 60060-1:2010 doit être suivie.

7.2.4 Disposition de l'appareil

Les essais diélectriques doivent être effectués sur l'appareillage complètement assemblé comme en service avec toute isolation supplémentaire telle que des enrubannages ou des écrans si elle est indiquée dans les instructions d'installation; les surfaces extérieures des éléments isolants doivent être soigneusement nettoyées.

L'objet d'essai doit être monté pour l'essai avec la hauteur et les distances d'isolement dans l'air minimales, spécifiées par le constructeur si de tels aspects influencent les performances.

Les essais doivent être effectués avec l'objet d'essai installé à une hauteur au-dessus du sol inférieure ou égale à la hauteur utilisée en service.

Lorsque la distance entre les pôles de l'objet d'essai n'est pas fixée par la conception, la distance entre les pôles à adopter pour les essais doit être la valeur minimale indiquée par le constructeur. Toutefois, afin d'éviter de monter des objets d'essai tripolaires de grandes dimensions, les essais de pollution artificielle et les essais de tension de perturbation radioélectrique peuvent être effectués sur un seul pôle et, si la distance d'isolement minimale entre pôles est supérieure ou égale à celles données dans les Tableaux A.1 et A.2 de l'IEC 60071-2:1996, tous les autres essais diélectriques peuvent être exécutés sur un seul pôle.

Si des éclateurs de protection ou des anneaux de garde font partie de la conception pour la répartition du gradient, ils doivent être maintenus en place pendant l'essai. S'ils sont proposés comme des dispositifs de protection contre les surtensions pour le réseau, ils ne font pas partie de la conception de l'objet d'essai et ne doivent pas être installés pour les essais.

En ce qui concerne les objets d'essai utilisant un gaz comprimé pour l'isolement, les essais diélectriques doivent être effectués à la pression (masse volumique) minimale de fonctionnement pour l'isolement. La température et la pression du gaz doivent être mesurées pendant les essais et consignées dans le rapport d'essai.

NOTE Au cours des essais diélectriques de l'appareillage comprenant des appareils de connexion dans le vide, des précautions sont prises pour s'assurer que le niveau de l'émission possible de rayonnements X au cours des essais à haute tension reste dans les limites sûres (voir 7.11). Les réglementations nationales peuvent influencer sur les mesures de sécurité à adopter.

7.2.5 Conditions de réussite des essais

a) Essais de tension de tenue de courte durée à fréquence industrielle

L'objet d'essai doit être considéré comme ayant réussi l'essai si aucune décharge disruptive ne se produit.

Si, au cours d'un essai sous pluie, une décharge disruptive (telle que définie dans l'IEC 60060-1:2010) se produit sur l'isolation externe autorégénératrice, l'essai doit être répété dans les mêmes conditions sans nettoyage intermédiaire, et l'objet d'essai doit être considéré comme ayant satisfait à cet essai si aucune nouvelle décharge disruptive ne se produit.

b) Essais aux chocs

La procédure d'essai B de l'IEC 60060-1:2010, adaptée pour les objets d'essai qui ont une isolation autorégénératrice et une isolation non autorégénératrice, est la procédure d'essai préférentielle. L'objet d'essai satisfait aux essais de chocs si les conditions suivantes sont remplies:

- chaque série comprend au moins 15 essais;
- le nombre de décharges disruptives ne dépasse pas deux pour chaque série complète;
- aucune décharge disruptive ne se produit sur une isolation non autorégénératrice. Ceci est confirmé par 5 essais de tenue aux chocs consécutifs par suite de la dernière décharge disruptive.

Cette procédure conduit à un nombre possible maximal de 25 chocs par série.

La procédure C de l'IEC 60060-1:2010 peut être utilisée lorsque les trois pôles sont soumis aux essais (voir 7.2.6.2).

c) Commentaire général

- Lors de l'essai d'un appareillage, la partie du matériel à travers laquelle la tension d'essai est appliquée peut être soumise à de nombreuses séquences d'essais pour

vérifier les propriétés isolantes des autres parties situées en aval (disjoncteurs, sectionneurs, autres travées). Il est recommandé de soumettre à l'essai les parties tour à tour en commençant par la première partie raccordée. Quand cette partie a réussi l'essai selon les critères exposés ci-dessus, sa qualification n'est pas remise en question par d'éventuelles décharges disruptives pouvant s'y produire lors des essais ultérieurs sur d'autres parties.

Ces décharges peuvent être le résultat de l'accumulation de la probabilité de décharge avec le plus grand nombre d'applications de tensions, ou de la tension réfléchie après une décharge disruptive à un point éloigné de l'appareillage. Pour réduire la probabilité d'apparition de ces décharges dans les équipements remplis de gaz, il est permis d'augmenter la pression des compartiments qui ne sont pas l'objet de l'essai. Il convient que les compartiments à pression augmentée soient clairement identifiés dans le ou les rapports d'essai.

- Une décharge disruptive vers les circuits auxiliaires et de commande doit être considérée comme un échec.

7.2.6 Application de la tension d'essai et conditions d'essai

7.2.6.1 Généralités

Il faut distinguer le cas général, dans lequel les trois tensions d'essai (entre phase et terre, entre phases et entre contacts de l'appareil de connexion en position ouverte) sont les mêmes, et le cas particulier dans lequel les tensions d'essai sur la distance de sectionnement et/ou entre phases sont supérieures à la tension d'essai entre phase et terre.

Certains matériaux isolants restent chargés après un essai aux chocs et il convient de prendre des précautions dans ce cas lors des changements de polarité. Pour permettre aux matériaux isolants de se décharger, il est recommandé d'utiliser des méthodes appropriées, telles que l'application, avant les essais, de deux chocs de polarité inverse de tension entre 60 % et 80 % de la tension de tenue assignée.

Lors d'essais sur l'appareillage comprenant des intervalles ouverts d'ampoules à vide, il peut être appliqué pour chaque polarité au maximum 25 chocs préliminaires à une tension inférieure ou égale à la tension de tenue assignée. Le nombre et le niveau de chocs préliminaires sont à spécifier par le constructeur. Les amorçages constatés pendant l'application de ces chocs préliminaires doivent être ignorés pour les statistiques de tenue utilisées pour déterminer le résultat satisfaisant ou non de l'appareillage.

7.2.6.2 Cas général

La tension d'essai doit être appliquée suivant le cas selon le Tableau 10, en se référant à la Figure 2 qui représente le schéma de raccordement d'un appareil de connexion tripolaire.

Tableau 10 – Conditions d'essai dans le cas général

Condition d'essai	Appareil de connexion	Tension appliquée à	Terre reliée à
1	Fermé	Aa	BCbcF
2	Fermé	Bb	ACacF
3	Fermé	Cc	ABabF
4	Ouvert	A	BCabcF
5	Ouvert	B	ACabcF
6	Ouvert	C	ABabcF
7	Ouvert	a	ABCbcF
8	Ouvert	b	ABCacF
9	Ouvert	c	ABCabF

NOTE 1 Les conditions d'essai 3, 6 et 9 peuvent être supprimées si les pôles extérieurs sont disposés symétriquement par rapport au pôle central et par rapport au châssis.

NOTE 2 Les conditions d'essai 2, 3, 5, 6, 8, 9 peuvent être supprimées si les pôles sont disposés totalement symétriquement les uns par rapport aux autres et par rapport au châssis.

NOTE 3 Les conditions d'essai 7, 8 et 9 peuvent être supprimées si les bornes de chaque pôle sont disposées symétriquement par rapport au châssis.

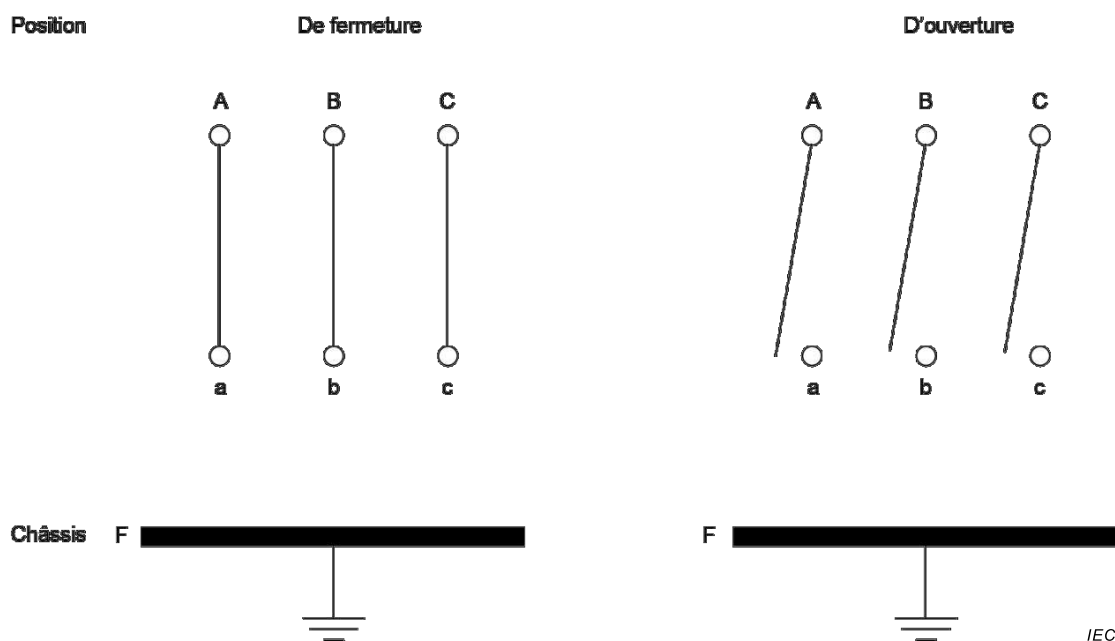


Figure 2 – Schéma des connexions d'un appareil de connexion tripolaire

7.2.6.3 Cas particuliers

Lorsque la tension d'essai sur la distance de sectionnement est supérieure à la tension de tenue entre phase et terre, la méthode d'essai a) ou b) peut être utilisée.

Lorsque la tension d'essai entre phases est supérieure à la tension de tenue entre phase et terre, la méthode d'essai a) doit être utilisée.

a) Méthode préférentielle

Sauf spécification contraire dans le présent document, la méthode préférentielle consiste en l'utilisation d'essais de tensions combinées (voir l'Article 9 de l'IEC 60060-1:2010).

– Essais de tension à fréquence industrielle

Les essais doivent être effectués au moyen de deux sources différentes de tension en condition de discordance de phases en vue d'obtenir la tension d'essai spécifiée. Le partage de la tension est spécifié en 7.2.7.2 et en 7.2.8.2.

Dans ce cas, la tension d'essai entre les contacts de l'appareil de connexion en position ouverte (ou de la distance de sectionnement) doit être appliquée selon le Tableau 11.

Tableau 11 – Conditions d'essai à la tension à fréquence industrielle

Condition d'essai	Tension appliquée à	Terre reliée à
1	A et a	BCbcF
2	B et b	ACacF
3	C et c	ABabF
NOTE 1 La condition d'essai 3 peut être supprimée si les pôles extérieurs sont disposés symétriquement par rapport au pôle central et par rapport au châssis.		
NOTE 2 Les conditions d'essai 2 et 3 peuvent être supprimées si les pôles sont disposés totalement symétriquement les uns par rapport aux autres et par rapport au châssis.		

– Essais à la tension de choc

La tension de tenue aux chocs assignée entre phase et terre constitue la partie principale de la tension d'essai et est appliquée à une borne; la tension complémentaire est fournie par une autre source de tension de polarité opposée et appliquée à la borne opposée. Cette tension complémentaire peut être soit une autre tension de choc, soit la crête d'une tension à fréquence industrielle, soit une tension continue. Les autres pôles et le châssis sont reliés à la terre.

Pour tenir compte de l'influence du choc sur l'onde de tension à fréquence industrielle, due au couplage capacitif entre les deux circuits de tension, l'exigence d'essai suivante doit être satisfaite: la somme de la valeur de crête de la tension de choc et de la tension complémentaire à l'instant correspondant à la valeur de crête du choc doit être égale à la tension d'essai totale spécifiée avec une tolérance de $\pm 3\%$. Pour satisfaire à une telle condition, la valeur de la tension instantanée à fréquence industrielle ou de la tension de choc peut être augmentée. La tension instantanée à fréquence industrielle peut être augmentée sans dépasser $U_r \times \sqrt{2} / \sqrt{3}$ pour les essais au choc de foudre et $1,2 \times U_r \times \sqrt{2} / \sqrt{3}$ pour les essais au choc de manœuvre.

La chute de tension sur l'onde de tension à fréquence industrielle peut être considérablement réduite en raccordant un condensateur de valeur convenable en parallèle avec la borne raccordée à la tension à fréquence industrielle.

La tension d'essai doit être appliquée selon le Tableau 12.

Tableau 12 – Conditions d'essai à la tension de choc

Condition d'essai	Partie principale	Partie complémentaire	Terre reliée à
	Tension appliquée à		
1	A	A	BbCcF
2	B	a	AaCcF
3	C	c	AaBbF
4	a	A	BbCcF
5	b	B	AaCcF
6	c	C	AaBbF

NOTE 1 Les conditions d'essai 3 et 6 peuvent être supprimées si les pôles extérieurs sont disposés symétriquement par rapport au pôle central et par rapport au châssis.

NOTE 2 Les conditions d'essai 2, 3, 5 et 6 peuvent être supprimées si les pôles sont disposés totalement symétriquement les uns par rapport aux autres et par rapport au châssis.

NOTE 3 Les conditions d'essai 4, 5 et 6 peuvent être supprimées si les bornes de chaque pôle sont disposées symétriquement par rapport au châssis.

b) Méthode en variante

Lorsqu'une seule source de tension est utilisée, l'isolement entre les contacts de l'appareil de connexion en position ouverte (ou de la distance de sectionnement) peut être soumis à l'essai comme suit, pour les essais de tension à fréquence industrielle comme pour les essais à la tension de choc:

- la tension d'essai totale U_t est appliquée entre une borne et la terre; la borne opposée est reliée à la terre;
- si la tension correspondante aux bornes des isolateurs-soutiens des conducteurs de phase de l'appareil de connexion dépasse la tension de tenue entre phase et terre assignée, le châssis et les deux phases du circuit principal non soumis aux essais sont fixés à une tension partielle U_f par rapport à la terre, de telle sorte que $U_t - U_f$ soit d'un niveau minimal de 70 % de la tension de tenue entre phase et terre assignée; une limite supérieure doit être définie par le constructeur de l'appareillage (selon la contrainte supplémentaire admissible de l'isolation entre phase et terre);
- s'il est fait référence à cette méthode en variante en 7.2.7, toutes les bornes non soumises aux essais et le châssis peuvent être isolés de la terre.

Le Tableau 13 présente la façon d'appliquer les différentes tensions.

Tableau 13 – Conditions d'essai pour la méthode en variante

Condition d'essai	Partie principale		Fixée à une tension partielle U_f^a
	Tension U_t appliquée à	Terre reliée à	
1	A	a	B, b, C, c, F
2	B	b	A, a, C, c, F
3	C	c	A, a, B, b, F
4	a	A	B, b, C, c, F
5	b	B	A, a, C, c, F
6	c	C	A, a, B, b, F

^a Si ceci est autorisé, toutes les bornes (non soumises aux essais) et le châssis peuvent même être isolés par rapport à la terre, en considérant qu'il est fait référence en 7.2.7 à la méthode en variante de 7.2.6.3.

7.2.7 Essais de l'appareillage de $U_r \leq 245$ kV

7.2.7.1 Généralités

Les essais doivent être effectués avec les valeurs d'essai correspondant aux tensions de tenue assignées choisies dans le Tableau 1 ou le Tableau 2.

7.2.7.2 Essais de tension à fréquence industrielle

L'objet d'essai doit être soumis à des essais de tension de tenue de courte durée à fréquence industrielle, selon l'IEC 60060-1:2010. Pour chaque condition d'essai, la tension d'essai doit être élevée jusqu'à la valeur d'essai et y être maintenue pendant 1 min.

Les essais doivent être effectués à sec et aussi sous pluie pour l'appareillage pour l'extérieur avec une isolation externe.

Pour les cas particuliers indiqués en 7.2.6.3, la distance de sectionnement peut être soumise à l'essai comme suit.

- Méthode préférentielle: dans ce cas, aucune des valeurs des deux tensions appliquées aux deux bornes ne doit être supérieure à la tension de tenue entre phase et terre assignée.
- Méthode en variante: pour l'appareillage sous enveloppe métallique à isolation gazeuse de tension assignée inférieure ou égale à 52 kV et pour toute autre technologie d'appareillage de toute tension assignée, il n'est pas nécessaire de fixer aussi précisément la tension par rapport à la terre U_f du châssis, qui peut même être isolé.
- Compte tenu de la grande dispersion des résultats d'essais de tension à fréquence industrielle sous pluie pour les appareillages de tension assignée égale à 170 kV et 245 kV, il est admis de remplacer ces essais par un essai de tension de choc de manœuvre de 250/2 500 μ s sous pluie, avec une valeur de crête égale à 1,55 fois la valeur efficace de la tension d'essai à fréquence industrielle spécifiée.

7.2.7.3 Essais de tension de choc de foudre

L'objet d'essai doit être soumis à des essais de tension de choc de foudre à sec seulement. Les essais doivent être effectués avec des tensions des deux polarités au moyen du choc de foudre 1,2/50 μ s normalisé, selon l'IEC 60060-1:2010.

Lorsque la méthode en variante est utilisée pour soumettre à l'essai la distance de sectionnement des appareils de connexion sous enveloppe métallique à isolation gazeuse de tension assignée inférieure ou égale à 52 kV et de toute autre technologie d'appareils de connexion de toute tension assignée, il n'est pas nécessaire de fixer aussi précisément la tension par rapport à la terre U_f du châssis, qui peut même être isolé.

7.2.8 Essais de l'appareillage de $U_r > 245$ kV

7.2.8.1 Généralités

En position fermée, les essais doivent être effectués dans les conditions 1, 2 et 3 du Tableau 10. En position ouverte, les essais doivent être effectués comme indiqué ci-dessous (mais voir 7.2.4). De plus, des essais de tension au choc de manœuvre entre phases doivent être effectués comme indiqué ci-dessous. Les essais doivent être effectués avec les valeurs d'essai égales aux tensions de tenue assignées.

7.2.8.2 Essais de tension à fréquence industrielle

L'objet d'essai doit être soumis à des essais de tension de tenue de courte durée à fréquence industrielle, selon l'IEC 60060-1:2010. Pour chaque condition d'essai, la tension d'essai doit être élevée jusqu'à la valeur d'essai et y être maintenue pendant 1 min.

Les essais doivent être effectués à sec seulement.

L'isolement entre les contacts de l'appareil de connexion en position ouverte, ou la distance de sectionnement, doit être soumis à l'essai. La méthode préférentielle est celle de a) de 7.2.6.3 ci-dessus. Sous réserve de l'accord du constructeur, la méthode en variante b) de 7.2.6.3 peut aussi être utilisée. Quelle que soit la méthode choisie, aucune des tensions appliquées entre une borne et le châssis ne doit être supérieure à la tension assignée U_r .

7.2.8.3 Essais à la tension de choc de manœuvre

L'objet d'essai doit être soumis à des essais de tension de choc de manœuvre. Les essais doivent être effectués avec des tensions des deux polarités, au moyen du choc de manœuvre 250/2 500 μ s normalisé selon l'IEC 60060-1:2010. Des essais sous pluie doivent être effectués seulement pour l'appareillage pour l'extérieur avec une isolation externe.

La distance de sectionnement doit être soumise à l'essai par la méthode préférentielle a) de 7.2.6.3.

L'isolation entre pôles doit être soumise à l'essai à sec seulement selon le Tableau 13 avec la tension d'essai donnée par la colonne 5 du Tableau 3 et/ou du Tableau 4, au moyen de la méthode préférentielle a) de 7.2.6.3 dans laquelle la partie principale doit être égale ou supérieure à 90 % de la valeur donnée dans la colonne 4 du Tableau 3 et du Tableau 4. Cette valeur ne doit pas dépasser 100 % de la valeur donnée dans la colonne 4 du Tableau 3 et du Tableau 4 sans l'accord du constructeur. La partie complémentaire doit être appliquée sur la phase adjacente en opposition de phase de manière à ce que la somme des deux tensions (partie principale et partie complémentaire) soit égale à la valeur indiquée dans la colonne 5 du Tableau 3 et du Tableau 4.

La répartition réelle de la tension doit être aussi équilibrée que possible. Toute répartition déséquilibrée de la tension d'essai totale est plus sévère. Lorsque les composantes de tension sont différentes en forme et/ou en amplitude, l'essai doit être répété en inversant les connexions.

7.2.8.4 Essais de tension de choc de foudre

L'objet d'essai doit être soumis à des essais de tension de choc de foudre, à sec seulement. Les essais doivent être effectués avec des tensions des deux polarités au moyen du choc de foudre 1,2/50 μ s normalisé, selon l'IEC 60060-1:2010.

7.2.9 Essais de pollution artificielle pour les isolateurs d'extérieur

Les essais de pollution artificielle ne sont pas exigés pour les isolateurs dont les lignes de fuite suivent les recommandations de 6.15 et de l'Annexe K (informative).

Si les lignes de fuite diffèrent des valeurs recommandées données à l'Annexe K (informative), des essais de pollution artificielle doivent être effectués selon l'IEC 60507, avec la tension assignée et les facteurs d'application donnés dans l'IEC TS 60815-1:2008.

7.2.10 Essais de décharges partielles

Sauf spécification contraire dans les normes de produits correspondantes, les essais de décharges partielles ne sont pas exigés. Lorsque ces essais sont exigés, les mesurages doivent être effectués selon l'IEC 60270.

7.2.11 Essais diélectriques sur les circuits auxiliaires et de commande

Les essais diélectriques sur les circuits auxiliaires et de commande sont traités en 7.10.5.

7.2.12 Essai de tension comme essai de vérification d'état

Lorsqu'un essai diélectrique est exigé comme essai de vérification d'état, un essai de tenue de tension à fréquence industrielle à sec, conformément à 7.2.7.2 ou 7.2.8.2 à la valeur suivante de tension à fréquence industrielle, doit être effectué.

Pour le matériel de tension assignée ne dépassant pas 245 kV:

- 80 % des tensions de tenue de courte durée à fréquence industrielle assignées correspondantes.

Pour le matériel de tension assignée supérieure ou égale à 300 kV:

- 100 % pour les distances de sectionnement ou 80 % pour les autres situations d'essai des tensions de tenue de courte durée à fréquence industrielle assignées correspondantes.

NOTE La réduction de la tension d'essai est justifiée par la marge de coordination d'isolement incluse dans les tensions de tenue assignées qui tient compte du vieillissement du matériel, de son usure et autres détériorations normales, et par la nature statistique des tensions d'amorçage.

7.3 Essai de tension de perturbation radioélectrique

Cet essai concerne seulement l'appareillage de tension assignée supérieure ou égale à 245 kV, lorsque cela est spécifié dans la norme de produit correspondante. L'essai de tension de perturbation radioélectrique est considéré comme un essai d'émission CEM et est traité en 7.9.1.

NOTE L'expérience en conditions de service montre que les effets des perturbations radioélectriques sont négligeables en dessous de 245 kV.

7.4 Mesurage de la résistance

7.4.1 Mesurage de la résistance des contacts auxiliaires de classes 1 et 2

Un échantillon de chaque type de contacts auxiliaires de classes 1 et 2 doit être inséré dans un circuit de charge résistif traversé par un courant de (10 ± 2) mA lorsqu'il est alimenté par une tension continue de 6 V en circuit ouvert avec une tolérance relative de $\begin{smallmatrix} 0 \\ -15 \end{smallmatrix}$ % et la résistance mesurée conformément à l'IEC 60512-2-2.

La résistance des contacts auxiliaires de classes 1 et 2 en position fermée ne doit pas dépasser 50 Ω dans ces conditions de mesure.

NOTE Les matériaux des contacts peuvent être sujets à une oxydation qui diminue leur conductivité. Il en résulte une augmentation de la résistance de contact, voire une absence de conduction en cas de tension très basse, ce phénomène disparaissant lorsque la tension est plus élevée. Cet essai a pour but de vérifier la performance des contacts dans ces conditions de tension faible. Le critère d'évaluation tient compte de la non-linéarité de la résistance. La valeur de 50 Ω résulte d'une étude statistique et a déjà été prise en compte par les utilisateurs.

7.4.2 Mesurage de la résistance des contacts auxiliaires de classe 3

Un échantillon des contacts auxiliaires de classe 3 doit être inséré dans un circuit de charge résistif traversé par un courant inférieur ou égal à 10 mA lorsqu'il est alimenté par une tension continue inférieure ou égale à 30 mV en circuit ouvert et la résistance mesurée conformément à 4.12 de l'IEC 61810-7:2006.

La résistance des contacts auxiliaires de classe 3 en position fermée ne doit pas dépasser 1 Ω .

7.4.3 Essai de continuité électrique des parties métalliques reliées à la terre

En général, une inspection visuelle suffit pour vérifier la conformité aux exigences de 6.3.

Cependant en variante, les composants et enveloppes métalliques qui peuvent être touchés dans les conditions normales de fonctionnement et qui sont destinés à être reliés à la terre peuvent être soumis à l'essai sous 30 A (courant continu) vers le point de mise à la terre. La chute de tension doit être inférieure à 3 V.

NOTE Il peut être nécessaire de retirer localement le revêtement de surface aux points de mesure.

7.4.4 Mesurage de la résistance des contacts et des connexions dans le circuit principal sous forme de vérification d'état

7.4.4.1 Procédure d'essai de mesure de la résistance

Lorsque des mesurages de la résistance sont requis à titre de vérification d'état après un essai spécifique, la procédure suivante doit être appliquée.

La résistance entre les contacts ou les connexions en cours de vérification doit être mesurée avant l'essai. Les points de mesure doivent être les points accessibles les plus proches situés de part et d'autre des contacts ou des connexions en question. Une valeur moyenne de la résistance doit être calculée à partir de trois mesurages. Si l'objet d'essai comporte des appareils de connexion, un cycle de manœuvre à vide d'ouverture / fermeture doit être effectué sur chaque appareil entre chacun des mesurages. Si l'objet d'essai comporte des éléments amovibles, un cycle de dépose / repose doit être effectué entre chacun des mesurages.

Les mesurages doivent être effectués en courant continu, avec une valeur égale au plein courant permanent assigné (–20 % à 0 %) s'il est inférieur ou égal à 50 A, ou avec une valeur quelconque convenable de courant comprise entre 50 A (y inclus) et le courant permanent assigné s'il est supérieur à 50 A.

NOTE Dans certaines conceptions, il peut être seulement réalisable que plusieurs connexions et/ou contacts soient mesurés en série dans le circuit principal ou même les pôles complets d'un dispositif soient mesurés au cours des essais de type.

À l'issue de l'essai, la résistance doit être mesurée à nouveau en utilisant une procédure identique à celle utilisée pour les mesurages de résistance effectués avant les essais. Avant d'effectuer ce mesurage de la résistance, il est admis de procéder à une certaine mise en condition des contacts sur la base des recommandations du constructeur telles que des cycles de manœuvre à vide ou l'application du courant permanent assigné pendant un certain temps.

Les mesurages de la résistance avant et après l'essai doivent être effectués à la température ambiante avec une différence maximale de 10 K entre eux. L'augmentation de la résistance se calcule par la différence entre la valeur moyenne des mesurages avant et après l'essai.

7.4.4.2 Essais d'établissement et de coupure

Concernant les essais d'établissement et de coupure d'un appareil de connexion, la vérification de l'état de résistance de l'échantillon d'essai à la fin de l'essai est jugée satisfaisante si l'augmentation de la résistance de chaque phase déterminée en 7.4.4.1 n'est pas supérieure à 100 %.

NOTE Le critère d'acceptation de l'augmentation de 100 % de la résistance à titre de vérification d'état après l'essai d'établissement et de coupure est une valeur par défaut pour le présent document. Le critère peut ne pas être adapté à toutes les conceptions d'appareillage (les conceptions avec des arcs parallèles et des circuits principaux, par exemple). Dans ces cas, les normes de produits correspondantes fournissent leurs propres méthodes ou critères de vérification d'état.

7.4.4.3 Autres essais

Pour les essais autres que les essais d'établissement et de coupure, la vérification d'état par mesure de résistance de l'objet d'essai à l'issue de l'essai est jugée satisfaisante si l'augmentation de la résistance pour chaque phase déterminée en 7.4.4.1 est inférieure à

20 %. Si la résistance dépasse 20 %, un essai au courant permanent (voir 7.5) est alors effectué pour déterminer si l'objet d'essai peut supporter son courant permanent assigné.

NOTE Le critère d'acceptation de l'augmentation de la résistance de 20 % à titre de vérification d'état après l'essai est une valeur par défaut pour le présent document. Le critère peut ne pas être adapté à toutes les conceptions d'appareillage. Il convient dans ce cas que les normes de produits correspondantes fournissent leurs propres méthodes ou critères de vérification d'état.

7.5 Essais au courant permanent

7.5.1 État de l'objet d'essai

L'essai au courant permanent des circuits principaux doit être effectué sur un objet d'essai si applicable muni de contacts propres et rempli de liquide ou de gaz approprié à la pression (ou masse volumique) minimale de fonctionnement pour l'isolement préalablement à l'essai.

7.5.2 Disposition de l'appareil

L'essai doit être effectué à l'intérieur, dans un environnement pratiquement exempt de courants d'air, exception faite de ceux provoqués par l'échauffement de l'objet d'essai. En pratique, cette condition est obtenue lorsque la vitesse de déplacement de l'air ne dépasse pas 0,5 m/s.

Pour les essais au courant permanent des parties autres que les équipements auxiliaires, l'objet d'essai et ses accessoires doivent être montés comme en service, en ce qui concerne les points importants, avec tous les capots normalement prévus pour les différentes parties de l'objet d'essai (y compris tout capot supplémentaire pour les essais, par exemple l'ajout de capots sur une extension de jeu de barres), et doivent être protégés contre des échauffements ou des refroidissements externes anormaux.

Lorsque, selon les instructions du constructeur, l'objet d'essai peut être installé dans différentes positions, les essais au courant permanent doivent être effectués dans la position la plus défavorable.

Ces essais doivent être, en principe, effectués sur des appareillages tripolaires, mais ils peuvent être effectués sur un seul pôle ou sur un seul élément si l'influence des autres pôles ou éléments est négligeable. C'est le cas général de l'appareillage ouvert au-dessus de 52 kV. Pour les appareillages tripolaires dont le courant permanent assigné ne dépasse pas 1 250 A, les essais peuvent être effectués avec tous les pôles raccordés en série.

Pour les objets d'essai particulièrement grands, pour lesquels l'isolation à la terre n'a pas d'influence appréciable sur l'échauffement, cette isolation peut être sensiblement réduite.

Pour les objets d'essai tripolaires, l'essai doit être effectué dans un circuit triphasé, à l'exception des cas mentionnés ci-dessus.

Lorsque des connexions provisoires au circuit principal sont utilisées, elles doivent être telles qu'il n'y a pas de différence significative entre la chaleur provenant de l'objet d'essai ou transmise à l'objet d'essai, par rapport aux connexions destinées à être utilisées en service (voir 7.5.4.2).

NOTE Afin de rendre l'essai au courant permanent plus reproductible, le type et/ou les dimensions des connexions provisoires peuvent être spécifiés dans les normes correspondantes.

7.5.3 Valeurs du courant d'essai et de sa durée

7.5.3.1 Essai sur le circuit principal

L'essai doit être effectué avec le courant permanent assigné (I_r) de l'appareillage. Le courant d'alimentation doit être pratiquement sinusoïdal.

Cette exigence est satisfaite lorsque la valeur efficace des harmoniques de courant ne dépasse pas 5 % de la valeur du courant fondamental. Sur la base de l'approbation du constructeur, une valeur des harmoniques supérieure à 5 % peut être admise.

L'objet d'essai doit être soumis à l'essai à la fréquence assignée avec une tolérance de $\begin{smallmatrix} +2 \\ -5 \end{smallmatrix}$ %. La fréquence d'essai doit être consignée dans le rapport d'essai.

Pour les appareillages ayant les deux fréquences assignées 50 Hz et 60 Hz sans composants ferromagnétiques proches des parties conductrices, l'essai peut être effectué à la fréquence de 50 Hz pour couvrir les deux fréquences, à condition que les valeurs d'échauffement enregistrées pendant les essais à 50 Hz ne dépassent pas 95 % des valeurs maximales admissibles. Les essais effectués à 60 Hz couvrent les deux fréquences.

L'essai doit être effectué pendant une période de temps suffisante pour que l'échauffement atteigne une valeur stable. Cette condition est considérée comme réalisée lorsque la variation de l'échauffement n'excède pas 1 K en 1 h. Ce critère est généralement atteint après une durée d'essai de cinq fois la constante de temps thermique de l'objet d'essai.

Le temps nécessaire pour l'essai complet peut être réduit par préchauffage du circuit avec un courant d'une valeur plus élevée, sous réserve que suffisamment de données soient enregistrées durant l'essai pour permettre le calcul de la constante de temps thermique.

7.5.3.2 Essai des équipements auxiliaires et de commande

L'essai est effectué avec la tension d'alimentation spécifiée (courant alternatif ou courant continu) et pour le courant alternatif à sa fréquence assignée (tolérance $\begin{smallmatrix} +2 \\ -5 \end{smallmatrix}$ %).

Les équipements auxiliaires doivent être soumis à l'essai à leur tension d'alimentation assignée (U_a) ou à leur courant permanent assigné. La tension d'alimentation en courant alternatif doit être pratiquement sinusoïdale.

Les bobines prévues pour un fonctionnement permanent doivent être soumises à l'essai pendant une période de temps suffisante pour que l'échauffement atteigne une valeur constante. En pratique, cette condition est obtenue lorsque la variation n'excède pas 1 K en 1 h.

Pour les circuits qui ne sont sous tension que pendant des manœuvres, les essais doivent être effectués dans les conditions suivantes.

- a) Lorsque le dispositif de manœuvre est équipé d'un dispositif automatique de coupure du circuit auxiliaire à la fin de la manœuvre, le circuit doit être mis sous tension 10 fois de suite pendant 1 s ou jusqu'à l'intervention du dispositif automatique de coupure, l'intervalle de temps entre chaque mise sous tension étant de 10 s ou, si la construction du dispositif de manœuvre ne le permet pas, le plus court intervalle possible.
- b) Lorsque le dispositif de manœuvre n'est pas équipé d'un dispositif automatique de coupure du circuit auxiliaire à la fin de la manœuvre, l'essai doit être effectué en mettant le circuit sous tension une seule fois pendant 15 s.

7.5.4 Mesurage de la température pendant l'essai

7.5.4.1 Température de l'air ambiant

La température de l'air ambiant est la température moyenne de l'air entourant l'objet d'essai (pour l'appareillage sous enveloppe, il s'agit de la température de l'air à l'extérieur de l'enveloppe). Elle doit être enregistrée au cours des essais, au moyen d'au moins trois thermomètres, thermocouples ou autres dispositifs de mesure de température disposés régulièrement autour de l'objet d'essai, à environ la hauteur moyenne des éléments traversés

par le courant, et à une distance d'environ 1 m de l'objet d'essai. Les thermomètres ou les thermocouples doivent être protégés contre les courants d'air et les influences anormales de la chaleur.

En vue d'éviter des erreurs d'indication du fait de variations rapides de température, les thermomètres ou les thermocouples peuvent être placés dans de petits récipients contenant environ 0,5 l d'huile.

Pendant le dernier quart de la période d'essai, la variation de la température de l'air ambiant ne doit pas dépasser 1 K en 1 h. Si cela n'est pas possible du fait des conditions de température défavorables du local d'essai, la température d'un appareillage identique placé dans les mêmes conditions, mais sans courant, peut être prise pour remplacer la température de l'air ambiant. Cet appareillage supplémentaire ne doit pas être soumis à une quantité de chaleur excessive.

La température de l'air ambiant pendant les essais doit être supérieure à 10 °C, mais ne doit pas dépasser 40 °C sans l'accord du constructeur. Aucune correction des échauffements observés ne doit être faite pour des températures de l'air ambiant comprises dans cette plage et même supérieures.

7.5.4.2 Température de l'objet d'essai

Des précautions doivent être prises pour réduire les variations et les erreurs dues au retard entre la température de l'objet d'essai et les variations de la température de l'air ambiant.

Pour les bobines, la méthode de mesure de l'échauffement par variation de résistance doit normalement être utilisée. D'autres méthodes ne sont autorisées que s'il est impossible d'utiliser la méthode par variation de résistance.

La température des différentes parties, autres que les bobines, pour lesquelles des limites sont spécifiées, doit être mesurée avec des thermomètres ou des thermocouples, ou d'autres dispositifs sensibles de type convenable, placés au point le plus chaud accessible.

La température à la surface d'un composant immergé dans un diélectrique liquide doit être mesurée uniquement avec des thermocouples fixés à la surface de ce composant. La température du diélectrique liquide lui-même doit être mesurée à la partie supérieure du diélectrique.

Pour les mesurages avec des thermomètres ou des thermocouples, les précautions suivantes doivent être prises:

- a) les réservoirs des thermomètres ou des thermocouples doivent être protégés contre le refroidissement venant de l'extérieur (laine sèche et propre, etc.). La surface protégée doit cependant être négligeable en comparaison avec la surface de refroidissement de l'appareil en essai;
- b) une bonne conductivité thermique entre le thermomètre ou le thermocouple et la surface de la partie en essai doit être assurée;
- c) lorsque des thermomètres à réservoir sont employés à des endroits où existent des champs magnétiques variables, il est recommandé d'employer des thermomètres à alcool de préférence aux thermomètres à mercure, ces derniers étant plus susceptibles d'être influencés dans ces conditions.

Un nombre suffisant de mesurages de température doit être réalisé au cours de l'essai, à des intervalles de temps d'au plus 30 min, et ces mesurages doivent être consignés dans le rapport d'essai, afin de calculer la constante de temps thermique.

Les températures aux bornes du circuit principal et aux connexions provisoires à une distance de 1 m des bornes, doivent être mesurées. La différence des échauffements ne doit pas dépasser 5 K.

Cependant, lorsque l'échauffement des connexions provisoires à 1 m de la borne du circuit principal dépasse de plus de 5 K l'échauffement de la borne, l'essai peut être considéré comme valide si toutes les conditions de réussite de l'essai définies en 7.5.6 sont satisfaites.

7.5.5 Résistance du circuit principal

Le mesurage de la résistance du circuit principal doit être effectué avant l'essai au courant permanent, avec l'objet d'essai à la température de l'air ambiant conformément à la procédure de mesure définie en 7.4.4.

La résistance est mesurée avant les essais au courant permanent pour comparer l'appareillage soumis à l'essai de type au courant permanent avec tous les autres appareillages du même type soumis aux essais individuels de série (voir l'Article 8).

7.5.6 Conditions de réussite des essais

7.5.6.1 Généralités

L'objet d'essai a réussi l'essai si l'échauffement des parties de l'objet d'essai, pour lesquelles des limites sont spécifiées, n'a pas dépassé les valeurs spécifiées dans le Tableau 14.

Si l'isolation d'une bobine est constituée de plusieurs matériaux isolants différents, l'échauffement admissible de cette bobine doit correspondre au matériau isolant ayant la plus basse limite d'échauffement.

Si l'objet d'essai est muni de différents équipements répondant à des normes particulières (par exemple, redresseurs, moteurs, interrupteurs à basse tension, etc.), l'échauffement de tels équipements ne doit pas dépasser les limites spécifiées dans les normes correspondantes.

Tableau 14 – Limites de température et d'échauffement pour les différents organes, matériaux et diélectriques de l'appareillage à haute tension

Nature de l'organe, du matériau et du diélectrique (Voir points 1, 2 et 3 de 7.5.6.2) (voir NOTE 1)	Valeur maximale	
	Température °C	Échauffement à une température de l'air ambiant ne dépassant pas 40 °C (NOTE 2) K
1 Contacts (voir point 4) Cuivre et alliage de cuivre nu – dans les gaz oxydants (OG) (voir point 5) – dans les gaz non oxydants (NOG) (voir point 5) – dans l'huile Argentés ou nickelés (voir point 6) – dans les OG (voir point 5) – dans les NOG (voir point 5) – dans l'huile Étamés (voir point 6) – dans les OG (voir point 5) – dans les NOG (voir point 5) – dans l'huile	 75 115 80 115 115 90 90 90 90	 35 75 40 75 75 50 50 50 50
2 Raccords par boulons ou dispositifs équivalents (voir point 4) Cuivre nu, alliage de cuivre nu ou alliage d'aluminium – dans les OG (voir point 5) – dans les NOG (voir point 5) – dans l'huile Argentés ou nickelés (voir point 6) – dans les OG (voir point 5) – dans les NOG (voir point 5) – dans l'huile Étamés – dans les OG (voir point 5) – dans les NOG (voir point 5) – dans l'huile	 100 115 100 115 115 100 105 105 100	 60 75 60 75 75 60 65 65 60
3 Tous les autres contacts ou raccords constitués d'autres métaux nus ou protégés par d'autres revêtements	(Voir point 7)	(Voir point 7)
4 Bornes pour le raccordement à des conducteurs extérieurs au moyen de vis ou de boulons (voir points 8 et 14) – nus – argentés ou nickelés – étamés – protégés par d'autres revêtements	 100 115 105 (Voir point 7)	 60 75 65 (Voir point 7)
5 Huile pour appareils de connexion dans l'huile (voir points 9 et 10)	90	50
6 Pièces métalliques jouant le rôle de ressorts	(Voir point 11)	(Voir point 11)

Nature de l'organe, du matériau et du diélectrique (Voir points 1, 2 et 3 de 7.5.6.2) (voir NOTE 1)	Valeur maximale	
	Température °C	Échauffement à une température de l'air ambiant ne dépassant pas 40 °C (NOTE 2) K
7 Matériaux utilisés comme isolant et pièces métalliques en contact avec des isolants des classes suivantes (voir point 12) – Y 90 50 – A 105 65 – E 120 80 – B 130 90 – F 155 115 – Émail: à base d'huile 100 60 - synthétique 120 80 – H 180 140 – C autre matériau isolant (Voir point 13) (Voir point 13)		
8 Toute pièce métallique ou en matériau isolant en contact avec l'huile, à l'exception des contacts	100	60
9 Surfaces accessibles Surfaces de composants de commande manuelle pouvant être touchées en service normal: – Métalliques non revêtues 55 15 – Métalliques revêtues 55 15 – Non métalliques 65 25 Autres surfaces pouvant être touchées en service normal, mais non prévues pour être tenues dans la main de façon continue: – Métalliques non revêtues 65 25 – Métalliques revêtues 70 30 – Non métalliques 80 40 Surfaces ne pouvant être touchées en service normal: – Métalliques non revêtues 80 40 – Métalliques revêtues 80 40 – Non métalliques 90 50	(Voir point 15)	(Voir point 15)
NOTE 1 Les points indiqués dans ce tableau sont ceux spécifiés en 7.5.6.2. NOTE 2 Pour les appareillages à conditions spéciales de service, comprenant une température maximale différente de 40 °C, les valeurs maximales de température s'appliquent et les valeurs maximales d'échauffement sont calculées en conséquence.		

7.5.6.2 Points particuliers du Tableau 14

Le Tableau 14 se réfère aux points suivants qui le complètent.

Point 1 Suivant sa fonction, le même organe peut appartenir à plusieurs des catégories énumérées au Tableau 14.

Dans ce cas, les valeurs maximales admissibles de la température et de l'échauffement à prendre en considération sont les plus faibles dans les catégories concernées.

- Point 2** Pour les appareils de connexion dans le vide, les valeurs limites de température et d'échauffement ne s'appliquent pas aux organes dans le vide. Les autres organes ne doivent pas dépasser les valeurs de température et d'échauffement indiquées au Tableau 14.
- Point 3** Toutes les précautions nécessaires doivent être prises pour qu'aucun dommage ne soit causé aux matériaux isolants environnants.
- Point 4** Lorsque des pièces adjacentes ont des revêtements différents, ou si l'une d'elles est en matériau nu, les températures et échauffements admissibles doivent être:
- a) pour les contacts, les valeurs les plus basses pour les matériaux de surface permises dans le point 1 du Tableau 14;
 - b) pour les raccords, les valeurs les plus hautes pour les matériaux de surface permises dans le point 2 du Tableau 14.
- Point 5** Pour les besoins du présent document, les gaz non oxydants (NOG, *Not Oxidizing Gases*) sont des gaz non réactifs considérés comme non accélérateurs du vieillissement des contacts sous l'effet de la corrosion ou de l'oxydation, en raison de leurs caractéristiques chimiques et de leurs performances opérationnelles établies.

Les gaz SF₆, N₂, CO₂ et CF₄ sont des NOG reconnus. Ils peuvent être utilisés à l'état pur ou sous forme de mélange avec d'autres NOG.

Pour les besoins du présent document, les gaz oxydants (OG, *Oxidizing Gases*) sont des gaz réactifs qui peuvent accélérer le vieillissement des contacts soit par des phénomènes de corrosion (dus à la présence de l'humidité) soit par des phénomènes d'oxydation (pour la plupart dus aux agents de l'air ambiant tels que l'oxygène). Les gaz classés OG sont l'air ambiant, l'air sec, tout gaz non classé NOG et tout mélange contenant en partie de l'OG.

NOTE Certains gaz considérés comme des OG dans la classification ci-dessus pourraient être reclassés en NOG, dans une future révision de la présente norme.

Voir l'IEC TR 60943 [2] pour la description des phénomènes de corrosion et d'oxydation ci-dessus mentionnés.

Compte tenu de l'absence de corrosion et d'oxydation dans les NOG l'harmonisation des limites de températures acceptables pour différentes pièces de contacts et de connexions dans l'appareillage isolé au gaz semble opportune.

Les limites de températures admissibles pour les pièces en cuivre nu et en alliage de cuivre nu sont égales à celles des pièces argentées ou nickelées dans une atmosphère de NOG.

Dans le cas particulier des pièces étamées, une augmentation des températures admissibles n'est pas possible, même dans une atmosphère de NOG sans corrosion ni oxydation, à cause de l'effet de corrosion par microfrottement. Par conséquent, les valeurs relatives aux pièces étamées sont plus basses.

- Point 6** La qualité de revêtement doit être telle qu'une couche continue de protection subsiste dans la zone de contact:
- a) après les essais d'établissement et de coupure (s'ils existent);
 - b) après l'essai au courant de courte durée admissible;
 - c) après l'essai d'endurance mécanique;

selon la norme applicable à chaque matériel. Dans le cas contraire, les contacts doivent être considérés comme "nus".

- Point 7** Lorsque d'autres matériaux que ceux indiqués au Tableau 14 sont utilisés, leurs propriétés doivent être prises en considération, notamment pour déterminer les valeurs maximales admissibles pour les échauffements.
- Point 8** Les valeurs de température et d'échauffement sont valables même si le conducteur relié aux bornes est ouvert.
- Point 9** La température doit être mesurée au niveau de la partie supérieure de l'huile.
- Point 10** Il convient de prêter une attention particulière aux questions de vaporisation et d'oxydation lorsqu'une huile de faible point d'éclair est utilisée.
- Point 11** La température ne doit pas atteindre une valeur telle que l'élasticité du matériau soit diminuée.
- Point 12** Les classes de matériaux isolants sont celles indiquées dans l'IEC 60085.
- Point 13** La température est limitée seulement par l'exigence de ne pas endommager les parties environnantes.
- Point 14** Ces valeurs ne tiennent compte d'aucune influence sur l'isolation des câbles ou des extrémités de câbles.
- Point 15** Pour de plus amples informations relatives aux limites de températures pour les surfaces chaudes pouvant être touchées, voir Guide IEC 117 [3].

7.6 Essais au courant de courte durée admissible et à la valeur de crête du courant admissible

7.6.1 Généralités

Les essais s'appliquent aux circuits principaux et, s'il y a lieu, aux circuits de mise à la terre de l'objet d'essai, pour vérifier leur aptitude à supporter leur valeur de crête du courant admissible et leur courant de courte durée admissible assignés pendant leur durée de court-circuit assignée.

L'essai doit être effectué sous une alimentation à toute tension convenable et à la fréquence assignée avec une tolérance de $\pm 10 \%$, à l'exception de ce qui est prévu en 7.6.3.

Pour les fréquences assignées de 50 Hz et 60 Hz, les essais peuvent être effectués à l'une ou l'autre des fréquences, à condition que la valeur de crête du courant admissible assignée soit établie.

L'essai peut être effectué à toute température ambiante pratique.

7.6.2 Disposition de l'appareil et du circuit d'essai

L'objet d'essai doit être monté sur son (ses) propre(s) support(s) ou sur un (des) support(s) équivalents et équipé de son (ses) propre(s) dispositif(s) de manœuvre, pour autant que cela soit nécessaire à la représentativité de l'essai, en vue de vérifier les effets mécaniques et thermiques des courants d'essai. Il doit être en position de fermeture, le cas échéant.

Chaque essai doit être précédé d'une manœuvre d'ouverture à vide des appareils mécaniques de connexion (s'il en existe) et, à l'exception des sectionneurs de terre, du

mesurage de la résistance du circuit principal conformément à 7.4.4. La manœuvre d'ouverture à vide doit être effectuée à la valeur assignée de la tension d'alimentation dans le cas des appareils à fonctionnement électrique et la force/le couple doivent être mesurés pour les appareils à manœuvre dépendante manuelle.

L'essai peut être effectué en triphasé ou en monophasé. Dans le cas d'un essai monophasé, les dispositions suivantes doivent être applicables.

- Sur un objet d'essai tripolaire, l'essai doit être effectué sur deux pôles adjacents en série.
- Dans le cas d'un objet d'essai à pôles séparés, l'essai peut être effectué soit sur deux pôles adjacents, soit sur un seul pôle, le conducteur de retour étant alors placé à une distance de phase égale à la distance d'un pôle adjacent en service. Si la distance entre pôles n'est pas fixée par conception, l'essai doit être effectué à la distance minimale indiquée par le constructeur.
- Pour une tension assignée supérieure à 52 kV, et sauf spécification contraire dans les normes particulières, la position du conducteur de retour n'est pas à prendre en compte, mais en aucun cas il ne doit être placé à une distance du pôle en essai inférieure à la distance minimale indiquée par le constructeur pour les centres de phases.

La distance entre les bornes et les premiers supports des conducteurs ou les premiers points de bridage de câbles de chaque côté de l'objet d'essai doit être conforme aux indications du constructeur.

La disposition d'essai doit être consignée dans le rapport d'essai.

7.6.3 Valeurs du courant d'essai et de sa durée

La composante alternative du courant d'essai doit être égale à la composante alternative du courant de courte durée admissible assigné (I_k) de l'appareillage avec les tolérances et les variantes données ci-dessous. La valeur de crête du courant (pour un circuit triphasé, la valeur la plus élevée dans l'une des phases extrêmes) ne doit pas être inférieure à la valeur de crête du courant admissible assignée (I_p) et elle ne doit pas la dépasser de plus de 5 % sans l'accord du constructeur.

Pour les essais triphasés, la composante alternative du courant d'essai dans une phase quelconque ne doit pas s'écarter de plus de 10 % de la moyenne des courants dans les trois phases. La moyenne des valeurs efficaces des composantes alternatives des courants d'essai ne doit pas être inférieure à la valeur assignée.

L'une quelconque des deux méthodes peut être utilisée:

Méthode 1: le courant d'essai I_t doit être appliqué pendant une durée t_t égale à la durée de court-circuit assignée t_k avec une tolérance de la composante alternative de $^{+5}_0$ %.

Méthode 2: la valeur de l'intégrale de Joule $\int I^2 dt$ de la composante alternative au cours de l'essai ne doit pas être inférieure à la valeur de $I_k^2 \times t_k$ calculée avec les valeurs assignées du courant de courte durée (I_k) et de sa durée (t_k), et elle ne doit pas dépasser cette valeur de plus de 10 % sans l'accord du constructeur (voir l'Annexe B informative).

Les dérogations suivantes sont admises:

- a) si la décroissance du court-circuit du laboratoire d'essai est telle que la valeur efficace spécifiée ne peut être obtenue pendant la durée assignée sans appliquer initialement un courant trop élevé, il est admis que la valeur efficace du courant d'essai puisse tomber, pendant l'essai, au-dessous de la valeur spécifiée, et que la durée de l'essai soit

augmentée en conséquence, pourvu que la valeur de crête du courant ne soit pas inférieure à celle spécifiée et que la durée ne dépasse pas 5 s;

- b) si, afin d'obtenir la crête de courant exigée, la valeur efficace du courant est augmentée au-dessus de la valeur spécifiée, la durée de l'essai peut être réduite en conséquence;
- c) il est admis de séparer l'essai à la valeur de crête du courant admissible de l'essai au courant de courte durée admissible:
 - pour l'essai à la valeur de crête du courant admissible, la durée d'application du courant de court-circuit ne doit pas être inférieure à 0,3 s;
 - pour l'essai au courant de courte durée admissible, la durée d'application du courant de court-circuit doit être égale à la durée assignée. Toutefois, une dérogation sur la durée est admise selon les indications du point a).

Pour les appareils de connexion, l'objet d'essai doit être maintenu en position de fermeture entre les essais;

- d) si les caractéristiques du laboratoire d'essai sont telles que la fréquence du courant d'essai ne peut être maintenue dans les limites de sa tolérance spécifiée pendant la durée spécifiée, la fréquence au début de l'essai doit être comprise dans les limites de la tolérance spécifiée et il est permis qu'elle diminue jusqu'à 80 % de la fréquence spécifiée.

7.6.4 État de l'objet d'essai après l'essai

Après l'essai, l'objet d'essai ne doit pas présenter de détérioration notable; il doit pouvoir fonctionner normalement et supporter son courant permanent assigné.

Si l'appareil mécanique de connexion a un pouvoir de fermeture et/ou de coupure assigné, l'état des contacts doit être tel qu'il n'affecte pas sensiblement le fonctionnement à toute valeur de pouvoir de fermeture et/ou de coupure jusqu'aux valeurs assignées.

Les étapes suivantes sont appliquées pour vérifier la satisfaction à ces exigences.

- a) une manœuvre à vide d'ouverture de l'appareil mécanique de connexion doit être effectuée dans les mêmes conditions que celles indiquées en 7.6.2 aussitôt après l'essai, et les contacts doivent s'ouvrir dès la première tentative;
- b) une inspection visuelle de l'objet d'essai et des contacts doit être effectuée (si elle n'est pas préjudiciable);
- c) une vérification de la variation de la résistance du circuit principal, sauf pour les sectionneurs de terre, doit être effectuée selon 7.4.4.

7.7 Vérification de la protection

7.7.1 Vérification de la codification IP

Selon les exigences spécifiées aux Articles 11, 12, 13 et 15 de l'IEC 60529:1989, de l'IEC 60529:1989/AMD1:1999 et de l'IEC 60529:1989/AMD2:2013, des essais doivent être effectués sur les enveloppes de l'appareillage complètement assemblé comme en service, afin de vérifier les performances exigées en 6.14. Comme les raccordements de câble pénétrant dans l'enveloppe ne sont pas normalement faits pour les essais de type, des pièces d'obturation correspondantes doivent être utilisées. Les unités de transport d'appareillage doivent être fermées pour les essais par des couvercles donnant une qualité de protection identique à celle des joints.

Cependant, les essais ne doivent être effectués que s'il y a un doute au sujet de la conformité à ces exigences; ils doivent être effectués dans chaque position des parties concernées selon ce qui est estimé nécessaire.

Lorsque la lettre supplémentaire W est utilisée, la méthode d'essai spécifiée à l'Annexe C (normative) doit être appliquée.

7.7.2 Vérification de la codification IK

Les exigences spécifiées en 6.14.4 doivent être vérifiées selon l'IEC 62262:2002; des essais doivent être effectués sur les enveloppes de l'appareillage complètement assemblé comme en service.

Après l'essai, l'enveloppe ne doit présenter aucune cassure et sa déformation ne doit pas gêner le fonctionnement normal du matériel, ni réduire les distances d'isolement et/ou les lignes de fuite, ni réduire le degré de protection spécifié contre l'accès aux parties dangereuses au-dessous des valeurs permises. Les détériorations superficielles telles que l'enlèvement de la peinture, le bris de nervures de refroidissement ou de parties similaires, ou des enfoncements de petites dimensions peuvent être négligés.

Cependant, les essais ne doivent être effectués que s'il y a un doute au sujet de la conformité à ces exigences; ils doivent être effectués dans chaque position des parties concernées selon ce qui est estimé nécessaire.

Les équipements auxiliaires tels que les appareils de mesure, les relais, etc., qui peuvent faire partie de l'enveloppe, sont exemptés d'impacts dans cet essai.

7.8 Essais d'étanchéité

7.8.1 Généralités

L'objet des essais d'étanchéité est de démontrer que le taux de fuite absolu F n'excède pas la valeur spécifiée du taux de fuite admissible F_p à la température ambiante normalisée de 20 °C. Une température ambiante comprise dans la plage de 15 °C à 30 °C représente la condition d'essai acceptable.

Si des essais d'étanchéité aux limites de température de la condition de service sont exigés dans les normes de produits correspondantes, un accroissement du taux de fuite est admissible. Le taux de fuite accru temporairement ne doit pas excéder les valeurs indiquées dans le Tableau 15.

L'essai d'étanchéité doit être effectué avec le même fluide et sous la même pression (masse volumique) que celle utilisée en service. Si le fluide lui-même n'est pas traçable, des fluides traçables supplémentaires peuvent être ajoutés, par exemple l'hélium. La méthode d'essai de fuite doit avoir une sensibilité suffisante; il est fait référence à l'IEC TR 62271-306 [4].

Dans la mesure du possible, il convient d'effectuer les essais sur un système complet. Quand cela n'est pas pratique, les essais peuvent être effectués sur des pièces, composants ou sous-ensembles. Dans ces conditions, le taux de fuite du système complet doit être déterminé par addition des taux de fuite des composants en utilisant le tableau de coordination d'étanchéité TC (voir l'IEC TR 62271-306 [4]). Les fuites éventuelles entre sous-ensembles à différentes pressions doivent également être prises en compte.

L'essai d'étanchéité de l'appareillage contenant un appareil mécanique de connexion doit être effectué dans les positions de fermeture et d'ouverture de l'appareil, sauf si le taux de fuite est indépendant de la position des contacts principaux.

Le mesurage des fuites par accumulation, lequel englobe toutes les fuites d'un ensemble pour déterminer son taux de fuite, doit être utilisé pour le calcul des taux de fuite.

Il convient que le rapport d'essai de type comprenne des informations telles que:

- une description de l'objet en essai, comprenant son volume interne et la nature du gaz ou du liquide de remplissage;
- si l'objet en essai est dans la position de fermeture ou d'ouverture (s'il y a lieu);

- les températures et pressions enregistrées au début et à la fin de l'essai, ainsi que le nombre de compléments de remplissage (si nécessaire);
- la valeur de la température ambiante pendant l'essai;
- les réglages de fonctionnement du dispositif de commande ou de surveillance de la pression (ou de la masse volumique) à pression croissante et décroissante;
- une indication de l'étalonnage des appareils de mesure utilisés pour détecter les taux de fuite;
- les résultats des mesures;
- le gaz d'essai et, s'il y a lieu, le facteur de conversion pour évaluer les résultats.

En général, il est fait référence à l'IEC 60068-2-17:1994 [31] pour l'application d'une méthode d'essai adéquate.

Tableau 15 – Taux de fuite admissibles pour les systèmes à gaz

Température °C	Taux de fuite admissible
Température maximale de service (≥ 40 °C)	$3F_p$
Température ambiante normalisée (20 °C)	F_p
Température minimale de service (toute valeur jusqu'à -40 °C compris)	$3F_p$
Température minimale de service (toute valeur en dessous de -40 °C)	$6F_p$

7.8.2 Systèmes à pression entretenue de gaz

La méthode préférentielle de vérification du taux de fuite relatif F_{rel} consiste à mesurer la baisse de pression Δp pendant une durée t suffisamment longue pour en permettre la détermination (dans la plage de pression de remplissage et de complément de remplissage). Une correction doit être effectuée pour tenir compte de la variation de la température de l'air ambiant pendant le déroulement de l'essai. Pendant cette durée, le dispositif de remplissage doit être hors service.

$$F_{\text{rel}} = \frac{\Delta p}{p_r} \times \frac{24}{t} \times 100 \text{ (\% par jour)}$$

$$N = \frac{\Delta p}{p_r - p_m} \times \frac{24}{t}$$

où

t est la durée de l'essai (h);

p_r est la pression de remplissage (Pa);

p_m est la pression mesurée après la durée t (Pa);

Δp est la baisse de pression entre p_r et p_m après la durée t (Pa);

N est le nombre de compléments de remplissage par jour.

NOTE La linéarité des formules est considérée comme maintenue à condition que Δp soit du même ordre de grandeur que $p_r - p_m$.

7.8.3 Systèmes à pression autonome de gaz

La méthode d'essai Q_m (Méthode d'essai 1: essai par accumulation) décrite dans l'IEC 60068-2-17:1994 est la méthode préférentielle pour déterminer le taux de fuite relatif

F_{rel} dans les systèmes à gaz et calculer l'intervalle de temps entre les compléments de remplissage t_r . Des informations détaillées sur la procédure d'essai, la sensibilité de mesure et des exemples de calcul sont donnés dans l'IEC TR 62271-306 [4].

L'IEC TR 62271-306 [4] spécifie également d'autres méthodes de détection de fuites qui peuvent être employées pour mesurer le taux de fuite, qui permet, avec le tableau de coordination des étanchéités, de calculer:

- le taux de fuite relatif;
- l'intervalle entre compléments de remplissage (sans tenir compte des conditions extrêmes de température du nombre de manœuvres).

L'essai d'étanchéité est considéré comme réussi lorsque le taux de fuite mesuré n'excède pas le taux de fuite admissible indiqué dans le Tableau 15 dans les limites de +10 %. Cette imprécision du mesurage doit être prise en compte pour le calcul de la durée entre compléments de remplissage.

7.8.4 Systèmes à pression scellés

Les essais d'étanchéité sur les systèmes à pression scellés doivent être comme suit.

a) Appareillage à gaz

Les essais doivent être effectués selon la méthode préférentielle de 7.8.3.

b) Appareillage utilisant des ampoules à vide

Aucun essai d'étanchéité spécifique n'est exigé pour les ampoules à vide du fait que leur étanchéité est vérifiée durant la fabrication et parce qu'elles sont considérées comme ayant un taux de fuite nul pendant leur durée de vie. Néanmoins, à la place d'un essai d'étanchéité, l'intégrité du vide a besoin d'être vérifiée lorsque les normes particulières demandent un essai d'étanchéité comme essai de vérification d'état (par exemple essai mécanique, essais aux températures basse et haute, etc.).

L'intégrité du vide peut être vérifiée par l'essai diélectrique de vérification d'état (se reporter à 7.2.12).

7.8.5 Essais d'étanchéité aux liquides

Le but des essais d'étanchéité est de démontrer que le taux de fuite total du système F_{liq} ne dépasse pas la valeur spécifiée $F_{p(liq)}$.

L'objet en essai doit être dans ses conditions de service, avec tous ses accessoires et son fluide normal, installé autant que possible comme en service.

Une augmentation du taux de fuite aux températures extrêmes (si ces essais sont exigés par les normes applicables) et/ou pendant les manœuvres est acceptable, pourvu que ce taux revienne à la valeur initiale lorsque la température revient à la température normale de l'air ambiant et/ou après avoir effectué les manœuvres. Le taux de fuite accru temporairement ne doit pas compromettre le bon fonctionnement de l'appareillage.

L'appareillage doit être observé pendant une durée suffisante pour déterminer une fuite éventuelle ou la baisse de pression Δp_{liq} . Les calculs indiqués en 7.8.2 sont alors valables.

En variante, il est possible d'utiliser pour l'essai des liquides différents de ceux qui sont utilisés en service ou du gaz, mais cela implique que le constructeur en fournisse la justification.

Le rapport d'essai doit comprendre les informations suivantes:

- une description générale de l'objet en essai;

- le nombre de manœuvres effectuées;
- la nature et la ou les pressions du liquide;
- la température de l'air ambiant pendant l'essai;
- les résultats d'essai avec l'appareil en position de fermeture et d'ouverture (s'il y a lieu).

7.9 Essais de compatibilité électromagnétique (CEM)

7.9.1 Essais d'émission

7.9.1.1 Essais d'émission provenant du circuit principal (essai de tension de perturbation radioélectrique)

Les essais de tension de perturbation radioélectrique concernent seulement l'appareillage de tension assignée supérieure ou égale à 245 kV, lorsqu'ils sont spécifiés dans la norme de produit correspondante.

L'objet d'essai doit être installé comme indiqué en 7.2.4.

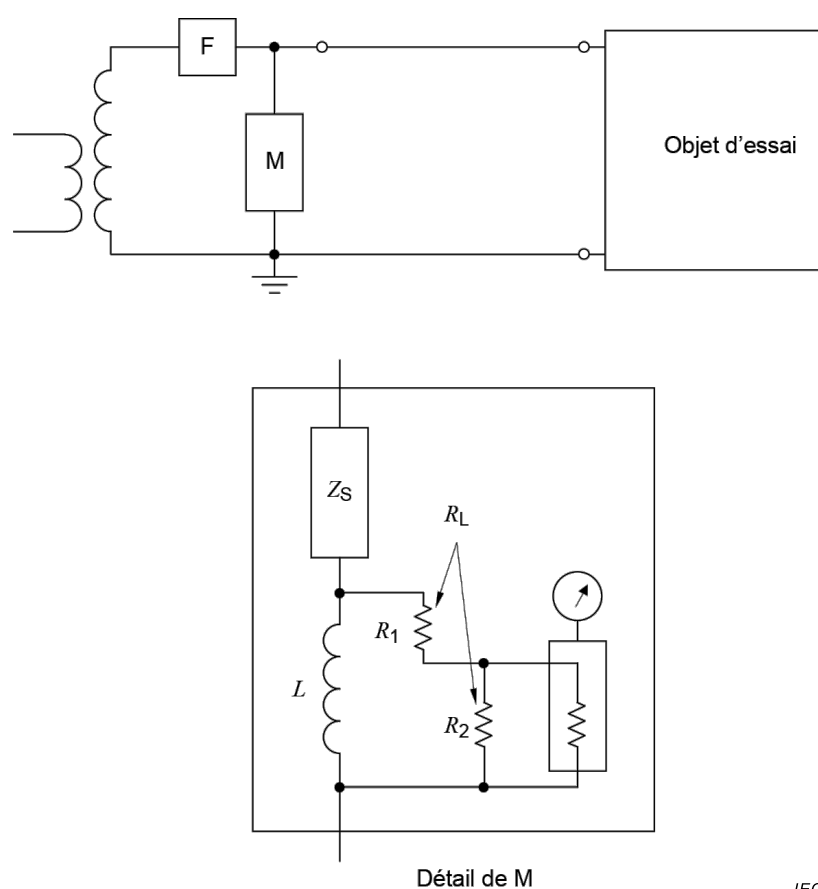
La tension d'essai doit être appliquée comme suit:

- a) en position de fermeture, entre les bornes et le châssis relié à la terre;
- b) en position d'ouverture, le cas échéant, entre une borne et les autres bornes connectées au châssis lui-même relié à la terre, puis avec les connexions inversées si l'appareil de connexion n'est pas symétrique.

L'armoire, la cuve, le châssis et les autres éléments normalement reliés à la terre doivent être connectés à la terre.

L'objet d'essai doit être sec et propre et sa température doit être approximativement celle de la salle dans laquelle l'essai est effectué. Au cours des essais, l'objet d'essai doit être équipé de tous les accessoires tels que condensateurs de répartition, anneaux pare-effluves, connecteurs haute tension, etc., qui peuvent influencer la tension de perturbation radioélectrique.

Le circuit de mesure (voir Figure 3) doit être conforme au CISPR TR 18-2. Le circuit de mesure doit être accordé de préférence pour une fréquence de 0,5 MHz à 10 % près, mais d'autres fréquences comprises entre 0,5 MHz et 2 MHz peuvent être utilisées, la fréquence de mesure étant enregistrée. Les résultats doivent être exprimés en μV .



Légende

- F Filtre
- R_L Résistance équivalente de R_1 en série avec la combinaison parallèle de R_2 et de la résistance équivalente du dispositif de mesure
- Z_S Peut être un condensateur ou un circuit composé d'un condensateur et d'une inductance en série
- L Inductance utilisée pour shunter les courants à fréquence industrielle et pour compenser les capacités parasites à la fréquence de mesure

Figure 3 – Schéma d'un circuit d'essai de tension de perturbation radioélectrique

Les impédances de mesure préférentielles sont celles spécifiées dans les publications du CISPR. Si des impédances de mesure différentes de celles spécifiées dans les publications du CISPR sont utilisées en lieu et place, ces impédances ne doivent pas être supérieures à 600 Ω ni inférieures à 30 Ω ; dans tous les cas, le déphasage ne doit pas dépasser 20°. La tension équivalente de perturbation radioélectrique pour 300 Ω peut être calculée en partant du principe que la tension mesurée est directement proportionnelle à la résistance, sauf pour les objets en essai de grande capacité, pour lesquels une correction effectuée suivant cette méthode peut être imprécise. Par conséquent, il est recommandé d'utiliser une résistance de 300 Ω pour l'appareillage comportant des traversées munies de brides mises à la terre (par exemple appareillages à cuve mise à la terre).

Le filtre F doit avoir une impédance élevée, à la fréquence de mesure, de telle sorte que l'impédance entre le conducteur à haute tension et la terre ne soit pas shuntée, telle que constatée de l'appareillage en essai.

NOTE Ce filtre réduit également les courants de fréquence radioélectrique qui circulent dans le circuit d'essai et qui sont produits par le transformateur à haute tension ou recueillis à partir de sources étrangères au circuit. Il est constaté que la valeur appropriée de cette impédance est comprise entre 10 000 Ω et 20 000 Ω à la fréquence de mesure.

Des moyens convenables doivent assurer que le niveau de fond des perturbations radioélectriques (niveau de perturbation radioélectrique dû au champ extérieur et au transformateur à haute tension lorsque son circuit magnétique est soumis à la pleine tension d'essai) est inférieur d'au moins 6 dB au niveau de perturbation radioélectrique spécifié pour l'objet d'essai. Les méthodes d'étalonnage des instruments de mesure et du circuit de mesure sont données, respectivement, dans la CISPR 16-1 (toutes les parties) [32] et le CISPR TR 18-2.

La méthode d'essai suivante doit être suivie.

Une tension de $1,1 \times U_r / \sqrt{3}$ doit être appliquée à l'objet d'essai et maintenue pendant au moins 5 min, U_r étant la tension assignée de l'appareillage.

L'essai est concluant si le niveau de perturbation radioélectrique ne dépasse pas 2 500 µV.

Étant donné que le niveau de perturbation radioélectrique peut être affecté par des fibres ou des poussières qui se déposent sur les isolateurs, il est permis d'essuyer les isolateurs avec un chiffon propre avant d'effectuer un mesurage. Les conditions atmosphériques pendant l'essai doivent être notées. Si la valeur mesurée de la tension de perturbation radioélectrique est au-dessus de la limite et l'humidité relative est supérieure à 80 %, l'essai ne permet pas de conclure et doit être répété avec une humidité relative inférieure à 80 %.

7.9.1.2 Essais d'émission provenant des circuits auxiliaires et de commande

Les circuits auxiliaires et de commande de l'appareillage doivent être soumis aux essais d'émissions électromagnétiques s'ils possèdent des matériels ou des composants électroniques. Dans les autres cas, aucun essai n'est exigé.

Pour les circuits auxiliaires et de commande de l'appareillage, les exigences et les essais relatifs à la CEM spécifiés dans le présent document prévalent sur les autres spécifications en matière de CEM.

L'essai doit être réalisé uniquement sur un circuit auxiliaire et de commande représentatif, car les composants simples sont soumis aux essais conformément à leurs normes applicables, le cas échéant.

Le matériel électronique, faisant partie des circuits auxiliaires et de commande, doit répondre aux exigences relatives aux émissions rayonnées, telles que définies dans la CISPR 11:2015 pour les équipements du groupe 1, classe A. Aucun autre essai n'est spécifié. Une distance de mesure de 10 m peut être utilisée, au lieu d'une distance de 30 m, en augmentant les valeurs limites de 10 dB.

7.9.2 Essais d'immunité sur les circuits auxiliaires et de commande

7.9.2.1 Généralités

Les circuits auxiliaires et de commande de l'appareillage doivent être soumis aux essais d'immunité électromagnétique s'ils possèdent des matériels ou des composants électroniques. Dans les autres cas, aucun essai n'est exigé.

Les essais doivent être réalisés sur un circuit auxiliaire et de commande typique. Les composants doivent satisfaire à leurs normes applicables, le cas échéant.

Les essais d'immunité suivants sont spécifiés:

- essais aux transitoires rapides en salves (voir 7.9.2.2). Cet essai simule les contraintes engendrées par les manœuvres dans le circuit auxiliaire et de commande;

- essais d'immunité aux ondes oscillatoires (voir 7.9.2.3). Cet essai simule les contraintes engendrées par les manœuvres dans le circuit principal.

NOTE D'autres essais d'immunité CEM existent, mais ne sont pas requis dans ce cas.

Les essais d'immunité électromagnétique doivent être réalisés sur des circuits auxiliaires et de commande complets ou des sous-ensembles complets. Les essais peuvent être réalisés sur

- les circuits auxiliaires et de commande complets;
- les sous-ensembles tels que les armoires centrales de commande, les armoires des mécanismes de commande, etc.;
- les sous-ensembles d'une armoire tels que les systèmes de mesure ou de surveillance.

Des essais individuels des sous-ensembles sont fortement recommandés dans les cas où d'importantes longueurs d'interconnexions sont nécessaires ou lorsque des tensions d'interférence importantes sont prévues entre les sous-ensembles. Les essais individuels sont obligatoires pour chaque sous-ensemble interchangeable.

La tension d'essai doit être appliquée à l'interface des circuits auxiliaires et de commande ou du sous-ensemble soumis à l'essai.

Le rapport d'essai de type doit désigner clairement le système ou sous-ensemble soumis à l'essai.

7.9.2.2 Essai aux transitoires électriques rapides en salves

Un essai aux transitoires électriques rapides en salves doit être effectué, conformément à l'IEC 61000-4-4, avec une fréquence de répétition de 5 kHz. Les accès et les interfaces doivent être choisis conformément à l'IEC 61000-6-2. La tension d'essai et le couplage doivent être choisis conformément au Tableau 16.

Tableau 16 – Application de tensions pour l'essai aux transitoires rapides en salves

Interface	Pertinence pour l'équipement	Tension d'essai kV	Couplage
Accès de puissance	Lignes électriques en courant alternatif et en courant continu	2	RCD
Accès par la borne de terre de l'armoire		2	RCD
Accès par les bornes de signaux	Lignes blindées et non blindées, transportant des signaux analogiques et/ou numériques lignes de commande lignes de communication (par exemple bus de données) lignes de mesure (par exemple TC, TP)	2	CCC ou méthodes de couplage équivalentes
Légende RCD: Réseau de couplage-découplage. CCC: Pince de couplage capacitif.			

7.9.2.3 Essai d'immunité aux ondes oscillatoires

Un essai d'immunité aux ondes oscillatoires doit être réalisé avec la forme et la durée de la tension d'essai, conformément à l'IEC 61000-4-18.

Les accès et les interfaces doivent être choisis conformément à l'IEC 61000-6-2.

Les essais d'onde oscillatoire amortie doivent être effectués à une fréquence de 100 kHz et 1 MHz, avec une tolérance relative de ± 30 %.

Les essais doivent être effectués en mode commun et en mode différentiel. La valeur de la tension d'essai et la méthode de couplage doivent être choisies, conformément au Tableau 17.

Tableau 17 – Application de tension pour l'essai aux ondes oscillatoires amorties

Interface	Pertinence pour l'équipement	Tension d'essai kV	Couplage
Accès de puissance	Lignes électriques en courant alternatif et en courant continu	Mode différentiel: 1,0 Mode commun: 2,5	RCD RCD
Accès par les bornes de signaux	Lignes blindées et non blindées, transportant des signaux analogiques et/ou numériques lignes de commande lignes de communication (par exemple bus de données) lignes de mesure (par exemple transformateur de courant, transformateur de tension)	Mode différentiel: 1,0 Mode commun: 2,5	RCD RCD Ou méthode de couplage équivalente
Légende RCD: Réseau de couplage-découplage.			

7.9.2.4 Comportement du système secondaire pendant et après les essais

Les circuits auxiliaires et de commande doivent supporter chacun des essais spécifiés en 7.9.2.2 et 7.9.2.3 sans dommage permanent. Après les essais, ils doivent encore être entièrement opérationnels. Des pertes temporaires d'une partie de la fonction sont permises selon le Tableau 18.

Tableau 18 – Critères d'évaluation pour l'immunité aux perturbations transitoires

Fonction	Critère
Protection, téléprotection	A
Alarme	B
Supervision	B
Commande et contrôle	A
Mesurage	B
Comptage	A
Traitement des données	
pour système de protection haute vitesse	A
pour utilisation générale	B
Informations	B
Stockage de données	A
Traitement	B
Surveillance	B
Interface homme-machine	B
Autodiagnostic	B
Les fonctions de traitement, de surveillance et d'autodiagnostic, qui sont connectées en ligne et font partie des circuits de commande et de contrôle, doivent être conformes au critère A.	
Légende A: Fonctionnement normal dans les limites spécifiées; B: Dégradation temporaire ou perte autorégénératrice de fonction ou de caractéristique.	

7.9.3 Essais de CEM complémentaires sur les circuits auxiliaires et de commande

7.9.3.1 Généralités

Le but des essais décrits ci-dessous est la qualification de l'ensemble sans répétition des essais individuels des composants. Par conséquent, il n'est pas nécessaire de répéter les essais sur les composants qui sont conformes aux normes IEC correspondantes et à leurs valeurs assignées.

7.9.3.2 Essai d'immunité à l'ondulation résiduelle sur entrée de puissance à courant continu

Cet essai doit être effectué conformément à l'IEC 61000-4-17:2009. Le niveau d'essai doit être le niveau 2 et la fréquence de l'ondulation résiduelle est égale à trois fois la fréquence assignée (f_r).

Le critère d'évaluation est: "fonctionnement normal dans les limites de la spécification" (critère A).

7.9.3.3 Essais d'immunité aux creux de tension, coupures brèves et variations de tension sur entrée de puissance

Les essais d'immunité aux creux de tension, coupures brèves et variations de tension sur les accès de puissance en courant alternatif doivent être réalisés conformément à l'IEC 61000-4-11 et, sur les accès de puissance en courant continu, conformément à l'IEC 61000-4-29.

Les critères d'acceptation applicables sont mentionnés en 6.4.1.

7.10 Essais complémentaires sur les circuits auxiliaires et de commande

7.10.1 Généralités

Il n'est pas nécessaire de répéter les essais sur les composants qui sont conformes aux normes IEC correspondantes et à leurs valeurs assignées.

7.10.2 Essais fonctionnels

Un essai fonctionnel de tous les circuits auxiliaires et de commande doit être effectué pour vérifier le bon fonctionnement des circuits auxiliaires et de commande en liaison avec les autres parties de l'appareillage. Les procédures d'essai dépendent de la nature et de la complexité des circuits auxiliaires et de commande de l'équipement. Ils doivent être exécutés en utilisant les valeurs limites supérieures et inférieures de la tension d'alimentation définies en 6.4.1.

Pour les circuits auxiliaires et de commande, sous-ensembles et composants, les essais de fonctionnement peuvent être omis s'ils ont déjà été entièrement réalisés lors d'un essai appliqué à l'appareillage complet ou réalisé dans des conditions appropriées.

7.10.3 Vérification des caractéristiques de fonctionnement des contacts auxiliaires

7.10.3.1 Généralités

Les contacts auxiliaires, qui sont des contacts insérés dans les circuits auxiliaires, doivent être soumis aux essais décrits ci-après, à moins qu'ils n'aient passé l'ensemble des essais de type comme unité fonctionnelle.

7.10.3.2 Courant permanent assigné des contacts auxiliaires

Cet essai vérifie la valeur du courant permanent assigné d'un contact auxiliaire préalablement fermé.

Le circuit doit être fermé et ouvert par un moyen indépendant du contact en essai. Les procédures d'essai sont décrites en 7.5.3.2. Le contact doit supporter le courant permanent assigné de sa classe selon le Tableau 8 sans dépasser l'échauffement spécifié au Tableau 14 relativement au matériau utilisé pour le contact et aux conditions de fonctionnement.

7.10.3.3 Courant de courte durée admissible assigné des contacts auxiliaires

Cet essai vérifie la valeur de courant qu'un contact auxiliaire préalablement fermé est capable de supporter durant une courte durée spécifiée.

Le circuit doit être fermé et ouvert par un moyen indépendant du contact en essai. Le contact doit supporter le courant de courte durée admissible assigné de sa classe selon le Tableau 8 pendant 30 ms, avec une charge résistive. La valeur du courant à atteindre doit être obtenue en 5 ms après l'injection du courant. La tolérance de l'amplitude du courant d'essai est $^{+5}_0$ %

et la tolérance de la durée du courant d'essai est $^{+10}_0$ %.

Cet essai doit être répété 20 fois en respectant des intervalles de 1 min entre chaque essai. La valeur de la résistance du contact doit être mesurée avant et après les essais à 50 % du courant permanent assigné indiqué dans le Tableau 8, avec les contacts à température ambiante pour les deux mesurages.

L'essai est concluant:

- si l'augmentation de la valeur de la résistance ne dépasse pas 20 %;
- ou, quand l'augmentation dépasse 20 %, si l'essai au courant permanent selon 7.5.3.2 est réalisé avec succès.

7.10.3.4 Pouvoir de coupure des contacts auxiliaires

Cet essai vérifie le pouvoir de coupure d'un contact auxiliaire.

Le circuit doit être fermé par un moyen indépendant du contact en essai. Le contact doit supporter pendant 5 s et couper le courant relatif à sa classe selon le Tableau 8, avec une charge inductive. La tolérance de la tension d'essai est $^{+10}_0$ % et la tolérance de l'amplitude du courant d'essai est $^{+5}_0$ %.

Pour toutes les classes, la constante de temps du circuit doit être de 20 ms avec une tolérance de $^{+20}_0$ %.

Cet essai doit être répété 20 fois en respectant des intervalles de 1 min entre chaque essai. La tension de rétablissement doit être maintenue pendant chaque intervalle de 1 min et pendant 300 ms $\pm$ 30 ms après la dernière manœuvre. La valeur de la résistance du contact doit être mesurée avant et après les essais à 50 % du courant permanent assigné indiqué dans le Tableau 8, avec les contacts à température ambiante pour les deux mesurages. La valeur de la résistance ne doit pas augmenter de plus de 20 %. Si l'augmentation dépasse 20 %, l'essai au courant permanent selon 7.5.3.2 doit être effectué.

7.10.4 Essais d'environnement

7.10.4.1 Généralités

Les éléments chauffants, s'il en existe, doivent être prêts à fonctionner, sauf indication contraire.

Les essais suivants sont des essais de type indépendants.

Les circuits auxiliaires et de commande doivent être alimentés et doivent rester en état de fonctionnement pendant et après les essais jusqu'à ce que les vérifications fonctionnelles soient terminées. À la fin de la durée d'essai, sauf pour l'essai de comportement aux vibrations, les circuits auxiliaires et de commande doivent être vérifiés quant à leur aptitude à un fonctionnement conforme à leur objectif de conception.

Si des essais d'environnement différents de ceux indiqués en 7.10.4 sont requis, en raison de conditions d'environnement particulières, il convient de réaliser ces essais conformément à l'IEC 60068-2 (toutes les parties) [75] le cas échéant.

7.10.4.2 Essai de froid

Un essai de froid doit être effectué conformément à l'essai Ad de l'IEC 60068-2-1:2007, dans les conditions de service spécifiées à l'Article 4. La température d'essai doit être la température minimale de l'air ambiant et la durée de l'essai doit être de 16 h.

7.10.4.3 Essai de chaleur sèche

Un essai de chaleur sèche doit être effectué conformément à l'essai Be de l'IEC 60068-2-2:2007 selon la configuration des circuits auxiliaires, dans les conditions de service spécifiées à l'Article 4. La température d'essai doit être la température maximale de l'air ambiant et la durée de l'essai doit être de 16 h.

7.10.4.4 Essai cyclique de chaleur humide

Un essai cyclique de chaleur humide doit être effectué conformément à l'essai Db de l'IEC 60068-2-30:2005. La température supérieure doit être la température maximale de l'air ambiant indiquée à l'Article 4 et le nombre de cycles de température doit être égal à deux. La variante 2 peut être utilisée pour la période de diminution de température et la reprise doit se faire dans les conditions atmosphériques normales. Aucune précaution spéciale ne doit être prise en ce qui concerne l'élimination de l'humidité de surface.

7.10.4.5 Essais de vibrations

Les vibrations dues à la manœuvre de l'appareillage associé sont vérifiées comme suit:

- un essai est effectué conformément à l'IEC 60255-21-1:1988. Les paramètres de l'essai de comportement aux vibrations sont ceux correspondant à la classe de sévérité 1;
- ou l'ensemble des équipements auxiliaires et de commande a été soumis aux essais d'endurance mécanique de l'appareillage complet le concernant.

Les circuits auxiliaires et de commande doivent supporter l'essai de comportement aux vibrations sans dommage permanent. Après l'essai, ils doivent toujours être en état de fonctionnement. Des pertes temporaires d'une partie de la fonction sont permises durant les essais conformément aux critères établis au Tableau 17.

7.10.4.6 Vérification d'état

Les essais de tenue de tension à fréquence industrielle conformes à 7.10.5 doivent être effectués à la fin de chaque essai de type, afin de vérifier l'absence de réduction des performances pendant les essais.

Lorsque les essais de type de 7.10.4 sont effectués comme une séquence d'essais sur le même objet d'essai, cette vérification d'état peut être exécutée une seule fois à la fin de la séquence d'essais.

7.10.5 Essais diélectriques

Les circuits auxiliaires et de commande de l'appareillage doivent être soumis à des essais de tenue de tension à fréquence industrielle de courte durée. Chaque essai doit être exécuté:

- a) entre les circuits auxiliaires et de commande reliés entre eux et le châssis de l'appareil de connexion;
- b) si cela est réalisable, entre chaque partie des circuits auxiliaires et de commande qui peut être isolée des autres parties en service normal, et les autres parties reliées entre elles et au châssis.

Les essais de tenue de tension à fréquence industrielle doivent être réalisés conformément à l'IEC 61180-1. La tension d'essai doit être de 2 kV pour une durée de 1 min.

Un essai au courant continu est acceptable avec l'accord du constructeur. La tension d'essai doit être de 2,8 kV pour une durée de 1 min.

Les circuits auxiliaires et de commande de l'appareillage doivent être considérés comme ayant satisfait aux essais s'il ne se produit pas de décharge disruptive pendant chaque essai.

Si des moteurs et autres équipements tels que les équipements électroniques utilisés dans les circuits auxiliaires et de commande ont déjà été soumis à l'essai conformément à leur propre spécification, ils doivent être déconnectés pendant ces essais.

7.11 Essai des rayonnements X pour les ampoules à vide

7.11.1 Exigences générales

7.11.1.1 État de l'ampoule à soumettre aux essais

Les essais des niveaux d'émission de rayonnements X doivent être réalisés sur des ampoules à vide neuves.

L'essai d'émission de rayonnements X sur l'appareillage n'est pas exigé, lorsque le type d'ampoule à vide a été soumis à l'essai, en tant que composant, de façon satisfaisante.

7.11.1.2 Montage du spécimen

L'ampoule doit être montée dans un dispositif d'essai, conçu de telle sorte que l'espacement entre contacts ouverts puisse être réglé sur la distance minimale lorsqu'elle est installée dans l'appareillage. Les ampoules conçues pour fonctionner dans un milieu isolant différent de l'air (comme l'huile ou le SF₆) peuvent être soumises aux essais dans un milieu de ce type, si nécessaire, pour supporter la tension d'essai.

Le réservoir pour le milieu isolant doit être en matériau isolant ayant un affaiblissement de rayonnement ne dépassant pas celui fourni par 9,5 mm d'épaisseur de méthacrylate de méthyle. Le milieu isolant entre l'ampoule et le radiamètre doit avoir les caractéristiques minimales requises pour les besoins des essais diélectriques.

7.11.1.3 Radiamètre

Un radiamètre blindé contre les fréquences radioélectriques ayant les spécifications minimales suivantes doit être utilisé:

- précision: capable de mesurer de 5 µSv par heure jusqu'à 150 µSv par heure avec une incertitude inférieure à ±25 % sur cette plage, avec un temps de réponse ne dépassant pas 15 s;
- plage de réponse en énergie: au moins 25 keV à 0,5 MeV.

NOTE Le choix du radiamètre est en rapport avec la tension d'essai et la sensibilité du détecteur sur la plage de réponse en énergie spécifiée.

7.11.1.4 Emplacement du radiamètre

L'élément sensible du radiamètre doit être positionné dans le plan des contacts séparables et dirigé vers les contacts. La distance préférentielle entre l'appareil de mesure et la paroi de l'ampoule à vide est de 1 m. Toutefois, toute distance pouvant atteindre 15 m peut être utilisée; dans ce cas la valeur lue de l'appareil doit être ajustée en appliquant la loi de l'inverse des carrés de la distance comme suit:

$$R(1\text{ m}) = R(d) \times d^2$$

où $R(d)$ est le niveau de rayonnement mesuré, à la distance d (en m), de la surface externe de l'ampoule à vide.

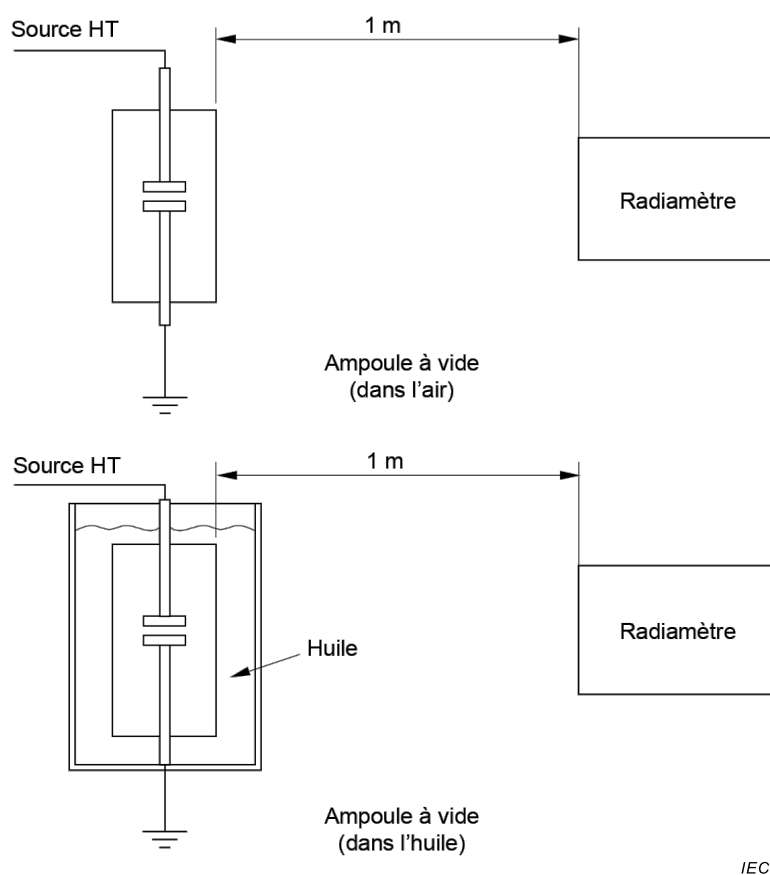


Figure 4 – Position en essai du radiamètre

7.11.2 Tension d'essai et procédure de mesure

L'ampoule étant montée dans un dispositif d'essai, les contacts étant bloqués en position d'ouverture à l'espacement de contact minimal spécifié, et le radiamètre étant en place (voir Figure 4), une tension doit être appliquée entre les contacts de l'ampoule, égale à la tension assignée de l'appareillage, U_r . Après une durée d'au moins 15 s, le niveau des rayonnements X sur le radiamètre doit satisfaire aux exigences de 7.11.3.

La tension entre les contacts de l'ampoule doit ensuite être augmentée à une valeur égale à la valeur commune de la tension de tenue de courte durée à fréquence industrielle assignée, U_d , indiquée au Tableau 1 ou au Tableau 2 selon le cas. Après une durée d'au moins 15 s, le niveau des rayonnements X sur le radiamètre doit être consigné dans le rapport d'essai.

7.11.3 Critères d'acceptation

Les rayonnements X émis par les ampoules à vide ne doivent pas dépasser 5 $\mu\text{Sv/h}$ à une distance de 1 m à la tension assignée U_r .

Pour les ampoules à vide utilisées dans l'appareillage qui ont une tension de tenue de courte durée à fréquence industrielle assignée inférieure ou égale à 160 kV, le niveau des rayonnements X émis à la tension d'essai de tenue à fréquence industrielle assignée, U_d , ne doit pas dépasser 150 μSv par heure à une distance de 1 m.

Pour les ampoules à vide de l'appareillage qui ont une tension de tenue de courte durée à fréquence industrielle assignée supérieure à 160 kV, le niveau des rayonnements X émis à la tension de tenue à fréquence industrielle assignée, U_d , doit être mesuré. Si la valeur mesurée dépasse 150 μSv par heure à une distance de 1 m, la valeur réelle doit alors être déclarée par le constructeur.

NOTE La valeur déclarée peut servir à développer un environnement de travail sûr conformément aux réglementations locales lors de l'exécution de l'essai de tenue à fréquence industrielle entre les intervalles de contacts ouverts des ampoules à vide.

8 Essais individuels de série

8.1 Généralités

Les essais individuels de série ont pour but de révéler des défauts dans les matériaux ou la construction. Ils ne diminuent pas les propriétés et la fiabilité d'un objet d'essai. Les essais individuels de série doivent être effectués chez le constructeur chaque fois que cela est pratique sur chaque appareil fabriqué. Par accord, tout essai individuel de série peut être effectué au lieu d'installation.

Les essais individuels de série indiqués dans le présent document comprennent:

- a) les essais diélectriques du circuit principal, conformément à 8.2;
- b) les essais des circuits auxiliaires et de commande, conformément à 8.3;
- c) le mesurage de la résistance du circuit principal, conformément à 8.4;
- d) l'essai d'étanchéité, conformément à 8.5;
- e) les contrôles visuels et de conception, conformément à 8.6.

Des essais individuels de série complémentaires peuvent être nécessaires et sont, le cas échéant, spécifiés dans les normes IEC applicables.

Lorsque l'appareillage n'est pas complètement assemblé avant le transport, des essais séparés doivent être effectués sur chaque unité de transport. Dans ce cas, le constructeur doit démontrer la validité de cet essai (exemple: taux de fuite, tension d'essai, résistance d'une partie du circuit principal).

Les rapports d'essais des essais individuels de série ne sont pas exigés, sauf accord contraire entre le constructeur et l'utilisateur.

8.2 Essai diélectrique du circuit principal

Un essai à sec de tension de courte durée à fréquence industrielle doit être appliqué. La procédure d'essai doit se conformer à l'IEC 60060-1:2010 et à 7.2, avec l'exception que chaque pôle ou chaque unité de transport doit être soumis(e) à l'essai. Pour les systèmes à pression scellés, l'essai doit être effectué à la pression de remplissage pour l'isolation.

La tension d'essai doit être la tension de tenue de courte durée à fréquence industrielle assignée spécifiée dans la colonne 2 des Tableaux 1 à 4.

Lorsque l'isolation de l'appareillage n'est constituée que par des isolateurs à fût massif et de l'air à la pression ambiante, l'essai de tenue à la tension à fréquence industrielle peut être omis, si les dimensions entre les parties conductrices – entre les phases, entre les contacts des appareils de connexion en position ouverte et entre les parties conductrices et le châssis – sont vérifiées par des mesurages dimensionnels.

Les dimensions sont vérifiées par rapport aux dimensions indiquées sur les dessins d'encombrement faisant partie du rapport d'essai de type de l'appareillage concerné, ou qui y sont cités. Par conséquent, ces dessins doivent mentionner toutes les informations nécessaires à cette vérification dimensionnelle, y compris les tolérances acceptables.

8.3 Essais des circuits auxiliaires et de commande

8.3.1 Inspection des circuits auxiliaires et de commande, et vérification de la conformité aux schémas de circuits et schémas de câblage

La nature des matériaux, la qualité de l'assemblage, la finition et, si nécessaire, les revêtements de protection contre la corrosion doivent être vérifiés. Une inspection visuelle est également nécessaire pour s'assurer de la bonne installation de l'isolation thermique si elle existe.

Une inspection visuelle des organes de commande, verrouillages, verrous, etc., doit être faite.

Le montage adéquat des composants des circuits auxiliaires et de commande à l'intérieur des enveloppes doit être vérifié. L'emplacement des dispositifs prévus pour la connexion de la filerie externe doit être vérifié de façon à permettre l'épanouissement de câbles à âmes multiples et le raccordement correct de leurs conducteurs.

Le cheminement correct des conducteurs et des câbles doit être vérifié. Une attention particulière doit être accordée de sorte qu'aucun dommage mécanique ne puisse être occasionné aux conducteurs et câbles par la proximité d'arêtes vives ou d'éléments chauffants ou par le mouvement des parties mobiles.

De plus, l'identification des composants et des bornes et, si nécessaire, celle des câbles et connexions doivent être vérifiées. En outre, la conformité des circuits auxiliaires et de commande aux schémas de circuits et aux schémas de câblage doit être vérifiée.

8.3.2 Essais fonctionnels

Les essais fonctionnels sont spécifiés, le cas échéant, dans les normes de produits IEC applicables. Lorsque ces essais sont spécifiés, ils doivent être effectués sur tous les circuits auxiliaires et de commande pour vérifier le bon fonctionnement des circuits auxiliaires et de commande en liaison avec les autres parties de l'appareillage. Les procédures d'essai dépendent de la nature et de la complexité des circuits auxiliaires et de commande de l'équipement.

Les essais de fonctionnement peuvent être omis pour les circuits auxiliaires et de commande, sous-ensembles et composants s'ils ont déjà satisfait à un essai appliqué à l'ensemble de l'appareillage.

8.3.3 Vérification de la protection contre les chocs électriques

La protection contre les contacts directs avec le circuit principal et la sécurité d'accès aux parties des équipements auxiliaires et de commande susceptibles d'être touchées en service normal doivent être vérifiées. La méthode préférentielle de vérification est l'inspection visuelle.

Si une inspection visuelle ne peut pas confirmer la continuité électrique des parties métalliques mises à la terre, la procédure en variante définie en 7.4.3 doit être appliquée.

8.3.4 Essais diélectriques

Seul l'essai de tenue à fréquence industrielle doit être réalisé. Cet essai doit être réalisé dans les mêmes conditions que celles définies en 7.10.5.

La tension d'essai doit être de 1 kV pour une durée de 1 s.

8.4 Mesurage de la résistance du circuit principal

Pour l'essai individuel de série, la chute de tension en courant continu ou la résistance de chaque pôle du circuit principal doit être mesurée dans des conditions aussi proches que possible des conditions dans lesquelles le mesurage précédant l'essai au courant permanent a été réalisé, en ce qui concerne la température de l'air ambiant et les points de mesure. Le courant d'essai doit se situer dans les limites fixées en 7.4.4.

La résistance mesurée ne doit pas dépasser $1,2 \times R_u$, où R_u est égale à la résistance mesurée avant l'essai au courant permanent.

Pour les ensembles, il peut être nécessaire de calculer la résistance attendue sur la base d'essais de type appropriés.

8.5 Essai d'étanchéité

8.5.1 Généralités

Les essais individuels de série doivent être effectués, pour démontrer les exigences d'étanchéité selon 6.16, à la température ambiante sur les pièces de l'appareillage, les composants ou sous-ensembles à la ou au-dessus de la pression (ou masse volumique) minimale de fonctionnement pour l'isolement.

8.5.2 Systèmes à pression entretenue de gaz

La procédure d'essai est celle de 7.8.2.

8.5.3 Systèmes à pression autonome de gaz

Les essais peuvent être réalisés à différentes étapes de la fabrication ou de l'assemblage sur site, sur les parties, composants et sous-ensembles.

Pour les parties ou sous-ensembles contrôlés en usine, la méthode préférentielle est celle de l'essai par accumulation.

Pour les systèmes à remplissage de gaz contrôlés en usine, la détection de fuites à l'aide d'un dispositif de reniflage peut être utilisée. En présence d'une fuite, l'essai doit être considéré comme ayant échoué ou la fuite doit être quantifiée à l'aide d'une méthode par accumulation.

S'agissant des essais individuels de série sur site, la détection de fuites à l'aide d'un dispositif de reniflage est la méthode préférentielle.

La sensibilité du dispositif de reniflage doit être d'au moins $10^{-8} \text{ Pa} \times \text{m}^3/\text{s}$.

8.5.4 Systèmes à pression scellés

Deux situations sont prises en compte au regard du type d'isolement:

a) Appareillage à gaz

La procédure d'essai préférentielle est celle du point a) de 7.8.4).

Une procédure d'essai en variante consiste en un essai d'étanchéité au gaz traceur et le spectromètre de masse (voir l'IEC 60068-2-17:1994 [31]).

b) Appareillage à ampoule à vide

L'étanchéité au vide doit être démontrée par un essai diélectrique selon 7.2.12 effectué après l'essai mécanique individuel de routine spécifié dans les normes de produits applicables.

8.5.5 Essais d'étanchéité aux liquides

Les essais individuels de série doivent être effectués à la température normale de l'air ambiant, l'appareillage étant complètement assemblé. L'essai des sous-ensembles est également autorisé. Dans ce cas, une vérification finale doit être effectuée sur site.

Les méthodes d'essai sont celles des essais de type (voir 7.8.5).

8.6 Contrôles visuels et de conception

La conformité de l'appareillage avec la spécification d'achat, s'il y en a, doit être vérifiée.

9 Guide pour le choix de l'appareillage (informatif)

9.1 Généralités

L'Article 9 constitue un guide général pour le choix approprié des caractéristiques assignées et des paramètres en fonction de l'application à couvrir avec les appareillages à haute tension. L'Annexe F (informative) fournit un résumé des considérations relatives à la spécification des caractéristiques assignées de l'appareillage.

9.2 Choix des valeurs assignées

Il convient de choisir les valeurs assignées selon le présent document en tenant compte des caractéristiques du réseau et de ses extensions présumées. Une liste des caractéristiques assignées est indiquée à l'Article 5.

Pour la plupart des tensions assignées, plusieurs niveaux d'isolement assignés existent permettant l'application de différents critères de performance ou systèmes de surtension. Il convient de faire le choix en tenant compte du degré d'exposition aux surtensions à front rapide et à front lent, du type de mise à la terre du neutre du réseau et du type de dispositifs limiteurs de surtensions (voir l'IEC 60071-2:1996). Il convient aussi de prendre en compte d'autres paramètres tels que les conditions atmosphériques et climatiques locales et l'utilisation à des altitudes dépassant 1 000 m.

Il convient de déterminer les contraintes imposées par les conditions de défaut en calculant les courants de défaut à l'endroit où l'appareillage doit être installé dans le réseau. Voir l'IEC 60909-0 [33] et l'IEC 60909-1 [34] pour cet aspect.

9.3 Considérations sur les interfaces avec les câbles

Pour le raccordement aux câbles, il convient que la température maximale au niveau des bornes parcourues par le courant permanent total soit inférieure aux limites de température de l'isolation des câbles et de l'extrémité des câbles.

9.4 Surcharge continue ou temporaire due à une modification des conditions de service

Il peut être exigé du matériel qu'il supporte un courant de charge supérieur à son courant permanent assigné pendant une courte durée ou quand des températures ambiantes permettent cette surcharge, à condition que la température ne dépasse pas la valeur maximale de température spécifiée au Tableau 14. Il est fait référence dans ce cas à l'IEC TR 62271-306 [4].

NOTE Pour certains appareils (les interrupteurs de charge, par exemple), la surcharge temporaire peut engendrer un courant de charge qui dépasse l'aptitude à couper du courant de l'appareillage.

9.5 Aspects d'environnement

9.5.1 Conditions de service

Il convient que l'appareillage choisi ainsi que ses dispositifs de manœuvre et les équipements auxiliaires qui y sont associés soient conçus et validés pour satisfaire au moins aux conditions de service spécifiques à l'utilisateur, sinon il convient de prendre en conséquence des dispositions appropriées.

9.5.2 Distances d'isolement affectées par les conditions de service

Lorsque les distances d'isolement peuvent être compromises, en relation avec des modifications du niveau de service liées aux conditions d'environnement (par exemple accumulation de neige, de sable, etc.), il convient d'envisager l'utilisation de distances d'isolement supérieures.

9.5.3 Humidité élevée

Pour les conditions normales de service spécifiées en 4.1.2 e), de la condensation peut se produire de manière occasionnelle sur ou dans l'appareillage pour l'intérieur.

Pour supporter les effets d'une humidité élevée et de la condensation, tels que le claquage de l'isolation ou la corrosion des parties métalliques, il convient d'utiliser un appareillage conçu pour de telles conditions.

La condensation peut être évitée par une conception spéciale du bâtiment ou de l'enveloppe, par une ventilation et un chauffage appropriés du poste, ou par l'utilisation de déshumidificateurs. D'autres options incluent les radiateurs avec thermostat/hygrostat à l'intérieur de l'appareillage.

Une humidité élevée peut aussi être due à l'eau de pluie à la surface du sol ou provenir des chemins de câbles interfacés avec l'appareillage dans le cas de réseaux souterrains reliés par câbles.

9.5.4 Rayonnement solaire

À certains niveaux de rayonnement solaire, des mesures appropriées, par exemple mise à l'abri, ventilation forcée, etc., peuvent être nécessaires, ou bien un déclassement peut être utilisé, de manière à ne pas dépasser les limites spécifiées d'échauffement et d'augmentation de la pression. Les essais simulant un apport solaire peuvent être réalisés pour démontrer la nécessité de prendre des mesures ou d'appliquer un déclassement.

10 Renseignements à donner dans les appels d'offres, les soumissions et les commandes (informatif)

10.1 Généralités

Cet article a pour objectif de définir les informations nécessaires à l'utilisateur pour réaliser un appel d'offres approprié sur les équipements et au fournisseur pour soumettre une offre adéquate.

De plus, il permet à l'utilisateur d'effectuer une comparaison et une évaluation des offres de différents fournisseurs.

NOTE Le fournisseur peut être un constructeur ou un entrepreneur.

Lors d'un appel d'offres ou d'une commande d'installation d'appareillage, il convient que le demandeur fournisse au moins les renseignements suivants.

L'Annexe F (informative) fournit des éléments d'information similaires, sous forme de tableau pour faciliter leur exploitation.

10.2 Renseignements dans les appels d'offres et les commandes

Il convient que les renseignements suivants soient donnés par le demandeur/utilisateur, s'il y a lieu:

a) Caractéristiques propres au réseau:

Tension nominale et tension la plus élevée, fréquence, caractéristiques de mise à la terre du neutre.

b) Conditions de service, si elles sont différentes des conditions normales (voir Article 4):

Toute condition s'écartant des conditions normales de service ou affectant le fonctionnement satisfaisant de l'équipement.

Dans ce cas, il convient que l'appareillage à haute tension ainsi que les dispositifs de manœuvre et les équipements auxiliaires qui y sont associés soient conçus et validés pour satisfaire à toutes les conditions spéciales de service fixées par l'utilisateur, sinon il convient de prendre en conséquence des dispositions appropriées.

c) Caractéristiques de l'installation et de ses composants:

- 1) installation pour l'intérieur ou l'extérieur;
- 2) nombre de phases;
- 3) nombre de jeux de barres, comme indiqué dans le schéma unifilaire;
- 4) tension assignée;
- 5) fréquence assignée;
- 6) niveau d'isolement assigné (U_d , U_p , U_s si applicable);
- 7) courants permanents assignés des jeux de barres et des circuits d'alimentation;
- 8) courant de courte durée admissible assigné (I_k);
- 9) durée de court-circuit assignée (si elle est différente de 1 s);
- 10) valeur de crête du courant admissible assignée (si elle est différente de $2,5 I_k$ ou de $2,6 I_k$);
- 11) valeurs assignées des composants (par exemple pour les transformateurs de tension ou les transformateurs de courant dans un ensemble, pour des unités fonctionnelles individuelles d'un ensemble);
- 12) degré de protection procuré par l'enveloppe et les cloisons;
- 13) schémas de circuits.

d) Caractéristiques des dispositifs de manœuvre:

- 1) types de dispositif de manœuvre;
- 2) tension d'alimentation assignée (si nécessaire);
- 3) fréquence d'alimentation assignée (si nécessaire);
- 4) pression d'alimentation assignée (si nécessaire);
- 5) exigences spéciales d'interverrouillage;
- 6) nombre de contacts auxiliaires disponibles requis (il convient que l'utilisateur exprime la performance des contacts dont il a besoin).

En plus de ces renseignements, il convient que le demandeur indique toutes les conditions qui peuvent influencer l'offre ou la commande, par exemple, les conditions particulières de montage ou d'installation, l'emplacement des connexions externes à haute tension, ou toutes règles particulières pour les équipements sous pression, les exigences pour les essais des câbles, et, le cas échéant, des indications quant au maintien de la fonctionnalité après un événement sismique ou pendant et après un événement sismique.

Il convient d'indiquer si des rapports d'essais de type ou autres documents relatifs à l'évaluation de la conformité sont demandés.

10.3 Renseignements pour les soumissions

Il convient que les renseignements suivants soient donnés par le constructeur, s'il y a lieu, avec les notices descriptives et les plans:

- a) Valeurs et caractéristiques assignées telles qu'énumérées au point c) de 10.2.
- b) Détails de construction, par exemple:
 - 1) masse de l'unité de transport la plus lourde;
 - 2) dimensions hors tout de l'installation;
 - 3) disposition des connexions externes;
 - 4) extensions futures, si applicable;
 - 5) dispositifs pour le transport et le montage;
 - 6) mesures à prévoir pour le montage;
 - 7) faces accessibles;
 - 8) instructions d'installation, de fonctionnement et de maintenance;
 - 9) type du système à remplissage de gaz ou de liquide;
 - 10) niveau/pression de remplissage et niveau/pression minimal(e) de fonctionnement;
 - 11) volume de liquide ou masse de fluide pour les différents compartiments;
 - 12) spécification de l'état du fluide.
- c) Caractéristiques des dispositifs de manœuvre:
 - 1) types et valeurs assignées, tels qu'énumérés en d) de 10.2;
 - 2) courant ou puissance pour la manœuvre;
 - 3) durées de fonctionnement.
- d) Liste des pièces de rechange qu'il est recommandé à l'utilisateur de se procurer.
- e) Tous autres documents ou renseignements demandés dans l'appel d'offres.

11 Transport, stockage, installation, instructions de fonctionnement et maintenance

11.1 Généralités

Il est essentiel que le transport, le stockage et l'installation de l'appareillage, aussi bien que son utilisation et sa maintenance en service, soient effectués conformément aux instructions données par le constructeur.

Par conséquent, le constructeur doit fournir la version appropriée du manuel d'instructions pour le transport, le stockage, l'installation, les manœuvres et la maintenance de l'appareillage. Il convient que les instructions pour le transport et le stockage soient données en temps utile avant la livraison, et que les instructions pour l'installation, les manœuvres et la maintenance soient fournies au plus tard à la livraison. Il est préférable que le manuel d'utilisation soit un document différent du manuel d'installation et de maintenance.

Il est impossible, ici, de couvrir en détail la totalité des règles pour l'installation, les manœuvres et la maintenance de chacun des différents types d'appareils fabriqués, mais les renseignements donnés ci-après concernent les points les plus importants à observer dans les instructions fournies par le constructeur.

11.2 Conditions à respecter pendant le transport, le stockage et l'installation

Il convient de prévoir un accord spécial entre le constructeur et l'utilisateur si les conditions de température et d'humidité définies dans la commande ne peuvent pas être garanties au cours du transport, du stockage et de l'installation. Il peut être nécessaire de prendre des précautions spéciales pour la protection de l'isolation pendant le transport, le stockage et l'installation, et avant la mise sous tension en vue d'éviter l'absorption d'humidité due par exemple à la pluie, à la neige ou à la condensation. Il convient de prendre en compte les vibrations pendant le transport. Il convient de donner les instructions appropriées.

Il convient que le constructeur fournisse un emballage spécial, selon les spécifications du client, pour le stockage à long terme des pièces en prévision des besoins de maintenance.

11.3 Installation

11.3.1 Généralités

Pour chaque type d'appareillage, les instructions fournies par le constructeur doivent comprendre au moins les indications qui suivent.

11.3.2 Déballage et manutention

Chaque équipement complet doit être muni de dispositifs de levage adéquats et étiqueté (extérieurement) pour représenter la méthode correcte de levage. L'équipement doit porter une indication (extérieurement) de sa masse maximale, en kg, lorsqu'il est complètement équipé. Les dispositifs spéciaux de levage doivent pouvoir soulever la masse de chaque unité de transport et des précautions spéciales doivent être détaillées dans le manuel d'installation (par exemple, les points de levage/manilles qui ne sont pas destiné(e)s à être laissé(e)s à l'extérieur doivent être retiré(e)s sur le site).

Il convient de fournir les informations nécessaires pour le déballage.

11.3.3 Assemblage

Lorsque l'appareillage n'est pas complètement monté pour le transport, il convient que toutes les unités de transport soient clairement repérées. Il convient de fournir avec l'appareillage des dessins montrant l'assemblage de ces sous-ensembles.

11.3.4 Montage

Il convient que les instructions pour le montage de l'appareillage, du dispositif de manœuvre et des équipements auxiliaires comprennent les renseignements suffisants relatifs aux emplacements et aux fondations afin de permettre l'achèvement de la préparation du site.

Il convient que ces instructions indiquent également:

- la masse totale de l'appareil, y compris le fluide extincteur ou isolant;
- la masse du fluide extincteur ou isolant;
- la masse de chaque unité à soulever séparément.

11.3.5 Raccordements

Il convient que les instructions comprennent des renseignements sur:

- le raccordement des conducteurs comprenant les directives nécessaires pour éviter l'échauffement excessif et des contraintes inutiles sur l'appareillage, et pour assurer les distances d'isolement dans l'air convenables;
- le raccordement des circuits auxiliaires;

- le raccordement des canalisations de liquide ou de gaz, s'il y en a, y compris les dimensions et la disposition des conduites;
- le raccordement pour la mise à la terre;
- les contacts auxiliaires disponibles pour l'utilisateur.

11.3.6 Informations relatives au gaz et aux mélanges de gaz pour les systèmes à pression entretenue et à pression autonome

Pour les systèmes à pression entretenue et à pression autonome remplis de mélange de gaz, le constructeur doit définir le pourcentage des différents gaz et les tolérances qui leur sont associées en tenant compte des manipulations de gaz et de l'incertitude de mesure. Des procédures de remplissage appropriées sont définies dans l'IEC 62271-4.

Au cours des opérations de mise en service ou de maintenance, la quantité maximale admissible d'humidité dans un compartiment d'appareillage rempli de gaz, à la pression (masse volumique) de remplissage pour l'isolement doit être vérifiée par mesurage du point de rosée. Des facteurs de correction appropriés doivent être appliqués pour les mesurages réalisés à des températures autres que 20 °C conformément au manuel d'instructions du constructeur.

Il convient que la quantité maximale admissible d'humidité dans un compartiment d'appareillage rempli ou faisant l'objet de complément de remplissage avec du gaz neuf ou usagé soit telle que le point de rosée à l'intérieur du compartiment d'appareillage ne soit pas supérieur à:

- –10 °C pour l'équipement muni d'un adsorbant;
- –15 °C pour l'équipement sans adsorbant

pendant la mise en service ou après la maintenance pour un mesurage à la pression (masse volumique) de remplissage pour l'isolement et à 20 °C.

NOTE 1 Il est prévu que ces valeurs de point de rosée pendant la mise en service s'établissent à une valeur de point de rosée inférieure à –5 °C au cours de la durée de vie en service, pour un mesurage à 20 °C.

NOTE 2 Le mesurage du point de rosée est spécifié à une température donnée en raison d'éventuelles migrations de l'eau entre le gaz et les matières solides lorsque la température varie, lesquelles migrations sont susceptibles de modifier la valeur mesurée.

NOTE 3 Un exemple de mesurage et de détermination du point de rosée est donné dans l'IEEE C37.122.5 [35].

11.3.7 Inspection finale de l'installation

Il convient que des instructions soient données pour l'inspection et les essais à effectuer après l'installation de l'appareillage et l'achèvement de tous ses raccordements.

Il convient que ces instructions comprennent:

- une nomenclature des essais sur site recommandés pour établir un bon fonctionnement;
- les modes opératoires pour effectuer tout réglage nécessaire à un bon fonctionnement;
- les recommandations pour les mesurages pertinents qu'il convient de faire et d'enregistrer comme aide à la décision des futures opérations de maintenance;
- un mode opératoire pour l'essai qualitatif d'étanchéité au gaz sur site (essai de reniflage) sur toutes les connexions assemblées sur site pour les systèmes à pression autonome (voir 8.5.3);
- les instructions pour l'inspection finale et la mise en service.

Des lignes directrices sur le mesurage de la compatibilité électromagnétique sur site sont indiquées à l'Annexe H (informative).

11.3.8 Données d'entrée de base fournies par l'utilisateur

Il convient que ces données comprennent:

- a) restrictions d'accès au site local;
- b) conditions locales de travail et toute restriction pouvant s'appliquer (par exemple, équipement de sécurité, heures normales de travail, exigences des syndicats concernant les responsables, les constructeurs et les équipes locales de montage, etc.);
- c) disponibilité et capacité à soulever et à manipuler des matériels;
- d) disponibilité, effectif et expérience du personnel local;
- e) règles et procédures spécifiques aux récipients sous pression, qui peuvent s'appliquer au cours du montage et des essais de mise en service;
- f) exigences d'interface pour les câbles et transformateurs à haute tension;
- g) dans le cas d'extensions apportées à l'appareillage existant:
 - 1) dispositions pour l'extension, disponibles dans l'équipement primaire et secondaire existant;
 - 2) conditions de service ou restrictions de fonctionnement qui s'appliquent;
 - 3) règles de sécurité qui s'appliquent localement.

11.3.9 Données d'entrée de base fournies par le constructeur

Il convient que ces données comprennent:

- a) espace nécessaire pour le montage et l'assemblage;
- b) dimensions et poids des composants et des équipements d'essai;
- c) conditions sur site concernant la propreté et la température pour que la zone de montage et de préparation soit propre;
- d) effectif et expérience du personnel local exigé pour le montage;
- e) planification et programme des activités pour le montage et la mise en service;
- f) puissance électrique, éclairage, eau et autres besoins pour le montage et la mise en service;
- g) proposition de formation pour le personnel de montage et de service;
- h) dans le cas d'extensions apportées à l'appareillage existant:
 - 1) exigences de mise hors service des composants existants liées au programme de montage;
 - 2) mesures de sécurité;
- i) procédure de remplissage de gaz (mélanges de gaz) et vérification du point de rosée, si nécessaire.

11.4 Instructions de fonctionnement

Les instructions de fonctionnement données par le constructeur doivent comprendre les informations suivantes:

- description générale du matériel en apportant un soin particulier à la description technique de ses caractéristiques et de son fonctionnement, de sorte que l'utilisateur ait une bonne compréhension des principes mis en œuvre;
- description des systèmes de sécurité du matériel, et fonctionnement des dispositifs d'interverrouillage et de verrouillage par cadenas;
- selon les besoins, description des actions pour manœuvrer, isoler, mettre à la terre, entretenir et vérifier le matériel;
- selon les besoins, il convient d'indiquer les dispositions à prendre contre la corrosion.

11.5 Maintenance

11.5.1 Généralités

L'efficacité des actions de maintenance dépend principalement de la qualité des instructions fournies par le constructeur et de la qualité de leur mise en œuvre par l'utilisateur.

11.5.2 Informations sur les fluides et gaz à inclure dans le manuel de maintenance

Le cas échéant, les informations suivantes doivent être fournies par le constructeur:

- a) type, quantité et qualité requises de liquide à utiliser dans l'appareillage;
- b) type, quantité et qualité requises de gaz à utiliser dans l'appareillage.

11.5.3 Recommandations pour le constructeur

Il convient que le constructeur s'assure de la disponibilité des pièces de rechange nécessaires aux actions de maintenance pendant au moins 10 ans à partir de la date d'arrêt de fabrication de l'appareillage.

Il convient que le constructeur informe ses acheteurs, en fonction du type d'appareillage, des actions correctives rendues nécessaires par suite de défauts et de défaillances systématiques détectés en service.

Il convient que le manuel de maintenance du constructeur comprenne les informations suivantes:

- a) Étendue et fréquence de la maintenance. À cet effet, il convient de prendre en compte les facteurs suivants:
 - 1) manœuvres de coupure (courant et nombre);
 - 2) nombre total de manœuvres;
 - 3) durée d'exploitation (intervalles périodiques);
 - 4) conditions d'environnement;
 - 5) activité après un événement sismique (s'il y a lieu);
 - 6) mesurages et essais de diagnostic (éventuellement).
- b) Description détaillée des travaux de maintenance:
 - 1) emplacement recommandé pour les travaux de maintenance (intérieur, extérieur, en usine, sur site, etc.);
 - 2) procédures pour l'inspection, les essais de diagnostic, l'examen, l'entretien;
 - 3) référence aux dessins;
 - 4) référence aux numéros de pièces;
 - 5) utilisation de matériels ou d'outils spéciaux;
 - 6) précautions à observer (par exemple propreté et effets possibles de sous-produits dus à l'arc);
 - 7) procédés de lubrification.
- c) Dessins détaillés des éléments de l'appareillage importants pour la maintenance, avec une identification claire des ensembles, des sous-ensembles et des parties significatives (numéros des parties et description).

NOTE Des dessins agrandis des détails qui indiquent la position relative des composants dans les ensembles ou sous-ensembles sont une méthode de représentation courante.

- d) Limites des valeurs, qui peuvent être mesurées pendant la manœuvre ou la maintenance périodique, et des tolérances qui, lorsqu'elles sont dépassées, rendent nécessaire une action corrective. Par exemple:

- 1) pression, masse volumique, tolérance des mélanges de gaz;
 - 2) résistances et/ou condensateurs (du circuit principal);
 - 3) durées de fonctionnement;
 - 4) résistance du circuit principal;
 - 5) caractéristiques du liquide ou du gaz isolant;
 - 6) quantité et qualité du liquide ou du gaz (voir l'IEC 60480 et l'IEC 62271-4 pour le SF₆);
 - 7) point de rosée dans le compartiment de l'appareillage rempli de gaz selon 11.3.6;
 - 8) érosion permise des parties sujettes à l'usure;
 - 9) couples;
 - 10) dimensions importantes.
- e) Spécifications pour les fournitures subsidiaires de maintenance, y compris les avertissements concernant les matériaux non compatibles connus:
- 1) graisse;
 - 2) huile;
 - 3) fluide;
 - 4) agents nettoyants et dégraissants.
- f) Liste des outils spéciaux, du matériel de levage et d'accès.
- g) Essais après les travaux de maintenance.
- h) Liste des pièces de rechange recommandées (description, numéro de référence, quantité) et conseils pour le stockage.
- i) Estimation de la durée d'intervention pour la maintenance périodique, effectuée conformément à un calendrier établi.
- j) Comment traiter le matériel à la fin de sa période de service, en prenant en compte les exigences concernant l'environnement.

11.5.4 Recommandations pour l'utilisateur

Si l'utilisateur souhaite effectuer la maintenance, il convient qu'il suive le manuel de maintenance du constructeur.

Il convient que l'utilisateur enregistre les informations suivantes:

- le numéro de série et le type de l'appareillage;
- la date à laquelle l'appareillage est mis en service;
- les résultats de tous les mesurages et de tous les essais, y compris les essais de diagnostic effectués pendant la durée de vie de l'appareillage;
- les dates et l'étendue des travaux de maintenance effectués;
- l'historique du service, les relevés périodiques des compteurs de manœuvres et autres indications (par exemple coupure de courant de court-circuit);
- les références à tout rapport de défaillance.

Lorsqu'une défaillance et des défauts surviennent, il convient que l'utilisateur établisse un rapport de défaillance et informe le constructeur en exposant les circonstances particulières de cette défaillance, et en indiquant les mesures prises. En fonction de la nature de la défaillance, il convient d'effectuer une analyse de la défaillance en collaboration avec le constructeur.

11.5.5 Rapport de défaillance

Le but du rapport de défaillance est de normaliser l'enregistrement des défaillances de l'appareillage avec les objectifs suivants:

- décrire la défaillance en utilisant une même terminologie;
- fournir des données pour les statistiques de l'utilisateur;
- fournir au constructeur un retour d'information significatif.

Des lignes directrices pour l'établissement d'un rapport de défaillance sont données ci-après.

Il convient qu'un rapport de défaillance comprenne les éléments suivants:

- a) Identification de l'appareillage en défaut:
 - 1) nom du poste;
 - 2) identification de l'appareillage (constructeur, type, numéro de série, valeurs assignées);
 - 3) technologie d'appareillage (air comprimé, faible volume d'huile, SF₆, vide);
 - 4) emplacement (intérieur, extérieur);
 - 5) enveloppe;
 - 6) mécanisme de commande, si concerné (hydraulique, pneumatique, mécanique à ressort, motorisé, manuel).
- b) Historique de l'appareillage:
 - 1) date de la mise en service du matériel;
 - 2) date de la défaillance/du défaut;
 - 3) nombre total de cycles de manœuvre, si applicable;
 - 4) date de la dernière maintenance;
 - 5) détails de toute modification apportée au matériel depuis sa fabrication;
 - 6) nombre total de cycles de manœuvre depuis la dernière maintenance;
 - 7) situation de l'appareillage au moment de la découverte de la défaillance/défaut (en service, en maintenance, etc.).
- c) Identification du sous-ensemble/composant responsable de la défaillance/défaut primaire:
 - 1) composants soumis à des contraintes haute tension;
 - 2) circuits électriques de commande et auxiliaires;
 - 3) mécanismes de commande, si applicable;
 - 4) autres composants.
- d) Contraintes supposées contribuer à la défaillance / au défaut
 - 1) erreur d'exploitation ou mauvaise utilisation du matériel;
 - 2) conditions d'environnement (température, vent, pluie, neige, glace, pollution, foudre, etc.).
- e) Classification de la défaillance/défaut:
 - 1) défaillance majeure;
 - 2) défaillance mineure;
 - 3) défaut.
- f) Origine et cause de la défaillance/défaut:
 - 1) origine (mécanique, électrique, étanchéité si applicable);
 - 2) cause (conception, fabrication, instructions incorrectes, montage défectueux, maintenance incorrecte, contraintes hors spécifications, etc.);
 - 3) erreur d'exploitation et mauvaise utilisation du matériel.
- g) Conséquences de la défaillance ou du défaut
 - 1) durée d'indisponibilité de l'appareillage, qui est l'intervalle de temps pendant lequel un équipement reste en état d'indisponibilité;

- 2) durée de la réparation;
- 3) coût de main-d'œuvre;
- 4) coût des pièces de rechange.

Un rapport de défaillance peut comprendre les informations suivantes:

- dessins, croquis;
- photographies des composants défectueux;
- schéma unifilaire du poste;
- séquence de manœuvres et durées associées;
- enregistrements ou courbes;
- références au manuel de maintenance ou de manœuvre.

12 Sécurité

12.1 Généralités

L'appareillage à haute tension, satisfaisant aux normes IEC applicables, peut être considéré comme sûr s'il est installé selon les règles d'installation applicables, y compris les instructions fournies par les constructeurs, et utilisé et entretenu selon les instructions du constructeur (voir l'Article 11).

L'appareillage à haute tension n'est normalement accessible qu'à des personnes averties. Les manœuvres et les opérations de maintenance ne sont autorisées à être réalisées que par des personnes qualifiées. Lorsque l'accès à l'appareillage n'est pas limité, des mesures de sécurité complémentaires peuvent être nécessaires.

L'appareillage à haute tension conforme aux normes IEC applicables présente un niveau de sécurité élevé concernant les effets externes qui peuvent nuire au personnel, principalement parce que les parties à haute tension peuvent être enfermées dans une enveloppe. Néanmoins, les équipements de puissance peuvent présenter certains risques potentiels, par exemple:

- les enveloppes éventuelles peuvent être à pression de gaz;
- les dispositifs limiteurs de pression peuvent s'ouvrir du fait de conditions exceptionnelles, provoquées par exemple par un arc interne. Dans des circonstances extrêmes, l'arc peut percer les enveloppes. Ces deux cas entraînent le dégagement soudain de gaz chauds;
- les événements soudains, qui présentent un risque faible pour les êtres humains, peuvent alarmer le personnel, entraînant des accidents (par exemple une chute);
- les activités de mise en service, de maintenance et d'extension peuvent nécessiter une attention particulière en raison de la complexité de l'équipement et de ses parties internes qui ne sont pas visibles la plupart du temps.

L'expérience a montré que l'erreur humaine est un facteur qui doit être pris en considération (par exemple, fermeture d'un sectionneur de terre sur un conducteur sous tension).

12.2 Précautions devant être prises par les constructeurs

La liste ci-dessous donne des exemples des précautions qui sont habituellement prises par les constructeurs:

- concevoir et soumettre aux essais les enveloppes sous pression, les dispositifs limiteurs de pression et les éléments d'appareillages correspondants, conformément aux normes internationales établies;
- fournir des systèmes d'interverrouillage adéquats et faciles à contrôler (façon la plus raisonnable d'éviter les erreurs humaines);

- expliquer clairement l'exploitation en toute sécurité de l'appareillage dans les manuels d'instruction. Expliquer les précautions à prendre pour empêcher une exploitation incorrecte et les conséquences de cette exploitation incorrecte;
- fournir à l'utilisateur et/ou à l'entrepreneur des informations appropriées liées à la conception de la zone environnante, éventuellement des informations relatives à l'aération et à la détection de gaz, afin de réduire le plus possible les risques pour les personnes en cas de défaillance;
- fournir des procédures sûres de démontage et de traitement en fin de vie.

12.3 Précautions devant être prises par les utilisateurs

La liste ci-dessous donne des exemples des précautions qui peuvent être prises par les utilisateurs:

- limiter l'accès à l'installation aux personnes formées et autorisées;
- tenir les opérateurs et le reste du personnel informés des risques et des exigences de sécurité, y compris des réglementations locales;
- maintenir l'appareillage à jour en termes de normes techniques, en particulier les dispositifs de verrouillage et de protection;
- utiliser la commande à distance et faire fonctionner le système d'interverrouillage comme prévu;
- choisir les équipements qui réduisent le plus possible les risques encourus par le personnel en raison d'un fonctionnement incorrect (par exemple, sectionneurs de terre avec pouvoir de fermeture en court-circuit sur lignes, organes de commande motorisés, pour permettre une commande à distance);
- coordonner le système de protection aux propriétés du produit (par exemple, ne pas refermer lors de défauts internes);
- préparer des procédures relatives à la mise à la terre, en tenant compte de la difficulté liée à la désignation et à la compréhension du montage complexe, et du fonctionnement de l'appareillage;
- étiqueter l'équipement de manière claire, afin d'identifier facilement les différents appareils et les compartiments à remplissage de gaz.

En particulier au cours des travaux de maintenance, de réparation ou d'extension:

- s'assurer que les travaux de maintenance, de réparation et d'extension ne sont réalisés que par du personnel qualifié et formé;
- préparer un plan de sécurité et de protection pour les travaux. Indiquer qui est responsable de la planification, de la mise en place et de la mise en application des mesures de sécurité et de protection;
- vérifier les dispositifs d'interverrouillage et de protection avant le démarrage;
- porter une attention particulière aux manœuvres manuelles, en particulier lorsque l'appareillage est sous tension;
- informer le personnel pouvant se trouver à proximité de l'appareillage avant de le faire fonctionner (par exemple, au moyen d'un avertisseur sonore ou d'une lumière clignotante);
- marquer les issues de secours et veiller à ce que les passages ne soient pas obstrués;
- indiquer aux personnes concernées comment travailler en toute sécurité dans un environnement d'appareillage et les mesures à prendre en cas d'urgence.

13 Influence du produit sur l'environnement

La documentation doit inclure les informations appropriées suivantes concernant l'impact sur l'environnement de l'appareillage:

- a) Lorsque des fluides sont utilisés dans l'appareillage, des instructions doivent être fournies afin de permettre à l'utilisateur de:
 - 1) réduire autant que possible le taux de fuite;
 - 2) contrôler la manipulation des fluides neufs et usagés (pour SF₆ et ses mélanges, voir l'IEC 62271-4).
- b) Les instructions concernant les procédures de démontage et traitement de la fin de vie pour les différents matériaux de l'équipement, et indiquer la possibilité de recyclage.

Annexe A (normative)

Identification des objets d'essai

A.1 Généralités

Pour l'identification d'un objet d'essai, les sujets suivants doivent être couverts.

A.2 Données

- Nom du constructeur;
- Désignation du type, des caractéristiques assignées et du numéro de série de l'appareil;
- Description générale de l'appareil (incluant le nombre de pôles, les systèmes d'interverrouillage, les jeux de barres, les circuits de mise à la terre, et le principe d'interruption de l'arc);
- Marque, type, numéros de série, caractéristiques assignées des parties essentielles, lorsque ceci est applicable (par exemple les mécanismes de commande, les ampoules à vide, les impédances shunt, les relais, les éléments fusibles de remplacement, les isolateurs);
- Caractéristiques assignées des éléments fusibles de remplacement et dispositifs de protection;
- Indiquer si l'appareil est destiné à être utilisé en position verticale et/ou horizontale.

A.3 Plans

Plans à fournir	Contenu du plan (selon le cas)
Schéma unifilaire du circuit principal	Désignation du type des composants principaux
Description générale NOTE Pour un ensemble d'appareillages, il peut être nécessaire de fournir des plans de l'ensemble complet et de chaque appareil de connexion.	Dimensions hors tout Structure de support et points de bridage Enveloppe(s) Dispositifs limiteurs de pression Parties conductrices du circuit principal Conducteurs de mise à la terre et connexions de mise à la terre Distances d'isolement: – à la terre, entre contacts ouverts – entre pôles Emplacement et dimensions des barrières entre pôles Emplacement d'écrans métalliques mis à la terre, de volets ou cloisons par rapport aux parties actives Niveau du liquide isolant Emplacement et désignation du type des isolateurs Emplacement et désignation du type des transformateurs de mesure
Plans de détail des isolateurs	Matériau Dimensions (y compris le profil et les lignes de fuite)

Plans à fournir	Contenu du plan (selon le cas)
Plans concernant les boîtes à câbles	Distances d'isolement Dimensions principales Bornes Niveau ou quantité et spécifications de l'isolant dans les extrémités de câbles Détails des extrémités de câbles
Plans de détail des parties du circuit principal et des composants associés	Dimensions et matériau des parties principales Vue en coupe transversale selon l'axe des contacts principaux et d'arc Course des contacts mobiles Distance d'isolement entre contacts ouverts Distance entre le point de séparation des contacts et la fin du déplacement Ensemble des contacts fixe et mobile Détails des bornes (dimensions, matériaux) Identité des ressorts Matériau et lignes de fuite des parties isolantes
Plans de détail des mécanismes (incluant les mécanismes de couplage et de commande)	Disposition et identité des composants principaux des chaînes cinématiques pour: – les contacts principaux – les contacts auxiliaires – les auxiliaires automatiques de commande – indicateur de position Dispositif d'accrochage Ensemble du mécanisme de commande Dispositifs d'interverrouillage Identité des ressorts Dispositifs de commande et dispositifs auxiliaires
Schéma électrique des circuits auxiliaires et de commande (si ceci est applicable)	Désignation de type de tous les composants

Annexe B (informative)

Détermination de la valeur efficace équivalente d'un courant de courte durée pendant un court-circuit d'une durée donnée

La méthode représentée à la Figure B.1 peut être utilisée pour déterminer le courant de courte durée, si aucun équipement numérique ne permet de le calculer correctement (voir 7.6.3).

La durée totale t_t de l'essai est divisée en dix parties égales par des verticales numérotées 0 – 0,1... 1 et la valeur efficace de la composante alternative du courant est mesurée sur ces verticales.

Ces valeurs sont désignées par $Z_0, Z_1 \dots Z_{10}$

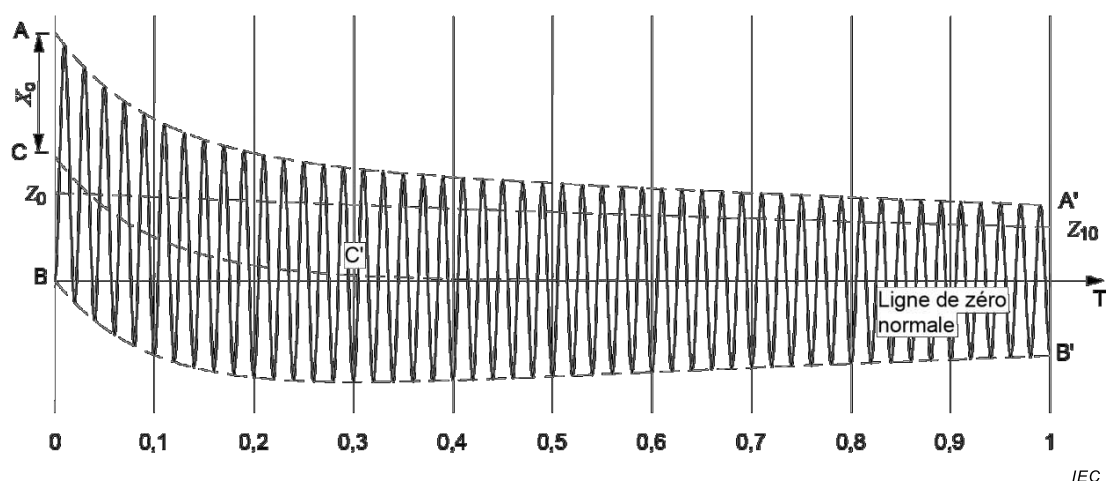
où

$Z = X / \sqrt{2}$ et X est égal à la valeur de crête de la composante alternative du courant.

La valeur efficace équivalente du courant pour la durée t_t est donnée par:

$$I_t = \sqrt{\frac{1}{30} \left[Z_0^2 + 4(Z_1^2 + Z_3^2 + Z_5^2 + Z_7^2 + Z_9^2) + 2(Z_2^2 + Z_4^2 + Z_6^2 + Z_8^2) + Z_{10}^2 \right]}$$

La composante continue du courant représentée par CC' n'est pas prise en considération.



Légende

AA'	Enveloppes de l'onde de courant
BB'	
CC'	Déplacement instantané de la ligne de zéro de l'onde de courant par rapport à la ligne de zéro normale
$Z_0 \dots Z_{10}$	Valeur efficace à chaque instant de la composante alternative du courant, mesurée à partir de la ligne de zéro normale.
X_0	Valeur de crête de la composante alternative du courant au début du court-circuit
BT	Durée du court-circuit, t_t

Figure B.1 – Détermination du courant de courte durée

Annexe C (normative)

Méthode pour l'essai de protection contre les intempéries de l'appareillage pour installation à l'extérieur

L'appareillage à soumettre à l'essai doit être complet et équipé de tous les accessoires prévus tels que capots, écrans, traversées, etc., et doit être placé dans la zone exposée à la pluie artificielle. Pour des appareillages comportant plusieurs unités fonctionnelles, au moins deux unités doivent être utilisées pour la vérification de l'étanchéité des joints entre eux.

La pluie artificielle doit être fournie par un nombre suffisant de buses arrosant de façon uniforme les surfaces en essai. Il est admis de soumettre séparément à l'essai les différentes surfaces de l'appareillage, à condition qu'elles soient arrosées simultanément et de façon uniforme:

- a) la surface supérieure, par des buses qui se trouvent à une hauteur appropriée;
- b) le sol à l'extérieur du matériel, sur une distance de 1 m devant la surface en essai, le matériel se trouvant à la hauteur minimale au-dessus du sol indiquée par le constructeur.

Si la largeur du matériel dépasse 3 m, il est admis d'arroser successivement des tranches de 3 m de largeur. Il n'est pas nécessaire de soumettre à la pluie artificielle les enveloppes sous pression.

Chaque buse utilisée pour cet essai doit fournir un jet d'eau à section carrée et de distribution uniforme; elle doit avoir un débit de $30 \text{ l/min} \pm 3 \text{ l/min}$ à une pression de $460 \text{ kPa} \pm 46 \text{ kPa}$, l'angle d'ouverture du jet étant de 60° à 80° . L'axe longitudinal de chaque buse doit être incliné vers le sol, de sorte que la limite supérieure du jet se trouve dans un plan horizontal lorsqu'il est dirigé vers les surfaces verticales soumises à l'essai. Il est recommandé de disposer les buses sur un tube support vertical à une distance d'environ 2 m entre elles (voir disposition d'essai de la Figure C.1).

La pression dans le tube d'alimentation des buses doit être de $460 \text{ kPa} \pm 46 \text{ kPa}$ lorsque l'eau circule. La quantité d'eau appliquée à chaque surface en essai doit être d'environ 5 mm/min, chaque surface ainsi soumise à l'essai devant être arrosée avec cette quantité de pluie artificielle pendant 5 min. L'orifice de chaque buse doit se trouver à une distance comprise entre 2,5 m et 3 m de la surface verticale la plus proche en essai.

NOTE Au cas où une buse conforme au dessin de la Figure C.2 est utilisée, la quantité d'eau est considérée comme correspondant au présent document lorsque la pression est de $460 \text{ kPa} \pm 10 \%$.

Immédiatement après l'essai, le matériel doit être examiné en vue de vérifier si les exigences suivantes sont remplies:

- a) aucune présence d'eau ne doit être constatée sur l'isolation des circuits principaux et auxiliaires;
- b) aucune présence d'eau ne doit être constatée sur les matériels électriques et les mécanismes de commande à l'intérieur de l'équipement;
- c) la charpente ou d'autres parties non isolantes ne doivent pas retenir une quantité notable d'eau (afin de réduire le plus possible la corrosion).

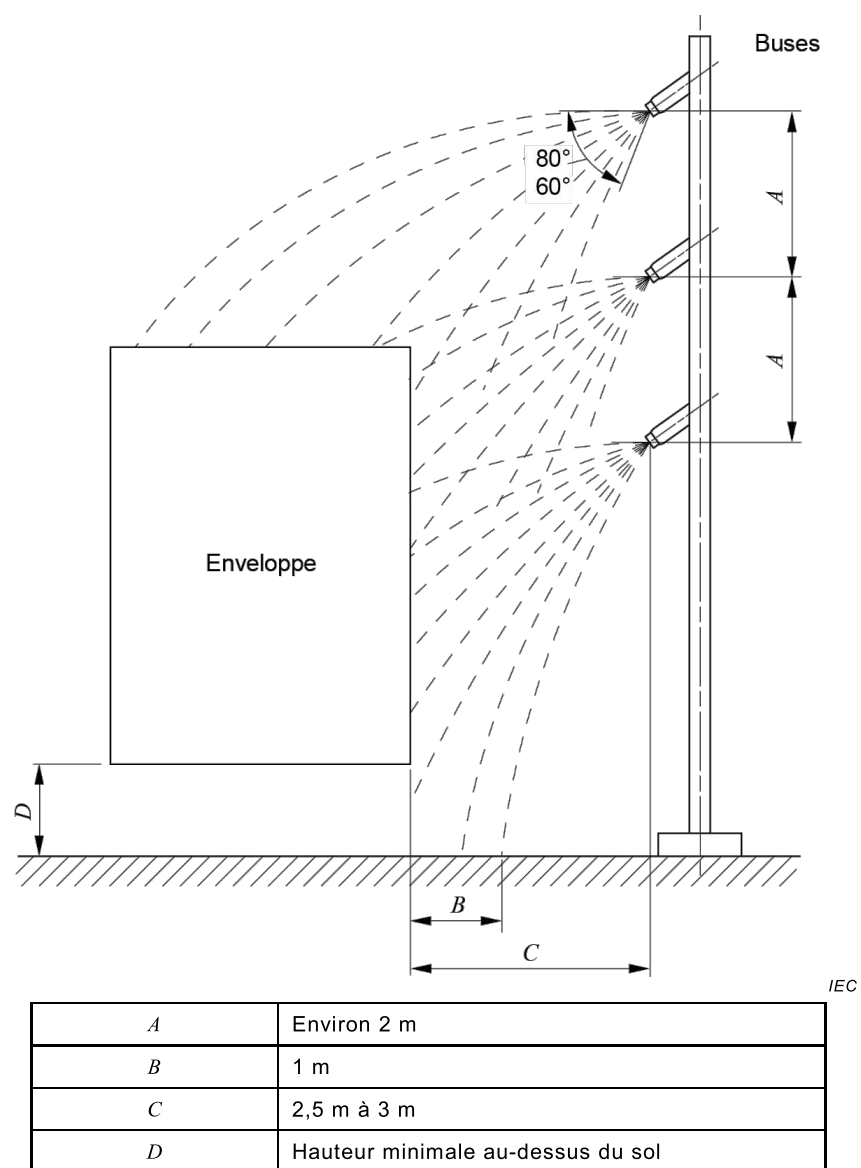


Figure C.1 – Disposition pour l'essai de protection contre les intempéries

Dimensions en millimètres

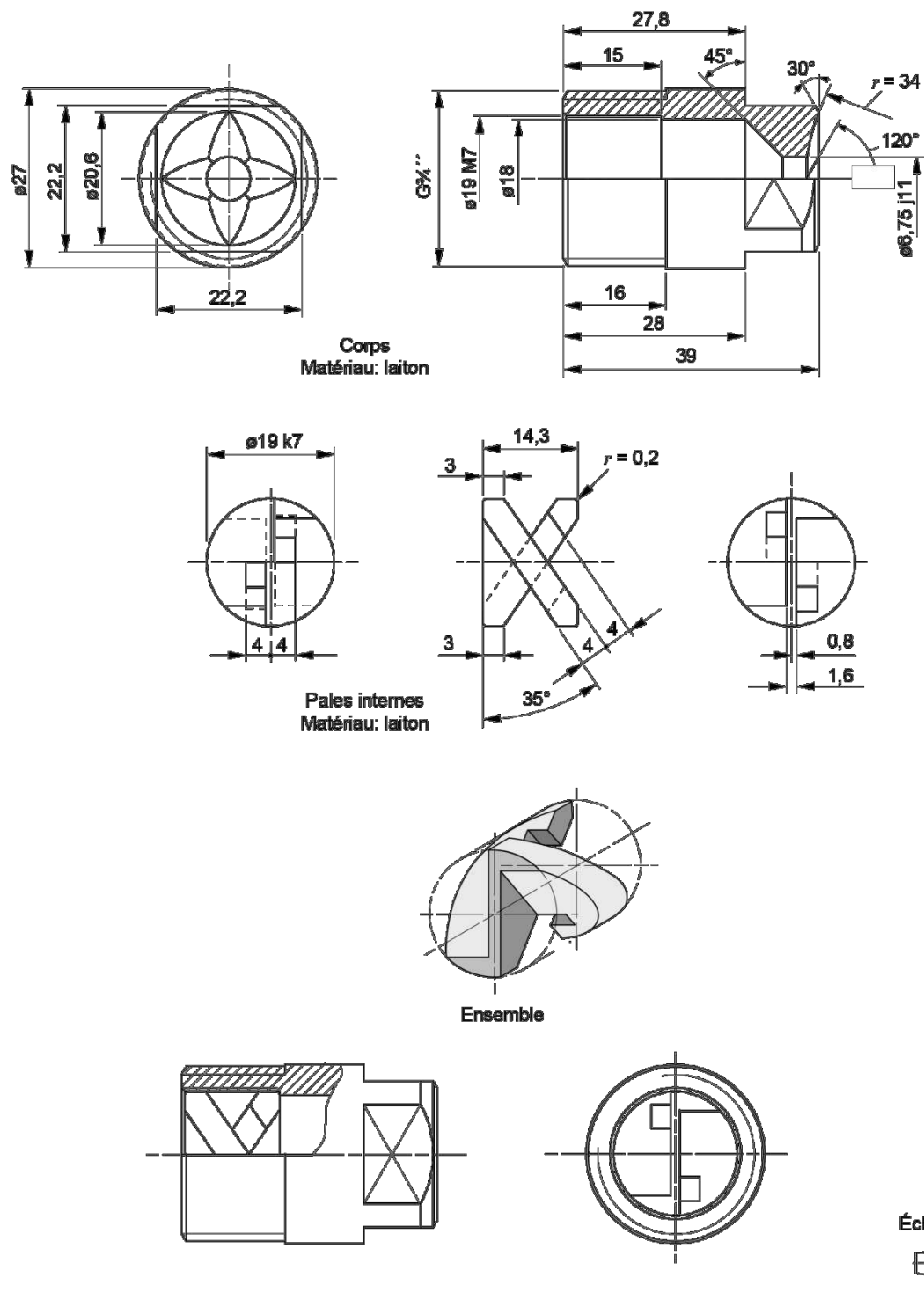


Figure C.2 – Buse pour l'essai de protection contre les intempéries

Annexe D (informative)

Références pour les composants des circuits auxiliaires et de commande

Le Tableau D.1 est donné comme référence rapide à un certain nombre de normes de composants. Il convient d'utiliser les éditions récentes.

**Tableau D.1 – Liste de documents de référence pour
les composants des circuits auxiliaires et de commande (1 de 2)**

Dispositif		Norme IEC
Câbles et câblage	Câblage isolé au PVC	IEC 60227 (toutes les parties) [36]
	Dimensions des conducteurs et des câbles	IEC 60228 [37]
	Câbles isolés au caoutchouc	IEC 60245 (toutes les parties) [38]
	Identification	IEC 60445 [39]
Bornes	Blocs de jonction pour les fils ronds	IEC 60947-7-1 [40]
	Blocs de jonction de protection pour les fils ronds	IEC 60947-7-2 [41]
	Identification	IEC 60445 [39]
Relais	Relais de tout ou rien	IEC 61810 (toutes les parties) [42]
	Caractéristiques assignées de tension et plage de fonctionnement des relais de tout ou rien	IEC 61810-1 [43]
	Performances des contacts des relais	IEC 61810-2 [44]
Contacteurs et démarreurs	Contacteurs et démarreurs électromécaniques	IEC 60947-4-1 [45]
	Contacteurs électromagnétiques associés à un relais pour protection contre les courts-circuits	IEC 60947-2 [46]
	Démarreurs de moteurs (courant alternatif)	IEC 60947-4-1 [45]
	Gradateurs à semiconducteurs de moteurs à courant alternatif	IEC 60947-4-2 [47]
	Relais de protection contre les surcharges des moteurs	IEC 60947-4-1 [45]
Interrupteurs basse tension	Interrupteurs basse tension pour circuits de moteur et circuits de distribution	IEC 60947-3 [48]
	Auxiliaires manuels de commande et boutons-poussoirs	IEC 60947-5-1 [49]
	Auxiliaires automatiques de commande: détecteurs de pression à contacts, détecteurs de température à contacts, etc.	IEC 60947-5-1 [49]
	Dispositifs de commande à usage domestique sensibles à l'humidité	IEC 60730-2-13 [50]
	Interrupteurs à usage domestique	IEC 60669-1 [51]
	Thermostats à usage domestique	IEC 60730-2-9 [52]
	Interrupteur à levier	IEC 61020-1 [53]
	Symboles graphiques pour interrupteurs manuels	IEC 60417 [26]
	Couleurs des voyants lumineux pour interrupteurs manuels	IEC 60073 [25]
Disjoncteurs basse tension et disjoncteurs basse tension avec une protection par courant différentiel résiduel	Exigences	IEC 60947-2 [46]

Tableau D.1 (2 de 2)

Dispositif		Norme IEC
Fusibles basse tension	Exigences générales	IEC 60269-1 [54]
	Exigences supplémentaires pour les fusibles destinés à être utilisés par des personnes habilitées (fusibles pour usages essentiellement industriels) – Exemples de système de fusibles normalisés A à K	IEC 60269-2 [55]
Sectionneurs basse tension	Exigences	IEC 60947-3 [48]
Moteurs	Exigences	IEC 60034-1 [56]
Appareils de mesure	Appareils de mesure analogiques	IEC 60051-1 [57]
	Ampèremètres et voltmètres	IEC 60051-2 [58]
	Fréquencemètres	IEC 60051-4 [59]
	Appareils de mesure des déphasages et facteur de puissance	IEC 60051-5 [60]
Voyants lumineux	Exigences	IEC 60947-5-1 [49]
	Symboles graphiques	IEC 60417 [26]
	Couleurs des voyants lumineux	IEC 60073 [25]
Prises, prolongateurs industriels et connecteurs	Exigences pour les prises, prolongateurs industriels et connecteurs	IEC 60309-1 [61]
	Dimensions et interchangeabilité	IEC 60309-2 [62]
	Prises, prolongateurs et connecteurs pour usages domestiques	IEC TR 60083 [63]
	Autres connecteurs et fiches	IEC 60130 (toutes les parties) [64]
Circuits imprimés	Exigences	IEC 62326-1 [65]
Résistances	Potentiomètres	IEC 60393-1 [66]
	Résistances de 1 W à 1 000 W	IEC 60115-4 (toutes les parties) [67]
Éclairage	Lampes tubulaires à fluorescence	IEC 60081 [68]
	Lampes à filament de tungstène	IEC 60064 [69]
NOTE Pour des informations complémentaires sur les composants électroniques utilisés dans les équipements auxiliaires et de commande, se reporter à l'IEC TR 62063 [70].		

Annexe E (normative)

Tolérances sur les grandeurs d'essai

Pendant les essais de type, les types de tolérances ci-dessous peuvent normalement être distingués:

- tolérances sur les grandeurs d'essai qui déterminent directement la contrainte sur l'objet d'essai;
- tolérances qui concernent les caractéristiques ou le comportement de l'objet d'essai avant ou après les essais;
- tolérances sur les conditions d'essai;
- tolérances qui concernent les paramètres des dispositifs de mesure à appliquer.

Une tolérance est définie comme la plage de valeurs d'essai spécifiée par la norme dans laquelle la valeur d'essai mesurée doit rester pour que l'essai soit valable. Dans certains cas, l'essai peut rester valable même si la valeur mesurée tombe hors de la plage: il s'agit du cas où cette valeur implique une condition d'essai plus sévère.

Tout écart entre la valeur d'essai mesurée et la valeur d'essai réelle causé par l'incertitude de mesure n'est pas pris en compte ici.

Les règles de base pour l'application des tolérances sur les grandeurs d'essai pendant les essais de type sont les suivantes:

- a) les stations d'essai doivent viser autant que faire se peut la valeur d'essai spécifiée;
- b) les tolérances sur les grandeurs d'essai spécifiées doivent être respectées par la station d'essai. Des contraintes plus importantes que celles des tolérances ne sont permises qu'avec l'accord du constructeur;
- c) quand, pour une quelconque grandeur d'essai, il n'y a pas de tolérance donnée par ce document, ou la norme à appliquer, l'essai de type ne doit pas être moins sévère que spécifié. La limite supérieure de contrainte doit faire l'objet de l'accord du constructeur.

Tableau E.1 – Tolérances sur les grandeurs d'essai pour les essais de type

Paragraphe	Description de l'essai	Grandeur d'essai	Valeur d'essai spécifiée	Tolérances d'essai / limites sur les valeurs d'essai	Référence à
7.2 jusqu'à 7.2.12	Essais diélectriques				
7.2.7.2, 7.2.8.2, 7.2.12, 7.10.5	Essais à fréquence industrielle	Tension d'essai (valeur efficace)	Tension de tenue de courte durée à fréquence industrielle assignée	$\pm 1 \%$	IEC 60060-1:2010
		Fréquence	–	45 Hz à 65 Hz	
		Forme d'onde	Valeur de crête / valeur efficace = $\sqrt{2}$	$\pm 5 \%$	
7.2.7.3 et 7.2.8.4	Essais de tenue au choc de foudre	Valeur de crête	Tension de tenue aux chocs de foudre assignée	$\pm 3 \%$	IEC 60060-1:2010
		Temps de montée	1,2 μs	$\pm 30 \%$	
		Temps à mi-valeur	50 μs	$\pm 20 \%$	
7.2.8.3	Essais de tenue aux chocs de manœuvre	Valeur de crête	Tension de tenue aux chocs de manœuvre assignée	$\pm 3 \%$	IEC 60060-1:2010
		Temps de montée	250 μs	$\pm 20 \%$	
		Temps à mi-valeur	2 500 μs	$\pm 60 \%$	
7.3 et 7.9.1.1	Essais de perturbations radioélectriques	Tension d'essai		$\pm 1 \%$	
		Fréquence d'accord du circuit de mesure		+10 % de 0,5 MHz ou bien entre 0,5 MHz et 2 MHz	
7.4.4	Mesurage de la résistance des circuits	Courant continu d'essai, I_{DC}	–	$50 \text{ A} < I_{\text{DC}} \leq$ courant permanent assigné ou -20% , $+0 \%$ de $I_r \leq 50 \text{ A}$	
7.5	Essais au courant permanent	Vitesse de l'air ambiant	–	$\leq 0,5 \text{ m/s}$	
		Fréquence du courant d'essai	Fréquence assignée	-5% , $+2 \%$	
		Courant d'essai	Continu permanent assigné	-0% , $+2 \%$ Ces limites doivent être respectées seulement durant les deux dernières heures de la durée de l'essai	
		Température de l'air ambiant T_a	--	$+10 \text{ }^\circ\text{C} < T_a \leq 40 \text{ }^\circ\text{C}$	
7.6	Essais au courant de courte durée admissible et à la crête de courant admissible	Fréquence d'essai	Fréquence assignée	$\pm 10 \%$ au début de l'essai, -20% , $+10 \%$ à la fin	
		Crête de courant (dans une des phases extrêmes)	Valeur de crête du courant admissible assignée	-0% , $+5 \%$	

Paragraphe	Description de l'essai	Grandeur d'essai	Valeur d'essai spécifiée	Tolérances d'essai / limites sur les valeurs d'essai	Référence à
		Moyenne de la composante alternative des trois phases du courant d'essai	Courant de courte durée admissible assigné	Voir les tolérances pour I^2t en 7.6.3	7.6.3
		Composante alternative du courant d'essai dans chacune des phases / moyenne des trois phases	1	$\pm 10 \%$	
		Durée du courant de court-circuit	Durée de court-circuit assignée	Maximum 5 s	7.6.3
		Valeur de I^2t	Valeur I^2t Issue des valeurs assignées de durée et de courant de courte durée admissible	$-0 \%, +10 \%$	
7.9.2.3	Essai d'immunité aux ondes oscillatoires	Essai aux ondes oscillatoires amorties	Fréquence d'essai 100 kHz, 1 MHz	$\pm 30 \%$	IEC 61000-4-18
7.10.3.3	Courant de courte durée admissible assigné des contacts auxiliaires	Valeur du courant d'essai		$-0 \%, +5 \%$	
		Durée du courant d'essai		$-0 \%, +10 \%$	
7.10.3.4	Pouvoir de coupure des contacts auxiliaires	Valeur de la tension d'essai		$-0 \%, +10 \%$	
		Valeur du courant d'essai		$-0 \%, +5 \%$	
		Constante de temps du circuit d'essai		$-0 \%, +20 \%$	
7.10.4.2	Essais de froid	Température minimale et maximale de l'air ambiant pendant les essais	–	$\pm 3 \text{ K}$	IEC 60068-2-1:2007
7.10.4.3	Essai de chaleur sèche	Température minimale et maximale de l'air ambiant pendant les essais	–	$\pm 3 \text{ K}$	IEC 60068-2-2:2007
7.10.4.4	Essai cyclique de chaleur humide	Température minimale du cycle		$\pm 3 \text{ K}$	IEC 60068-2-30:2005
		Température maximale du cycle		$\pm 2 \text{ K}$	
7.10.4.5	Essais de comportement aux vibrations et de tenue aux séismes				IEC 60255-21-1:1988
7.11.1.3	Radiamètre	Exactitude de mesure du rayonnement		$\pm 25 \%$	
	Réponse en énergie	Exactitude de mesure de l'énergie		$\pm 15 \%$	

Annexe F (informative)

Renseignements et exigences techniques à donner dans les appels d'offres, les soumissions et les commandes

F.1 Généralités

La présente annexe fournit sous forme de tableau une liste d'informations techniques utiles devant être prises en compte pour un échange éventuel entre l'utilisateur et le fournisseur à l'étape contractuelle.

Lorsque l'expression "Informations fournisseur" est mentionnée dans le tableau, ceci signifie que seul le fournisseur doit fournir ces informations.

Il convient de porter une attention particulière au fait qu'il convient de compléter ce tableau par des informations et caractéristiques applicables au type d'appareillage pris en considération (voir les normes de produits).

F.2 Conditions normales et spéciales de service (voir l'Article 4)

		Exigences de l'utilisateur	Propositions du fournisseur
Condition de service	À l'intérieur ou à l'extérieur		
Température de l'air ambiant:			
Minimale	°C		
Maximale	°C		
Rayonnement solaire	W/m ²		
Altitude	m		
Pollution	Classe		
Poussière excessive ou sel			
Couche de glace	mm		
Vent	m/s		
Humidité	%		
Condensation ou précipitation			
Vibrations	Classe		
Perturbations électromagnétiques induites dans les circuits auxiliaires et de commande	kV		

F.3 Caractéristiques assignées (voir l'Article 5)

		Exigences de l'utilisateur	Propositions du fournisseur
Tension assignée pour le matériel (U_r)	kV		
Niveaux d'isolement assignés entre phase et terre et entre phases			
Tension de tenue de courte durée à fréquence industrielle assignée (U_d)	kV		
Tension de tenue aux chocs de manœuvre assignée (U_s)	kV		
– entre phase et terre	kV		
– entre phases	kV		
Tension de tenue aux chocs de foudre assignée (U_p)	kV		
Fréquence assignée (f_r)	Hz		
Courant permanent assigné (I_r)	A	Selon schéma unifilaire	
Courant de courte durée admissible assigné (I_k)	kA		
Valeur de crête du courant admissible assignée (I_p)	kA		
Durée de court-circuit assignée (t_k)	s		
Tension d'alimentation assignée des dispositifs de fermeture et d'ouverture et des circuits auxiliaires et de commande (U_a)	V		
Fréquence d'alimentation assignée des dispositifs de fermeture et d'ouverture et des circuits auxiliaires	Hz	courant continu ou 50 ou 60	

F.4 Conception et construction (voir l'Article 6)

À compléter par les informations fournies par les normes de produits applicables.

		Exigences de l'utilisateur	Propositions du fournisseur
Nombre de phases	Enveloppe monophasée ou triphasée		
Masse de l'unité de transport la plus lourde			
Mesures à prévoir pour le montage			
Type du système à remplissage de gaz ou de liquide			
Dimensions hors tout de l'installation			
Désignation des appellations et catégories des différents compartiments			
Niveau de remplissage assigné et niveau minimal de fonctionnement			
Dispositifs d'interverrouillage et de surveillance basse et haute pression			
Dispositifs d'interverrouillage			
Degrés de protection			
Disposition des connexions externes			
Faces accessibles			
Volume de liquide ou masse de gaz ou de liquide pour les différents compartiments			
Dispositifs pour le transport et le montage			
Renseignements concernant le fonctionnement et la maintenance			
Spécification de l'état du gaz ou du liquide			

F.5 Informations du réseau

		Informations utilisateur
Tension nominale du réseau	kV	
Tension la plus élevée du réseau	kV	
Nombre de phases		
Type de mise à la terre du neutre du réseau		Directement ou non directement

F.6 Documentation pour les appels d'offres et les soumissions

	Exigences de l'utilisateur	Propositions du fournisseur
Limite de fourniture (formation, études techniques et de disposition, et exigences relatives à la coopération avec d'autres parties)		
Schéma unifilaire		
Plans généraux de la disposition du poste		
Dispositions pour le transport et le montage à fournir par l'utilisateur		
Charges sur fondations	Informations fournisseur	
Schémas de principe du circuit de gaz	Informations fournisseur	
Liste des rapports d'essais de type	Informations fournisseur	
Liste des pièces de rechange recommandées	Informations fournisseur	

Annexe G (informative)

Liste des symboles

Description	Symbole	Paragraphe
Taux de fuite absolu	F	3.6.6.4
Taux de fuite absolu	F_{liq}	3.6.7.1
Pression (ou masse volumique) d'alarme pour l'isolement et/ou la coupure	$p_{\text{ae}} (\rho_{\text{ae}})$	3.6.5.3
Pression (ou masse volumique) d'alarme pour la manœuvre	$p_{\text{am}} (\rho_{\text{am}})$	3.6.5.4
Pression de remplissage	P_r	7.8.2
Pression (ou masse volumique) de remplissage pour l'isolement et /ou la coupure	$p_{\text{re}} (\rho_{\text{re}})$	3.6.5.1
Pression (ou masse volumique) de remplissage pour la manœuvre (ou la densité)	$P_{\text{rm}} (\rho_{\text{rm}})$	3.6.5.2
Résistance du circuit principal mesurée avant l'essai au courant permanent	R_u	8.4
Pression mesurée	P_m	7.8.2
Pression (ou masse volumique) minimale de fonctionnement pour l'isolement et/ou la coupure	$p_{\text{me}} (\rho_{\text{me}})$	3.6.5.5
Pression (ou masse volumique) minimale de fonctionnement pour la manœuvre	$p_{\text{mm}} (\rho_{\text{mm}})$	3.6.5.6
Nombre de compléments de remplissage par jour	N	3.6.6.8
Nombre de compléments de remplissage par jour	N_{liq}	3.6.7.3
Tension partielle par rapport à la terre	U_f	7.2.6.3 b)
Taux de fuite admissible	F_p	3.6.6.5
Taux de fuite admissible	$F_{p(\text{liq})}$	3.6.7.2
Baisse de pression	Δp	3.6.6.9
Baisse de pression	Δp_{liq}	3.6.7.4
Protection contre la pénétration d'eau (codification)	IP	6.14.3
Protection du matériel contre les impacts mécaniques dans les conditions normales de service (codification)	IK	6.14.4
Essai de tension de perturbation radioélectrique	RIV	7.3
Courant permanent assigné	I_r	5.5
Durée de court-circuit assignée	t_k	5.8
Fréquence assignée	f_r	5.4
Tension de tenue aux chocs de foudre assignée	U_p	5.3
Valeur de crête du courant admissible assignée	I_p	5.7
Tension de tenue de courte durée à fréquence industrielle assignée	U_d	5.3
Courant de courte durée admissible assigné	I_k	5.6
Tension d'alimentation assignée	U_a	5.9.2
Tension d'alimentation assignée des dispositifs de fermeture et d'ouverture et des circuits auxiliaires et de commande	U_a	5.9
Tension de tenue aux chocs de manœuvre assignée	U_s	5.3
Tension assignée	U_r	5.2
Taux de fuite relatif	F_{rel}	3.6.6.6
Intervalle entre compléments de remplissage	T_r	3.6.6.7
Tension d'essai totale	U_t	7.2.6.3 b)

Annexe H (informative)

Compatibilité électromagnétique sur site

Les mesurages de la CEM sur site ne sont pas des essais de type mais peuvent être effectués dans des conditions spéciales:

- lorsqu'il est jugé nécessaire de vérifier que les contraintes effectives sont couvertes par la classe de sévérité CEM des circuits auxiliaires et de commande;
- pour évaluer l'environnement électromagnétique;
- afin d'appliquer une méthode d'atténuation adéquate, si nécessaire;
- pour enregistrer les tensions électromagnétiques induites dans les circuits auxiliaires et de commande, dues aux manœuvres dans le circuit principal et dans les circuits auxiliaires et de commande. Il n'est pas jugé nécessaire de soumettre à l'essai tous les circuits auxiliaires et de commande du poste à l'étude. Il convient de choisir une configuration typique.

Il convient de réaliser le mesurage des tensions induites aux bornes de sortie représentatives à l'interface entre les circuits auxiliaires et de commande et le réseau environnant, par exemple aux bornes d'entrée de l'armoire de commande, sans déconnecter le système. Il convient que les enregistreurs de tensions induites soient connectés comme indiqué dans l'IEC TR 60816 [71].

Il convient de réaliser les manœuvres à la tension normale de service, aussi bien dans le circuit principal que dans les circuits auxiliaires et de commande. Les tensions induites varient statistiquement et il convient donc de choisir un nombre représentatif de fermetures et de coupures avec des instants de manœuvre aléatoires.

Les manœuvres dans le circuit principal doivent être effectuées à vide. Les essais comprennent donc des manœuvres de parties du poste, mais sans courant de charge ni de défaut.

Il convient de réaliser les manœuvres de fermeture dans les circuits principaux avec une charge piégée sur le côté aval correspondant à la tension normale de service. Cette condition pouvant être difficile à réaliser au cours des essais, la procédure d'essai peut aussi être la suivante:

- décharger le côté aval avant la fermeture pour s'assurer que la tension de la charge piégée est nulle;
- multiplier la valeur de tension enregistrée à la fermeture par 2, pour simuler le cas d'une charge piégée sur le côté aval.

L'appareil de connexion dans le système primaire doit être manœuvré de préférence à la pression assignée et à la tension auxiliaire assignée.

NOTE 1 En ce qui concerne les tensions induites, les cas les plus sévères se produisent habituellement quand seule une petite partie du poste est manœuvrée.

NOTE 2 Les perturbations électromagnétiques les plus sévères sont supposées se produire pendant la manœuvre des sectionneurs, notamment pour les postes à isolation gazeuse.

Il convient que la valeur de crête enregistrée ou calculée de la tension induite en mode commun, due à l'activation du circuit principal, ne dépasse pas 1,6 kV pour les interfaces des circuits auxiliaires et de commande.

Annexe I **(informative)**

Liste des notes concernant certains pays

En référence à l'Annexe SC des *Directives IEC/ISO, Supplément – Procédures spécifiques à l'IEC* (2016), un Comité national de l'IEC peut fournir une déclaration à inclure dans une Norme internationale, informant l'utilisateur de la norme des conditions particulières en vigueur dans son pays.

Article	Texte
6.14.1	NOTE En complément à l'IEC 60529, les enveloppes doivent être conçues pour empêcher tout accès non autorisé en installant des dispositifs de verrouillage ou en nécessitant un outil spécial pour ouvrir les portes. Les charnières de portes et les panneaux d'accès ne sont pas démontables de l'extérieur (États-Unis).
6.14.2	NOTE Le code minimal par défaut est IP2XB (États-Unis)
7.2.12	NOTE La tension d'essai exigée pour les sectionneurs et les interrupteurs-sectionneurs de toutes les tensions assignées est égale à 100 % de la tension indiquée dans les colonnes 3 des Tableaux 1 ou 2 et 3 ou 4 (Canada).

Annexe J **(informative)**

Extension de la validité des essais de type

J.1 Généralités

Il n'est pas nécessaire de répéter un essai de type particulier dans certaines conditions, par exemple:

- pour une modification des détails de construction, si le constructeur peut démontrer que cette modification n'a pas d'influence sur le résultat de l'essai de type particulier;
- pour une modification des instructions d'installation, sous réserve que les conditions d'essai ne soient pas annulées par les nouvelles instructions (voir J.2, par exemple);
- pour couvrir d'autres valeurs assignées pour le même appareillage, si ces nouvelles valeurs assignées sont couvertes par les essais déjà effectués (voir J.3 ou lorsque des performances inférieures sont requises, par exemple).

Des exemples particuliers, lorsque l'extension d'un essai de type peut être utilisée pour valider des modifications de conception ou d'autres équipements similaires, sans répéter des essais de type, sont donnés dans les paragraphes suivants. À noter qu'il convient d'apporter des preuves justificatives pour valider de telles extensions d'essais de type.

De plus amples informations peuvent être obtenues dans les normes de produits et/ou les rapports techniques, par exemple, l'IEC TR 62271-307 [72].

J.2 Essais diélectriques

Pour les conducteurs ouverts, les essais diélectriques réalisés concernent d'autres dispositifs présentant des distances d'isolement égales ou supérieures par rapport au voisinage (par exemple hauteur au-dessus du sol) et entre conducteurs, si les matériaux isolants et les formes des conducteurs et isolateurs sont identiques.

J.3 Essais au courant de courte durée admissible

Les essais au courant de courte durée admissible et à la valeur de crête du courant admissible effectués à 50 Hz ou 60 Hz, en utilisant un facteur de crête de 2,6, couvrent les deux fréquences pour les réseaux ayant une constante de temps de la composante continue de 45 ms ou inférieure.

Les essais au courant de courte durée admissible et à la valeur de crête du courant admissible effectués à 50 Hz ou 60 Hz, en utilisant un facteur de crête de 2,7, couvrent les deux fréquences pour toutes les constantes de temps de la composante continue.

J.4 Essai au courant permanent

Un essai effectué sur un seul pôle ou un seul élément couvre des dispositions de plus grande taille (c'est-à-dire à trois pôles ou plusieurs éléments) si l'influence des autres pôles ou autres éléments est négligeable. C'est généralement le cas de l'appareillage nu. Cette disposition est applicable, par exemple, à certains appareils de transmission pour installation à l'extérieur.

Tel qu'indiqué en 7.5.3.1:

- pour les appareillages prévus pour les deux fréquences assignées 50 Hz et 60 Hz sans composants ferreux proches des parties conductrices, l'essai peut être effectué à la fréquence de 50 Hz pour couvrir les deux fréquences, à condition que les valeurs d'échauffement enregistrées pendant les essais à 50 Hz ne dépassent pas 95 % des valeurs maximales admissibles;
- les essais effectués à 60 Hz couvrent les deux fréquences.

J.5 Essais d'immunité électromagnétique sur les circuits auxiliaires et de commande

Les sous-ensembles peuvent être localisés à différents emplacements des circuits auxiliaires et de commande, sans annuler l'essai de type du système complet, à condition que la longueur totale de la filerie et le nombre de fils reliant les sous-ensembles aux circuits auxiliaires et de commande ne soient pas supérieurs à ceux du système soumis aux essais.

Les sous-ensembles interchangeables peuvent être remplacés par des sous-ensembles semblables, sans annuler l'essai de type original, à condition que:

- les règles de conception et d'installation spécifiées dans l'IEC 61000-6-5 soient respectées;
- les essais de type aient été réalisés sur le sous-ensemble le plus complet applicable au type d'appareillage;
- les règles de conception du constructeur soient les mêmes que celles du sous-ensemble soumis aux essais de type.

J.6 Essais d'environnement sur les circuits auxiliaires et de commande

Il n'est pas nécessaire de répéter les essais d'environnement sur les circuits auxiliaires et de commande si les exigences de performances sont validées au cours des essais d'environnement sur l'appareillage complet.

Les parties, ou éléments de l'équipement, des circuits auxiliaires et de commande validés dans une disposition donnée sont également validés lorsqu'ils sont utilisés dans une disposition différente des circuits auxiliaires et de commande appartenant à la même série d'équipements d'appareillages.

Les essais effectués avec une tension d'alimentation donnée pour le circuit auxiliaire et de commande couvrent les circuits auxiliaires et de commande similaires conçus pour des tensions d'alimentation inférieures.

Annexe K (informative)

Exposition à la pollution

K.1 Généralités

La qualité de l'air ambiant par rapport à la pollution par de la poussière, de la fumée, des gaz corrosifs et/ou des gaz inflammables, des vapeurs ou du sel est prise en considération dans les conditions normales et spéciales de service (voir l'Article 4 du présent document). Cette annexe définit les niveaux de pollution ainsi que les recommandations pour les lignes de fuites minimales spécifiques à travers l'isolation externe.

K.2 Degrés de pollution

Pour les besoins de normalisation, les degrés de pollution, très faible, faible et moyen, sont définis de façon qualitative. Les exemples qualitatifs donnés au Tableau K.1 sont des descriptions approchées de certains environnements typiques correspondants. D'autres conditions d'environnement plus extrêmes peuvent également être prises en considération, par exemple la neige et la glace sous une pollution élevée, une forte pluie et des zones arides. Pour ces conditions spéciales, il est fait référence à l'IEC TS 60815-1:2008, l'IEC TS 60815-2:2008 et l'IEC TS 60815-3:2008.

K.3 Exigences minimales relatives à l'appareillage

La ligne de fuite minimale exprimée comme une ligne de fuite spécifique en mm/kV s'applique aux conditions normales de service pour la pollution atmosphérique et aux altitudes allant jusqu'à 1 000 m. En général, cette ligne de fuite minimale permet dans ces conditions une manœuvre en service satisfaisante.

Pour chaque degré de pollution décrit au Tableau K.1, la valeur nominale minimale correspondante recommandée pour la ligne de fuite spécifique unifiée (USCD, *unified specific creepage distance*) en mm/kV dans l'isolateur est donnée au Tableau K.2.

NOTE Les informations du Tableau K.1 sont adaptées de l'IEC TS 60815-1 et les valeurs du Tableau K.2 sont issues de l'IEC TS 60815-2:2008.

Tableau K.1 – Exemples d’environnements par classe de sévérité de pollution d’un site (SPS)

Classe de SPS	Exemple d’environnements typiques
Très faible	Exemple 1: > 50 km^a de la mer, du désert ou d’une terre ferme accessible > 10 km des sources de pollution créées par l’homme ^b À une distance plus courte que celle mentionnée ci-dessus pour les sources de pollution, mais avec: • du vent dominant ne provenant pas directement de ces sources de pollution • et/ou un ruissellement mensuel régulier d’eau de pluie
Faible	Exemple 2: 10 km à 50 km^a de la mer, du désert ou d’une terre ferme accessible 5 km à 10 km des sources de pollution créées par l’homme ^b À une distance plus courte que celle de l’exemple 1 pour les sources de pollution, mais avec: • du vent dominant ne provenant pas directement de ces sources de pollution • et/ou un ruissellement mensuel régulier d’eau de pluie
Moyenne	Exemple 3: 3 km à 10 km^c de la mer, du désert ou d’une terre ferme accessible 1 km à 5 km des sources de pollution créées par l’homme ^b À une distance plus courte que celle mentionnée ci-dessus pour les sources de pollution, mais avec: • du vent dominant ne provenant pas directement de ces sources de pollution • et/ou un ruissellement mensuel régulier d’eau de pluie Exemple 4: À une distance plus éloignée des sources de pollution que celle mentionnée dans l’exemple 3, mais: • de la brume épaisse (ou bruine) se produit souvent après une longue saison sèche d’accumulation de pollution (plusieurs semaines ou mois) • et/ou existence de fortes pluies, à conductivité élevée • et/ou existence d’un niveau de dépôt non soluble élevé (voir l’IEC TS 60815-1:2008)
Élevée et Très élevée	Voir l’IEC TS 60815-1:2008.
^a Au cours d’une tempête, le niveau d’ESDD à une telle distance de la mer peut atteindre un niveau beaucoup plus élevé. ^b La présence d’une grande ville a une influence sur une distance plus longue, c’est-à-dire la distance spécifiée pour la mer, le désert et la terre ferme. ^c En fonction de la topographie de la zone côtière et l’intensité du vent.	

Tableau K.2 – Valeur nominale minimale de la ligne de fuite spécifique par degré de pollution

Classe de SPS	Valeur nominale minimale recommandée de la ligne de fuite spécifique unifiée (USCD) ^a mm/kV
Très faible	22
Faible	27,8
Moyenne	34,7
Élevée et Très élevée	Voir l'IEC TS 60815-1:2008, l'IEC TS 60815-2:2008 et l'IEC TS 60815-3:2008
^a La ligne de fuite spécifique unifiée (USCD) est la ligne de fuite d'un isolateur divisée par la valeur efficace de la tension de fonctionnement la plus élevée à travers l'isolateur. [SOURCE: IEC TS 60815-2:2008, 3.2]	

Bibliographie

- [1] IEC 60447, *Principes fondamentaux et de sécurité pour l'interface homme-machine, le marquage et l'identification – Principes de manœuvre*
- [2] IEC TR 60943:1998, *Guide concernant l'échauffement admissible des parties des matériels électriques, en particulier les bornes de raccordement*
IEC TR 60943:1998/AMD1:2008
- [3] IEC Guide 117, *Electrotechnical equipment – Temperatures of touchable hot surfaces* (disponible en anglais seulement)
- [4] IEC TR 62271-306, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 306: Guide to IEC 62271-100, IEC 62271-1 and other IEC standards related to alternating current circuit-breakers* (disponible en anglais seulement)
- [5] IEC Guide 108, *Lignes directrices pour assurer la cohérence des publications de la CEI – Application des normes horizontales*
- [6] IEC 60721-2-4, *Classification des conditions d'environnement – Partie 2-4: Conditions d'environnement présentes dans la nature – Rayonnement solaire et température*
- [7] IEEE 693, *IEEE Recommended practice for seismic design of substations* (disponible en anglais seulement)
- [8] IEC 60721-2-2, *Classification des conditions d'environnement – Partie 2-2: Conditions d'environnement présentes dans la nature – Précipitations et vent*
- [9] IEC 60721-3-3, *Classification des conditions d'environnement – Partie 3: Classification des groupements des agents d'environnement et de leurs sévérités – Section 3: Utilisation à poste fixe, protégé contre les intempéries*
- [10] IEC 60721-3-4, *Classification des conditions d'environnement – Partie 3: Classification des groupements des agents d'environnement et de leurs sévérités – Section 4: Utilisation à poste fixe, non protégé contre les intempéries*
- [11] IEC 60664-1, *Coordination de l'isolement des matériels dans les systèmes (réseaux) à basse tension – Partie 1: Principes, exigences et essais*
- [12] IEC TS 62271-304, *Appareillage à haute tension – Partie 304: Classes de construction pour l'appareillage d'intérieur sous enveloppe pour tensions assignées à partir de 1 kV jusqu'à 52 kV inclus pour usage sous conditions climatiques sévères*
- [13] IEC TR 62271-300, *Appareillage à haute tension – Partie 300: Qualification sismique des disjoncteurs à courant alternatif*
- [14] IEC 62271-207, *Appareillage à haute tension – Partie 207: Qualification sismique pour ensembles d'appareillages à isolation gazeuse pour des niveaux de tension assignée supérieurs à 52 kV*
- [15] IEC TS 62271-210, *Appareillage à haute tension – Partie 210: Qualification sismique pour ensembles d'appareillage sous enveloppe métallique pour tensions assignées supérieures à 1 kV et inférieures ou égales à 52 kV*
- [16] IEEE 693, *IEEE Recommended practice for seismic design of substations* (disponible en anglais seulement)

- [17] IEEE C37.81, *IEEE Guide for seismic qualification of class 1E Metal-Enclosed Power Switchgear Assemblies* (disponible en anglais seulement)
- [18] IEC 60721-1, *Classification des conditions d'environnement – Partie 1: Agents d'environnement et leurs sévérités*
- [19] IEC 60721-2 (toutes les parties), *Classification des conditions d'environnement – Partie 2: Conditions d'environnement présentes dans la nature*
- [20] IEC 60721-3 (toutes les parties), *Classification des conditions d'environnement – Partie 3: Classification des groupements des agents d'environnement et de leurs sévérités*
- [21] IEEE C37.04, *IEEE Standard Rating Structure for AC High-Voltage Circuit Breakers* (disponible en anglais seulement)
- [22] IEC 61936-1:2010, *Installations électriques en courant alternatif de puissance supérieure à 1 kV – Partie 1: Règles communes*
IEC 61936-1:2010/AMD1:2014
- [23] IEC 61850 (toutes les parties), *Réseaux et systèmes de communication pour l'automatisation des systèmes électriques*
- [24] IEC 62271-3, *Appareillage à haute tension – Partie 3: Interfaces numériques basées sur l'IEC 61850*
- [25] IEC 60073, *Principes fondamentaux et de sécurité pour l'interface homme-machine, le marquage et l'identification – Principes de codage pour les indicateurs et les organes de commande*
- [26] IEC 60417, *Symboles graphiques utilisables sur le matériel* (disponible sur <http://www.graphical-symbols.info/equipment>)
- [27] IEC 60617, *Symboles graphiques pour schémas* (disponible sur <http://std.iec.ch/iec60617>)
- [28] CIGRE Technical Brochure 430, *SF₆ Tightness Guide* (disponible en anglais seulement)
- [29] IEC 60695-1 (toutes les parties), *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 1: Lignes directrices pour l'évaluation du danger du feu des produits électrotechniques*
- [30] IEC 60695-7 (toutes les parties), *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 7: Toxicité des effluents du feu*
- [31] IEC 60068-2-17:1994, *Essais fondamentaux climatiques et de robustesse mécanique – Partie 2-17: Essais – Essai Q: Étanchéité*
- [32] CISPR 16-1 (toutes les parties), *Spécifications des méthodes et des appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Partie 1: Appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques*
- [33] IEC 60909-0, *Courants de court-circuit dans les réseaux triphasés à courant alternatif – Partie 0: Calcul des courants*

- [34] IEC TR 60909-1, *Courants de court-circuit dans les réseaux triphasés à courant alternatif – Partie 1: Facteurs pour le calcul des courants de court-circuit conformément à la CEI 60909-0*
- [35] IEEE C37.122.5, *IEEE Guide for Moisture Measurement and Control in SF6 Gas-Insulated Equipment* (disponible en anglais seulement)
- [36] IEC 60227 (toutes les parties), *Conducteurs et câbles isolés au polychlorure de vinyle, de tension nominale au plus égale à 450/750 V*
- [37] IEC 60228, *Ames des câbles isolés*
- [38] IEC 60245 (toutes les parties), *Conducteurs et câbles isolés au caoutchouc – Tension assignée au plus égale à 450/750 V*
- [39] IEC 60445, *Principes fondamentaux et de sécurité pour les interfaces homme-machines, le marquage et l'identification – Identification des bornes de matériels, des extrémités de conducteurs et des conducteurs*
- [40] IEC 60947-7-1, *Appareillage à basse tension – Partie 7-1: Matériels accessoires – Blocs de jonction pour conducteurs en cuivre*
- [41] IEC 60947-7-2, *Appareillage à basse tension – Partie 7-2: Matériels accessoires – Blocs de jonction de conducteur de protection pour conducteurs en cuivre*
- [42] IEC 61810 (toutes les parties), *Relais électromécaniques élémentaires*
- [43] IEC 61810-1, *Relais électromécaniques élémentaires – Partie 1: Exigences générales et de sécurité*
- [44] IEC 61810-2, *Relais électromécaniques élémentaires – Partie 2: Fiabilité*
- [45] IEC 60947-4-1, *Appareillage à basse tension – Partie 4-1: Contacteurs et démarreurs de moteurs – Contacteurs et démarreurs électromécaniques*
- [46] IEC 60947-2, *Appareillage à basse tension – Partie 2: Disjoncteurs*
- [47] IEC 60947-4-2, *Appareillage à basse tension – Partie 4-2: Contacteurs et démarreurs de moteurs – Gradateurs et démarreurs à semi-conducteurs de moteurs à courant alternatif*
- [48] IEC 60947-3, *Appareillage à basse tension – Partie 3: Interrupteurs, sectionneurs, interrupteurs-sectionneurs et combinés-fusibles*
- [49] IEC 60947-5-1, *Appareillage à basse tension – Partie 5-1: Appareils et éléments de commutation pour circuits de commande – Appareils électromécaniques pour circuits de commande*
- [50] IEC 60730-2-13, *Dispositifs de commande électrique automatiques à usage domestique et analogue – Partie 2-13: Règles particulières pour les dispositifs de commande sensibles à l'humidité*
- [51] IEC 60669-1, *Interrupteurs pour installations électriques fixes domestiques et analogues – Partie 1: Exigences générales*

- [52] IEC 60730-2-9, *Automatic electrical controls – Part 2-9: Particular requirements for temperature sensing control* (disponible en anglais seulement)
- [53] IEC 61020-1, *Interrupteurs électromécaniques pour équipements électriques et électroniques – Partie 1: Spécification générique*
- [54] IEC 60269-1, *Fusibles basse tension – Partie 1: Exigences générales*
- [55] IEC 60269-2, *Fusibles basse tension – Partie 2: Exigences supplémentaires pour les fusibles destinés à être utilisés par des personnes habilitées (fusibles pour usages essentiellement industriels) – Exemples de système de fusibles normalisés A à K*
- [56] IEC 60034-1, *Machines électriques tournantes – Partie 1: Caractéristiques assignées et caractéristiques de fonctionnement*
- [57] IEC 60051-1, *Appareils de mesure électriques indicateurs analogiques à action directe et leurs accessoires – Partie 1: Définitions et exigences générales communes à toutes les parties*
- [58] IEC 60051-2, *Appareils mesureurs électriques indicateurs analogiques à action directe et leurs accessoires – Deuxième partie: Prescriptions particulières pour les ampèremètres et les voltmètres*
- [59] IEC 60051-4, *Appareils mesureurs électriques indicateurs analogiques à action directe et leurs accessoires – Quatrième partie: Prescriptions particulières pour les fréquencemètres*
- [60] IEC 60051-5, *Appareils mesureurs électriques indicateurs analogiques à action directe et leurs accessoires – Cinquième partie: Prescriptions particulières pour les phasemètres, les indicateurs de facteur de puissance et les synchronoscopes*
- [61] IEC 60309-1, *Prises de courant pour usages industriels – Partie 1: Règles générales*
- [62] IEC 60309-2, *Prises de courant pour usages industriels – Partie 2: Règles d'interchangeabilité dimensionnelle pour les appareils à broches et alvéoles*
- [63] IEC TR 60083, *Prises de courant pour usages domestiques et analogues normalisées par les pays membres de l'IEC*
- [64] IEC 60130 (toutes les parties), *Connecteurs utilisés aux fréquences jusqu'à 3 MHz*
- [65] IEC 62326-1, *Cartes imprimées – Partie 1: Spécification générique*
- [66] IEC 60393-1, *Potentiomètres utilisés dans les équipements électroniques – Partie 1: Spécification générique*
- [67] IEC 60115-4 (toutes les parties), *Résistances fixes utilisées dans les équipements électroniques – Partie 4: Spécification intermédiaire: Résistances fixes de puissance*
- [68] IEC 60081, *Lampes à fluorescence à deux culots – Prescriptions de performance*
- [69] IEC 60064, *Lampes à filament de tungstène pour usage domestique et éclairage général similaire – Prescriptions de performances*
- [70] IEC TR 62063, *Appareillage à haute tension – Utilisation de l'électronique et des technologies associées dans les équipements auxiliaires de l'appareillage*

- [71] IEC TR 60816:1984, *Guide sur les méthodes de mesure des transitoires de courte durée sur les lignes de puissance et de contrôle basse tension*
 - [72] IEC TR 62271-307, *Appareillage à haute tension – Partie 307: Lignes directrices pour l'extension de validité des essais de type d'appareillages en courant alternatif sous enveloppe métallique et d'isolation solide pour tensions assignées supérieures à 1 kV et jusqu'à 52 kV inclus*
 - [73] IEEE C37.100.1, *IEEE Standard of Common Requirements for High Voltage Power Switchgear Rated Above 1000 V* (disponible en anglais seulement)
 - [74] IEC 60059, *Caractéristiques des courants normaux de la CEI*
 - [75] IEC 60068-2 (toutes les parties), *Essais d'environnement – Partie 2: Essais*
-

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

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

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