

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Low-voltage switchgear and controlgear assemblies –
Part 1: General rules**

**Ensembles d'appareillage à basse tension –
Partie 1: Règles générales**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61439 1 ed 2.0:2011



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2011 IEC, Geneva, Switzerland

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

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

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

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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

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

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 It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

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

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

- Electropedia: www.electropedia.org

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

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

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

Email: csc@iec.ch

Tel.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

A propos de la CEI

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

A propos des publications CEI

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

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

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

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

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

- Electropedia: www.electropedia.org

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

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

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

Email: csc@iec.ch

Tél.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Low-voltage switchgear and controlgear assemblies –
Part 1: General rules**

**Ensembles d'appareillage à basse tension –
Partie 1: Règles générales**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

XG

ICS 29.130.20

ISBN 978-2-88912-634-7

CONTENTS

FOREWORD.....	8
INTRODUCTION.....	11
1 Scope.....	12
2 Normative references	12
3 Terms and definitions	15
3.1 General terms	15
3.2 Constructional units of ASSEMBLIES	17
3.3 External design of ASSEMBLIES.....	18
3.4 Structural parts of ASSEMBLIES	18
3.5 Conditions of installation of ASSEMBLIES.....	20
3.6 Insulation characteristics	20
3.7 Protection against electric shock	23
3.8 Characteristics	25
3.9 Verification	27
3.10 Manufacturer/user	28
4 Symbols and abbreviations.....	28
5 Interface characteristics	29
5.1 General.....	29
5.2 Voltage ratings	29
5.2.1 Rated voltage (U_n) (of the ASSEMBLY)	29
5.2.2 Rated operational voltage (U_e) (of a circuit of an ASSEMBLY).....	29
5.2.3 Rated insulation voltage (U_i) (of a circuit of an ASSEMBLY)	29
5.2.4 Rated impulse withstand voltage (U_{imp}) (of the ASSEMBLY).....	29
5.3 Current ratings	30
5.3.1 Rated current of the ASSEMBLY (I_{nA})	30
5.3.2 Rated current of a circuit (I_{nC})	30
5.3.3 Rated peak withstand current (I_{pk}).....	30
5.3.4 Rated short-time withstand current (I_{cw}) (of a circuit of an ASSEMBLY)	30
5.3.5 Rated conditional short-circuit current of an ASSEMBLY (I_{cc}).....	30
5.4 Rated diversity factor (RDF)	31
5.5 Rated frequency (f_n).....	31
5.6 Other characteristics	31
6 Information	32
6.1 ASSEMBLY designation marking	32
6.2 Documentation	32
6.2.1 Information relating to the ASSEMBLY	32
6.2.2 Instructions for handling, installation, operation and maintenance	32
6.3 Device and/or component identification	33
7 Service conditions	33
7.1 Normal service conditions	33
7.1.1 Ambient air temperature	33
7.1.2 Humidity conditions	33
7.1.3 Pollution degree	33
7.1.4 Altitude.....	34
7.2 Special service conditions	34
7.3 Conditions during transport, storage and installation	35

8	Constructional requirements	35
8.1	Strength of materials and parts	35
8.1.1	General	35
8.1.2	Protection against corrosion	35
8.1.3	Properties of insulating materials	35
8.1.4	Resistance to ultra-violet radiation	36
8.1.5	Mechanical strength	36
8.1.6	Lifting provision	36
8.2	Degree of protection provided by an ASSEMBLY enclosure	36
8.2.1	Protection against mechanical impact	36
8.2.2	Protection against contact with live parts, ingress of solid foreign bodies and water	36
8.2.3	ASSEMBLY with removable parts	37
8.3	Clearances and creepage distances	37
8.3.1	General	37
8.3.2	Clearances	38
8.3.3	Creepage distances	38
8.4	Protection against electric shock	39
8.4.1	General	39
8.4.2	Basic protection	39
8.4.3	Fault protection	40
8.4.4	Protection by total insulation	42
8.4.5	Limitation of steady-state touch current and charge	43
8.4.6	Operating and servicing conditions	43
8.5	Incorporation of switching devices and components	45
8.5.1	Fixed parts	45
8.5.2	Removable parts	45
8.5.3	Selection of switching devices and components	46
8.5.4	Installation of switching devices and components	46
8.5.5	Accessibility	46
8.5.6	Barriers	47
8.5.7	Direction of operation and indication of switching positions	47
8.5.8	Indicator lights and push-buttons	47
8.6	Internal electrical circuits and connections	47
8.6.1	Main circuits	47
8.6.2	Auxiliary circuits	48
8.6.3	Bare and insulated conductors	48
8.6.4	Selection and installation of non-protected live conductors to reduce the possibility of short-circuits	49
8.6.5	Identification of the conductors of main and auxiliary circuits	49
8.6.6	Identification of the protective conductor (PE, PEN) and of the neutral conductor (N) of the main circuits	49
8.7	Cooling	49
8.8	Terminals for external conductors	49
9	Performance requirements	51
9.1	Dielectric properties	51
9.1.1	General	51
9.1.2	Power-frequency withstand voltage	51
9.1.3	Impulse withstand voltage	51

9.1.4	Protection of surge protective devices	51
9.2	Temperature rise limits	52
9.3	Short-circuit protection and short-circuit withstand strength	52
9.3.1	General	52
9.3.2	Information concerning short-circuit withstand strength	52
9.3.3	Relationship between peak current and short-time current	53
9.3.4	Co-ordination of protective devices	53
9.4	Electromagnetic compatibility (EMC)	53
10	Design verification	54
10.1	General	54
10.2	Strength of materials and parts	55
10.2.1	General	55
10.2.2	Resistance to corrosion	55
10.2.3	Properties of insulating materials	56
10.2.4	Resistance to ultra-violet (UV) radiation	58
10.2.5	Lifting	58
10.2.6	Mechanical impact	59
10.2.7	Marking	59
10.3	Degree of protection of ASSEMBLIES	59
10.4	Clearances and creepage distances	59
10.5	Protection against electric shock and integrity of protective circuits	60
10.5.1	Effectiveness of the protective circuit	60
10.5.2	Effective earth continuity between the exposed conductive parts of the ASSEMBLY and the protective circuit	60
10.5.3	Short-circuit withstand strength of the protective circuit	60
10.6	Incorporation of switching devices and components	61
10.6.1	General	61
10.6.2	Electromagnetic compatibility	61
10.7	Internal electrical circuits and connections	61
10.8	Terminals for external conductors	61
10.9	Dielectric properties	61
10.9.1	General	61
10.9.2	Power-frequency withstand voltage	61
10.9.3	Impulse withstand voltage	62
10.9.4	Testing of enclosures made of insulating material	64
10.9.5	External operating handles of insulating material	64
10.10	Verification of temperature rise	64
10.10.1	General	64
10.10.2	Verification by testing	64
10.10.3	Derivation of ratings for similar variants	70
10.10.4	Verification assessment	71
10.11	Short-circuit withstand strength	74
10.11.1	General	74
10.11.2	Circuits of ASSEMBLIES which are exempted from the verification of the short-circuit withstand strength	74
10.11.3	Verification by comparison with a reference design – Utilising a check list	75
10.11.4	Verification by comparison with a reference design – Utilising calculation	75
10.11.5	Verification by test	75

10.12 Electromagnetic compatibility (EMC)	80
10.13 Mechanical operation	80
11 Routine verification	80
11.1 General	80
11.2 Degree of protection of enclosures	81
11.3 Clearances and creepage distances	81
11.4 Protection against electric shock and integrity of protective circuits	81
11.5 Incorporation of built-in components	81
11.6 Internal electrical circuits and connections	81
11.7 Terminals for external conductors	81
11.8 Mechanical operation	82
11.9 Dielectric properties	82
11.10 Wiring, operational performance and function	82
Annex A (normative) Minimum and maximum cross-section of copper conductors suitable for connection to terminals for external conductors (see 8.8)	90
Annex B (normative) Method of calculating the cross-sectional area of protective conductors with regard to thermal stresses due to currents of short duration	91
Annex C (informative) User information template	92
Annex D (informative) Design verification	96
Annex E (informative) Rated diversity factor	97
Annex F (normative) Measurement of clearances and creepage distances	106
Annex G (normative) Correlation between the nominal voltage of the supply system and the rated impulse withstand voltage of the equipment	111
Annex H (informative) Operating current and power loss of copper conductors	113
Annex I (Void)	115
Annex J (normative) Electromagnetic compatibility (EMC)	116
Annex K (normative) Protection by electrical separation	123
Annex L (informative) Clearances and creepage distances for North American region	126
Annex M (informative) North American temperature rise limits	127
Annex N (normative) Operating current and power loss of bare copper bars	128
Annex O (informative) Guidance on temperature rise verification	130
Annex P (normative) Verification of the short-circuit withstand strength of busbar structures by comparison with a tested reference design by calculation	135
Bibliography	139
Figure E.1 – Typical ASSEMBLY	98
Figure E.2 – Example 1: Table E.1 – Functional unit loading for an ASSEMBLY with a rated diversity factor of 0,8	100
Figure E.3 – Example 2: Table E.1 – Functional unit loading for an ASSEMBLY with a rated diversity factor of 0,8	101
Figure E.4 – Example 3: Table E.1 – Functional unit loading for an ASSEMBLY with a rated diversity factor of 0,8	102
Figure E.5 – Example 4: Table E.1 – Functional unit loading for an ASSEMBLY with a rated diversity factor of 0,8	103
Figure E.6 – Example of average heating effect calculation	104
Figure E.7 – Example graph for the relation between the equivalent RDF and the parameters at intermittent duty at $t_1 = 0,5$ s, $I_1 = 7 \cdot I_2$ at different cycle times	105

Figure E.8 – Example graph for the relation between the equivalent RDF and the parameters at intermittent duty at $I_1 = I_2$ (no starting overcurrent).....	105
Figure F.1 – Measurement of ribs	110
Figure J.1 – Examples of ports	116
Figure O.1 – Temperature rise verification methods	134
Figure P.1 – Tested busbar structure (TS)	135
Figure P.2 – Non tested busbar structure (NTS).....	136
Figure P.3 – Angular busbar configuration with supports at the corners	138
Table 1 – Minimum clearances in air ^a (8.3.2).....	82
Table 2 – Minimum creepage distances (8.3.3)	83
Table 3 – Cross-sectional area of a copper protective conductor (8.4.3.2.2)	83
Table 4 – Conductor selection and installation requirements (8.6.4).....	84
Table 5 – Minimum terminal capacity for copper protective conductors (PE, PEN) (8.8)	84
Table 6 – Temperature-rise limits (9.2)	85
Table 7 – Values for the factor n ^a (9.3.3)	86
Table 8 – Power-frequency withstand voltage for main circuits (10.9.2)	86
Table 9 – Power-frequency withstand voltage for auxiliary and control circuits (10.9.2).....	86
Table 10 – Impulse withstand test voltages (10.9.3).....	87
Table 11 – Copper test conductors for rated currents up to 400 A inclusive (10.10.2.3.2)	87
Table 12 – Copper test conductors for rated currents from 400 A to 4 000 A (10.10.2.3.2)	88
Table 13 – Short-circuit verification by comparison with a reference design: check list (10.5.3.3, 10.11.3 and 10.11.4).....	88
Table 14 – Relationship between prospective fault current and diameter of copper wire	89
Table A.1 – Cross-section of copper conductors suitable for connection to terminals for external conductors	90
Table B.1 – Values of k for insulated protective conductors not incorporated in cables, or bare protective conductors in contact with cable covering	91
Table C.1 – Template	92
Table D.1 – List of design verifications to be performed	96
Table E.1 – Examples of loading for an ASSEMBLY with a rated diversity factor of 0,8	99
Table E.2 – Example of loading of a group of circuits (Section B – Figure E.1) with a rated diversity factor of 0,9	104
Table E.3 – Example of loading of a group of circuits (Sub-distribution board – Figure E.1) with a rated diversity factor of 0,9	104
Table F.1 – Minimum width of grooves	106
Table G.1 – Correspondence between the nominal voltage of the supply system and the equipment rated impulse withstand voltage	112
Table H.1 – Operating current and power loss of single-core copper cables with a permissible conductor temperature of 70 °C (ambient temperature inside the ASSEMBLY: 55 °C)	113
Table H.2 – Reduction factor k_1 for cables with a permissible conductor temperature of 70 °C (extract from IEC 60364-5-52:2009, Table B.52.14).....	114
Table J.1 – Tests for EMC immunity for environment A (see J.10.12.1).....	120
Table J.2 – Tests for EMC immunity for environment B (see J.10.12.1).....	121

Table J.3 – Acceptance criteria when electromagnetic disturbances are present.....	122
Table K.1 – Maximum disconnecting times for TN systems	125
Table L.1 – Minimum clearances in air	126
Table L.2 – Minimum creepage distances	126
Table M.1 – North American temperature rise limits	127
Table N.1 – Operating current and power loss of bare copper bars with rectangular cross-section, run horizontally and arranged with their largest face vertical, frequency 50 Hz to 60 Hz (ambient temperature inside the ASSEMBLY: 55 °C, temperature of the conductor 70 °C).....	128
Table N.2 – Factor k_4 for different temperatures of the air inside the ASSEMBLY and/or for the conductors	129

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61439 1 ed 2.0:2011

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

LOW-VOLTAGE SWITCHGEAR AND CONTROLGEAR ASSEMBLIES –

Part 1: General rules

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 61439-1 has been prepared by subcommittee 17D: Low-voltage switchgear and controlgear assemblies, of IEC technical committee 17: Switchgear and controlgear.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 2009. It constitutes a technical revision.

This second edition includes the following significant technical changes with respect to the last edition of IEC 61439-1:

- revision of service conditions in Clause 7;
- numerous changes regarding verification methods in Clause 10;
- modification of routine verification in respect of clearances and creepage distances (see 11.3);

- adaption of the tables in Annex C and Annex D to the revised requirements and verification methods;
- revision of the EMC requirements in Annex J;
- shifting of tables from Annex H to new Annex N;
- new Annex O with guidance on temperature rise verification;
- new Annex P with a verification method for short-circuit withstand strength (integration of the content of IEC/TR 61117);
- update of normative references;
- general editorial review.

NOTE It should be noted that when a dated reference to IEC 60439-1 is made in another Part of the IEC 60439 series of assembly standards not yet transferred into the new IEC 61439 series, the superseded IEC 60439-1 still applies (see also the Introduction below).

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

FDIS	Report on voting
17D/441/FDIS	17D/446/RVD

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

In this standard, terms written in small capitals are defined in Clause 3.

The “in some countries” notes regarding differing national practices are contained in the following subclauses:

5.4
 8.2.2
 8.3.2
 8.3.3
 8.4.2.3
 8.5.5
 8.6.6
 8.8
 9.2
 10.11.5.4
 10.11.5.6.1
 Annex L
 Annex M

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

A list of all parts of the IEC 61439 series, under the general title *Low-voltage switchgear and controlgear assemblies*, can be found on the IEC website.

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

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61439-1 ed 2:2011

INTRODUCTION

The purpose of this standard is to harmonize as far as practicable all rules and requirements of a general nature applicable to low-voltage switchgear and controlgear assemblies (ASSEMBLIES) in order to obtain uniformity of requirements and verification for ASSEMBLIES and to avoid the need for verification to other standards. All those requirements for the various ASSEMBLIES standards which can be considered as general have therefore been gathered in this basic standard together with specific subjects of wide interest and application, e.g. temperature rise, dielectric properties, etc.

For each type of low-voltage switchgear and controlgear assembly only two main standards are necessary to determine all requirements and the corresponding methods of verification:

- this basic standard referred to as “Part 1” in the specific standards covering the various types of low-voltage switchgear and controlgear assemblies;
- the specific ASSEMBLY standard hereinafter also referred to as the relevant ASSEMBLY standard.

For a general rule to apply to a specific ASSEMBLY standard, it should be explicitly referred to by quoting the relevant clause or sub-clause number of this standard followed by “Part 1” e.g. “9.1.3 of Part 1”.

A specific ASSEMBLY standard may not require and hence need not call up a general rule where it is not applicable, or it may add requirements if the general rule is deemed inadequate in the particular case but it may not deviate from it unless there is substantial technical justification detailed in the specific ASSEMBLY standard.

Where in this standard a cross-reference is made to another clause, the reference is to be taken to apply to that clause as amended by the specific ASSEMBLY standard, where applicable.

Requirements in this standard that are subject to agreement between the ASSEMBLY manufacturer and the user are summarised in Annex C (informative). This schedule also facilitates the supply of information on basic conditions and additional user specifications to enable proper design, application and utilization of the ASSEMBLY.

For the new re-structured IEC 61439 series, the following parts are envisaged:

- a) IEC 61439-1: General rules
- b) IEC 61439-2: Power switchgear and controlgear ASSEMBLIES (PSC-ASSEMBLIES)
- c) IEC 61439-3: Distribution boards (to supersede IEC 60439-3)
- d) IEC 61439-4: ASSEMBLIES for construction sites (to supersede IEC 60439-4)
- e) IEC 61439-5: ASSEMBLIES for power distribution (to supersede IEC 60439-5)
- f) IEC 61439-6: Busbar trunking systems (to supersede IEC 60439-2)
- g) IEC/TR 61439-0: Guidance to specifying ASSEMBLIES.

This list is not exhaustive; additional Parts may be developed as the need arises.

LOW-VOLTAGE SWITCHGEAR AND CONTROLGEAR ASSEMBLIES –

Part 1: General rules

1 Scope

NOTE 1 Throughout this standard, the term ASSEMBLY (see 3.1.1) is used for a low-voltage switchgear and controlgear assembly.

This part of the IEC 61439 series lays down the definitions and states the service conditions, construction requirements, technical characteristics and verification requirements for low-voltage switchgear and controlgear assemblies.

This standard cannot be used alone to specify an ASSEMBLY or used for a purpose of determining conformity. ASSEMBLIES shall comply with the relevant part of the IEC 61439 series; Parts 2 onwards.

This standard applies to low-voltage switchgear and controlgear assemblies (ASSEMBLIES) only when required by the relevant ASSEMBLY standard as follows:

- ASSEMBLIES for which the rated voltage does not exceed 1 000 V in case of a.c. or 1 500 V in case of d.c.;
- stationary or movable ASSEMBLIES with or without enclosure;
- ASSEMBLIES intended for use in connection with the generation, transmission, distribution and conversion of electric energy, and for the control of electric energy consuming equipment;
- ASSEMBLIES designed for use under special service conditions, for example in ships and in rail vehicles provided that the other relevant specific requirements are complied with;

NOTE 2 Supplementary requirements for ASSEMBLIES in ships are covered by IEC 60092-302.

- ASSEMBLIES designed for electrical equipment of machines provided that the other relevant specific requirements are complied with.

NOTE 3 Supplementary requirements for ASSEMBLIES forming part of a machine are covered by the IEC 60204 series.

This standard applies to all ASSEMBLIES whether they are designed, manufactured and verified on a one-off basis or fully standardised and manufactured in quantity.

The manufacture and/or assembly may be carried out other than by the original manufacturer (see 3.10.1).

This standard does not apply to individual devices and self-contained components, such as motor starters, fuse switches, electronic equipment, etc. which will comply with the relevant product standards.

2 Normative references

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

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

IEC 60068-2-11:1981, *Basic environmental testing procedures – Part 2-11: Tests – Test Ka: Salt mist*

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

IEC 60073:2002, *Basic and safety principles for man-machine interface, marking and identification – Coding principles for indicators and actuators*

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

IEC 60216 (all parts), *Electrical insulating materials – Properties of thermal endurance*

IEC 60227-3:1993, *Polyvinyl chloride insulated cables of rated voltages up to and including 450/750 V – Part 3: Non-sheathed cables for fixed wiring*

IEC 60245-3:1994, *Rubber insulated cables – Rated voltages up to and including 450/750 V – Part 3: Heat resistant silicone insulated cables*

IEC 60245-4:1994, *Rubber insulated cables – Rated voltages up to and including 450/750 V – Part 4: Cords and flexible cables*

IEC 60364 (all parts), *Low-voltage electrical installations*

IEC 60364-4-41:2005, *Low-voltage electrical installations – Part 4-41: Protection for safety – Protection against electric shock*

IEC 60364-4-44:2007, *Low-voltage electrical installations – Part 4-44: Protection for safety – Protection against voltage disturbances and electromagnetic disturbances*

IEC 60364-5-52:2009, *Low-voltage electrical installations – Part 5-52: Selection and erection of electrical equipment – Wiring systems*

IEC 60364-5-53:2001, *Electrical installations of buildings – Part 5-53: Selection and erection of electrical equipment – Isolation, switching and control*

IEC 60364-5-54:2011, *Low-voltage electrical installations – Part 5-54: Selection and erection of electrical equipment – Earthing arrangements and protective conductors*

IEC 60439 (all parts), *Low-voltage switchgear and controlgear assemblies*

IEC 60445:2010, *Basic and safety principles for man-machine interface, marking and identification – Identification of equipment terminals, conductor terminations and conductors*

IEC 60447:2004, *Basic and safety principles for man-machine interface, marking and identification – Actuating principles*

IEC 60529:1989, *Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)*¹

IEC 60664-1:2007, *Insulation coordination for equipment within low-voltage systems – Part 1: Principles, requirements and tests*

¹ There is a consolidated edition 1.1 (2001) that includes IEC 60529 (1989) and its amendment 1 (1999).

IEC 60695-2-10:2000, *Fire Hazard testing – Part 2-10: Glowing/hot-wire based test methods – Glow-wire apparatus and common test procedure*

IEC 60695-2-11:2000, *Fire hazard testing – Part 2-11: Glowing/hot-wire based test methods – Glow-wire flammability test method for end-products*

IEC 60695-11-5:2004, *Fire hazard testing – Part 11-5: Test flames – Needle-flame test method – Apparatus, confirmatory test arrangement and guidance*

IEC 60865-1:1993, *Short-circuit currents – Calculation of effects – Part 1: Definitions and calculation methods*

IEC 60890:1987, *A method of temperature-rise assessment by extrapolation for partially type-tested assemblies (PTTA) of low-voltage switchgear and controlgear*

IEC 60947-1:2007, *Low-voltage switchgear and controlgear – Part 1: General rules*

IEC 61000-4-2:2008, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-2: Testing and measurement techniques – Electrostatic discharge immunity test*

IEC 61000-4-3:2006, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-3: Testing and measurement techniques – Radiated, radio frequency, electromagnetic field immunity test²*

IEC 61000-4-4:2004, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-4: Testing and measurement techniques – Electrical fast transient/burst immunity test*

IEC 61000-4-5:2005, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-5: Testing and measurement techniques – Surge immunity test*

IEC 61000-4-6:2008, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-6: Testing and measurement techniques – Immunity to conducted disturbances, induced by radio-frequency fields*

IEC 61000-4-8:2009, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-8: Testing and measurement techniques – Power frequency magnetic field immunity test*

IEC 61000-4-11:2004, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-11: Testing and measurement techniques – Voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity tests*

IEC 61000-4-13:2002, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-13: Testing and measurement techniques – Harmonics and interharmonics including mains signalling at a.c. power port, low-frequency immunity tests³*

IEC 61000-6-4:2006, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6-4: Generic standards – Emission standard for industrial environments⁴*

IEC 61082-1, *Preparation of documents used in electrotechnology – Part 1: Rules*

IEC 61180 (all parts), *High-voltage test techniques for low-voltage equipment*

² There is a consolidated edition 3.2 (2010) that includes IEC 61000-4-3 (2006) and amendment 1 (2007) and amendment 2 (2010).

³ There is a consolidated edition 1.1 (2009) that includes IEC 61000-4-13 (2002) and its amendment 1 (2009).

⁴ There is a consolidated edition 2.1 (2011) that includes IEC 61000-6-4 (2006) and its amendment 1 (2010).

IEC/TS 61201:2007, *Use of conventional touch voltage limits – Application guide*

IEC 61439 (all parts), *Low-voltage switchgear and controlgear assemblies*

IEC 62208, *Empty enclosures for low-voltage switchgear and controlgear assemblies – General requirements*

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

IEC 81346-1, *Industrial systems, installations and equipment and industrial products – Structuring principles and reference designations – Part 1: Basic rules*

IEC 81346-2, *Industrial systems, installations and equipment and industrial products – Structuring principles and reference designations – Part 2: Classification of objects and codes for classes*

CISPR 11:2009, *Industrial, scientific and medical equipment – Radio-frequency disturbance characteristics – Limits and methods of measurement*⁵

CISPR 22, *Information technology equipment – Radio disturbance characteristics – Limits and methods of measurement*

ISO 178:2001, *Plastics – Determination of flexural properties*

ISO 179 (all parts), *Plastics – Determination of Charpy impact strength*

ISO 2409:2007, *Paints and varnishes – Cross-cut test*

ISO 4628-3:2003, *Paints and varnishes – Evaluation of degradation of coatings – Designation of quantity and size of defects, and of intensity of uniform changes in appearance – Part 3: Assessment of degree of rusting*

ISO 4892-2:2006, *Plastics – Methods of exposure to laboratory light sources – Part 2: Xenon-arc lamps*

3 Terms and definitions

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

3.1 General terms

3.1.1

low-voltage switchgear and controlgear assembly

ASSEMBLY

combination of one or more low-voltage switching devices together with associated control, measuring, signalling, protective, regulating equipment, with all the internal electrical and mechanical interconnections and structural parts

3.1.2

ASSEMBLY system

full range of mechanical and electrical components (enclosures, busbars, functional units, etc.), as defined by the original manufacturer, which can be assembled in accordance with the original manufacturer's instructions in order to produce various ASSEMBLIES

⁵ There is a consolidated edition 5.1 (2010) that includes CISPR 11 (2009) and its amendment 1 (2010).

3.1.3

main circuit (of an ASSEMBLY)

all the conductive parts of an ASSEMBLY included in a circuit which is intended to transmit electrical energy

[IEC 60050-441:1984, 441-13-02]

3.1.4

auxiliary circuit (of an ASSEMBLY)

all the conductive parts of an ASSEMBLY included in a circuit (other than the main circuit) intended to control, measure, signal, regulate and process data, etc.

NOTE The auxiliary circuits of an ASSEMBLY include the control and the auxiliary circuits of the switching devices.

[IEC 60050-441:1984, 441-13-03, modified]

3.1.5

busbar

low-impedance conductor to which several electric circuits can be separately connected

NOTE The term "busbar" does not presuppose the geometrical shape, size or dimensions of the conductor.

3.1.6

main busbar

busbar to which one or several distribution busbars and/or incoming and outgoing units can be connected

3.1.7

distribution busbar

busbar within one section which is connected to a main busbar and from which outgoing units are supplied

NOTE Conductors that are connected between a functional unit and a busbar are not considered as a part of the distribution busbars.

3.1.8

functional unit

part of an ASSEMBLY comprising all the electrical and mechanical elements including switching devices that contribute to the fulfilment of the same function

NOTE Conductors which are connected to a functional unit but which are external to its compartment or enclosed protected space (e.g. auxiliary cables connected to a common compartment) are not considered to form part of the functional unit.

3.1.9

incoming unit

functional unit through which electrical energy is normally fed into the ASSEMBLY

3.1.10

outgoing unit

functional unit through which electrical energy is normally supplied to one or more external circuits

3.1.11

short-circuit protective device

SCPD

device intended to protect a circuit or parts of a circuit against short-circuit currents by interrupting them

[2.2.21 of IEC 60947-1:2007]

3.2 Constructional units of ASSEMBLIES

3.2.1

fixed part

part consisting of components assembled and wired on a common support and which is designed for fixed installation

3.2.2

removable part

part consisting of components assembled and wired on a common support which is intended to be removed entirely from the ASSEMBLY and replaced whilst the circuit to which it is connected may be live

3.2.3

connected position

position of a removable part when it is fully connected for its intended function

3.2.4

removed position

position of a removable part when it is outside the ASSEMBLY, and mechanically and electrically separated from it

3.2.5

insertion interlock

device preventing the introduction of a removable part into a location not intended for that removable part

3.2.6

fixed connection

connection which is connected or disconnected by means of a tool

3.2.7

section

constructional unit of an ASSEMBLY between two successive vertical delineations

3.2.8

sub-section

constructional unit of an ASSEMBLY between two successive horizontal or vertical delineations within a section

3.2.9

compartment

section or sub-section enclosed except for openings necessary for interconnection, control or ventilation

3.2.10

transport unit

part of an ASSEMBLY or a complete ASSEMBLY suitable for transportation without being dismantled

3.2.11

shutter

part which can be moved between:

- a position in which it permits engagement of the contacts of a removable part with fixed contacts, and
- a position in which it becomes a part of a cover or a partition shielding the fixed contacts

[IEC 60050-441:1984, 441-13-07, modified]

3.3 External design of ASSEMBLIES

3.3.1

open-type ASSEMBLY

ASSEMBLY consisting of a structure which supports the electrical equipment, the live parts of the electrical equipment being accessible

3.3.2

dead-front ASSEMBLY

open-type ASSEMBLY with a front cover; live parts may be accessible from directions other than the front

3.3.3

enclosed ASSEMBLY

ASSEMBLY which is enclosed on all sides with the possible exception of its mounting surface in such a manner as to provide a defined degree of protection

3.3.4

cubicle-type ASSEMBLY

enclosed ASSEMBLY of the floor-standing type which may comprise several sections, sub-sections or compartments

3.3.5

multi-cubicle-type ASSEMBLY

combination of a number of mechanically joined cubicle-type ASSEMBLIES

3.3.6

desk-type ASSEMBLY

enclosed ASSEMBLY with a horizontal or inclined control panel or a combination of both, which incorporates control, measuring, signalling apparatus, etc.

3.3.7

box-type ASSEMBLY

enclosed ASSEMBLY, intended to be mounted on a vertical plane

3.3.8

multi-box-type ASSEMBLY

combination of box-type ASSEMBLIES mechanically joined together, with or without a common supporting frame, the electrical connections passing between two adjacent boxes through openings in the adjoining faces

3.3.9

wall-mounted surface type ASSEMBLY

ASSEMBLY for installation on the surface of a wall

3.3.10

wall-mounted recessed type ASSEMBLY

ASSEMBLY for installation into a wall recess, where the enclosure does not support the portion of wall above

3.4 Structural parts of ASSEMBLIES

3.4.1

supporting structure

structure forming part of an ASSEMBLY designed to support various components of the ASSEMBLY and any enclosure

3.4.2**mounting structure**

structure not forming part of an ASSEMBLY designed to support an ASSEMBLY

3.4.3**mounting plate**

plate designed to support various components and suitable for installation in an ASSEMBLY

3.4.4**mounting frame**

framework designed to support various components and suitable for installation in an ASSEMBLY

3.4.5**enclosure**

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

[IEC 60050-195:1998, 195-02-35]

3.4.6**cover**

external part of the enclosure of an ASSEMBLY

3.4.7**door**

hinged or sliding cover

3.4.8**removable cover**

cover which is designed for closing an opening in the external enclosure and which can be removed for carrying out certain operations and maintenance work

3.4.9**cover plate**

part of an ASSEMBLY which is used for closing an opening in the external enclosure and designed to be held in place by screws or similar means

NOTE 1 It is not normally removed after the equipment is put into service.

NOTE 2 The cover plate can be provided with cable entries.

3.4.10**partition**

part of the enclosure of a compartment separating it from other compartments

3.4.11**barrier**

part providing protection against direct contact from any usual direction of access

[IEC 60050-195:1998, 195-06-15, modified]

3.4.12**obstacle**

part preventing unintentional direct contact, but not preventing direct contact by deliberate action

[IEC 60050-195:1998, 195-06-16, modified]

NOTE Obstacles are intended to prevent unintentional contact with live parts but not intentional contact by deliberate circumvention of the obstacle. They are intended to protect skilled or instructed persons but are not intended to protect ordinary persons.

3.4.13

terminal shield

part enclosing terminals and providing a defined degree of protection against access to live parts by persons or objects

3.4.14

cable entry

part with openings which permit the passage of cables into the ASSEMBLY

3.4.15

enclosed protected space

part of an ASSEMBLY intended to enclose electrical components and which provides defined protection against external influences and contact with live parts

3.5 Conditions of installation of ASSEMBLIES

3.5.1

ASSEMBLY for indoor installation

ASSEMBLY which is designed for use in locations where the normal service conditions for indoor use as specified in 7.1 are fulfilled

3.5.2

ASSEMBLY for outdoor installation

ASSEMBLY which is designed for use in locations where the normal service conditions for outdoor use as specified in 7.1 are fulfilled

3.5.3

stationary ASSEMBLY

ASSEMBLY which is designed to be fixed at its place of installation, for instance to the floor or to a wall, and to be used at this place

3.5.4

movable ASSEMBLY

ASSEMBLY which is designed so that it can readily be moved from one place of use to another

3.6 Insulation characteristics

3.6.1

clearance

the distance between two conductive parts along a string stretched the shortest way between these conductive parts

[IEC 60050-441:1984, 441-17-31]

3.6.2

creepage distance

the shortest distance along the surface of a solid insulating material between two conductive parts

[IEC 60050-151:2001, 151-15-50]

NOTE A joint between two pieces of insulating material is considered part of the surface.

3.6.3**overvoltage**

any voltage having a peak value exceeding the corresponding peak value of the maximum steady-state voltage at normal operating conditions

[definition 3.7 of IEC 60664-1:2007]

3.6.4**temporary overvoltage**

overvoltage at power frequency of relatively long duration (several seconds)

[definition 3.7.1 of IEC 60664-1:2007, modified]

3.6.5**transient overvoltage**

short duration overvoltage of a few milliseconds or less, oscillatory or non-oscillatory, usually highly damped

[IEC 60050-604:1987, 604-03-13]

3.6.6**power-frequency withstand voltage**

r.m.s. value of a power-frequency sinusoidal voltage which does not cause breakdown under specified conditions of test

[definition 2.5.56 of IEC 60947-1: 2007]

NOTE The power-frequency withstand voltage is equivalent to the short-term temporary overvoltage in IEC 60664-1.

3.6.7**impulse withstand voltage**

highest peak value of impulse voltage of prescribed form and polarity which does not cause breakdown of insulation under specified conditions

[definition 3.8.1 of IEC 60664-1:2007]

3.6.8**pollution**

any addition of solid, liquid or gaseous foreign matter, that can result in a reduction of the dielectric strength or surface resistivity of insulation

[definition 3.11 of IEC 60664-1: 2007, modified]

3.6.9**pollution degree (of environmental conditions)**

conventional number based on the amount of conductive or hygroscopic dust, ionized gas or salt, and on the relative humidity and its frequency of occurrence resulting in hygroscopic absorption or condensation of moisture leading to reduction in dielectric strength and/or surface resistivity

NOTE 1 The pollution degree to which the insulating materials of devices and components are exposed may be different from that of the macro-environment where the devices or components are located because of protection offered by means such as an enclosure or internal heating to prevent absorption or condensation of moisture.

NOTE 2 For the purpose of this standard, the pollution degree is of the micro-environment.

[definition 2.5.58 of IEC 60947-1: 2007]

3.6.10

micro-environment (of a clearance or creepage distance)

immediate environment of the insulation which particularly influences the dimensioning of the creepage distances

NOTE The micro-environment of the creepage distance or clearance and not the environment of the ASSEMBLY or components determines the effect on the insulation. The micro-environment may be better or worse than the environment of the ASSEMBLY or components.

[definition 3.12.2 of IEC 60664-1:2007, modified]

3.6.11

overvoltage category (of a circuit or within an electrical system)

conventional number based on limiting (or controlling) the values of prospective transient overvoltages occurring in a circuit (or within an electrical system having different nominal voltages) and depending upon the means employed to influence the overvoltages

NOTE In an electrical system, the transition from one overvoltage category to another of lower category is obtained through appropriate means complying with interface requirements, such as an overvoltage protective device or a series-shunt impedance arrangement capable of dissipating, absorbing, or diverting the energy in the associated surge current, to lower the transient overvoltage value to that of the desired lower overvoltage category.

[definition 2.5.60 of IEC 60947-1: 2007]

3.6.12

surge arrester

surge protective device

SPD

device designed to protect the electrical apparatus from high transient overvoltages and to limit the duration and frequently the amplitude of the follow-on current

[definition 2.2.22 of IEC 60947-1: 2007]

3.6.13

insulation co-ordination

correlation of insulating characteristics of electrical equipment with the expected overvoltages and the characteristics of overvoltage protective devices on the one hand, and with the expected micro-environment and the pollution protective means on the other hand

[definition 2.5.61 of IEC 60947-1: 2007, modified]

3.6.14

inhomogeneous (non-uniform) field

electric field which has not an essentially constant voltage gradient between electrodes

[definition 2.5.63 of IEC 60947-1: 2007]

3.6.15

tracking

progressive formation of conducting paths which are produced on the surface of a solid insulating material, due to the combined effects of electric stress and electrolytic contamination on this surface

[definition 2.5.64 of IEC 60947-1: 2007]

3.6.16

comparative tracking index

CTI

numerical value of the maximum voltage in volts at which a material withstands 50 drops of a defined test liquid without tracking

NOTE The value of each test voltage and the CTI should be divisible by 25.

[definition 2.5.65 of IEC 60947-1: 2007, modified]

3.6.17

disruptive discharge

phenomena associated with the failure of insulation under electrical stress, in which the discharge completely bridges the insulation under test, reducing the voltage between the electrodes to zero or nearly zero

NOTE 1 A disruptive discharge in a solid dielectric produces permanent loss of dielectric strength; in a liquid or gaseous dielectric, the loss may be only temporary.

NOTE 2 The term "sparkover" is used when a disruptive discharge occurs in a gaseous or liquid dielectric.

NOTE 3 The term "flashover" is used when a disruptive discharge occurs over the surface of a dielectric in a gaseous or liquid medium.

NOTE 4 The term "puncture" is used when a disruptive discharge occurs through a solid dielectric.

3.7 Protection against electric shock

3.7.1

live part

conductor or conductive part intended to be energized in normal operation, including a neutral conductor, but by convention not a PEN conductor

NOTE This term does not necessarily imply a risk of electric shock.

[IEC 60050-195:1998, 195-02-19, modified]

3.7.2

hazardous live part

live part which, under certain conditions, can give a harmful electric shock

[IEC 60050-195:1998, 195-06-05]

3.7.3

exposed conductive part

conductive part of the ASSEMBLY, which can be touched and which is not normally live, but which may become a hazardous live part under fault conditions

[IEC 60050-826:2004, 826-12-10, modified]

3.7.4

protective conductor

(identification PE)

conductor provided for purposes of safety, for example protection against electric shock

[IEC 60050-826:2004, 826-13-22]

NOTE As an example the protective conductor can electrically connect the following parts:

- exposed conductive parts;
- extraneous conductive parts;
- main earthing terminal;
- earth electrode;
- earthed point of the source or artificial neutral.

3.7.5

neutral conductor

N

conductor electrically connected to the neutral point and capable of contributing to the distribution of electric energy

[IEC 60050-195:1998, 195-02-06, modified]

3.7.6

PEN conductor

conductor combining the functions of both a protective earthing conductor and a neutral conductor

[IEC 60050-195:1998, 195-02-12]

3.7.7

fault current

current resulting from an insulation failure, the bridging of insulation or incorrect connection in an electrical circuit

3.7.8

basic protection

protection against electric shock under fault-free conditions

[IEC 60050-195:1998, 195-06-01]

NOTE Basic protection is intended to prevent contact with live parts and generally corresponds to protection against direct contact.

3.7.9

basic insulation

insulation of hazardous live parts, which provide basic protection

[IEC 60050-195:1998, 195-06-06]

NOTE This concept does not apply to insulation used exclusively for functional purposes.

3.7.10

fault protection

protection against electric shock under single-fault conditions (e.g. failure of basic insulation)

[IEC 60050-195:1998, 195-06-02, modified]

NOTE Fault protection generally corresponds to protection against indirect contact, mainly with regard to failure of basic insulation.

3.7.11

extra-low voltage

ELV

any voltage not exceeding the relevant voltage limit specified in IEC 61201

3.7.12

skilled person

person with relevant education and experience to enable him or her to perceive risks and to avoid hazards which electricity can create

[IEC 60050-826:2004, 826-18-01]

3.7.13

instructed person

person adequately advised or supervised by skilled persons to enable him or her to perceive risks and to avoid hazards electricity can create

[IEC 60050-826:2004, 826-18-02]

3.7.14**ordinary person**

person who is neither a skilled person nor an instructed person

[IEC 60050-826:2004, 826-18-03]

3.7.15**authorized person**

skilled or instructed person, who is empowered to execute defined work

3.8 Characteristics**3.8.1****nominal value**

value of a quantity used to designate and identify a component, device, equipment or system

NOTE The nominal value is generally a rounded value.

[IEC 60050-151:2001, 151-16-09]

3.8.2**limiting value**

in a specification of a component, device, equipment or system, the greatest or smallest admissible value of a quantity

[IEC 60050-151:2001, 151-16-10]

3.8.3**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

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

3.8.4**rating**

set of rated values and operating conditions

[IEC 60050-151:2001, 151-16-11]

3.8.5**nominal voltage** (of an electrical system)

approximate value of voltage used to designate or identify an electrical system

[IEC 60050-601:1985, 601-01-21 modified]

3.8.6**short-circuit current**

I_c

over-current resulting from a short circuit due to a fault or an incorrect connection in an electric circuit

[IEC 60050-441:1984, 441-11-07]

3.8.7**prospective short-circuit current**

I_{cp}

r.m.s. value of the current which would flow if the supply conductors to the circuit are short-circuited by a conductor of negligible impedance located as near as practicable to the supply terminals of the ASSEMBLY (see 10.11.5.4)

3.8.8

cut-off current

let-through current

maximum instantaneous value of current attained during the breaking operation of a switching device or a fuse

NOTE This concept is of particular importance when the switching device or the fuse operates in such a manner that the prospective peak current of the circuit is not reached.

[IEC 60050-441:1984, 441-17-12]

3.8.9

voltage ratings

3.8.9.1

rated voltage

U_n

highest nominal voltage of the electrical system, a.c. (r.m.s.) or d.c., declared by the ASSEMBLY manufacturer, to which the main circuit(s) of the ASSEMBLY is (are) designed to be connected

NOTE 1 In polyphase circuits, it is the voltage between phases.

NOTE 2 Transients are disregarded.

NOTE 3 The value of the supply voltage may exceed the rated voltage due to permissible system tolerances.

3.8.9.2

rated operational voltage (of a circuit of an ASSEMBLY)

U_e

value of voltage, declared by the ASSEMBLY manufacturer, which combined with the rated current determines its application

NOTE In polyphase circuits, it is the voltage between phases.

3.8.9.3

rated insulation voltage

U_i

r.m.s. withstand voltage value, assigned by the ASSEMBLY manufacturer to the equipment or to a part of it, characterising the specified (long-term) withstand capability of the insulation

[definition 3.9.1 of IEC 60664-1: 2007, modified]

NOTE 1 In polyphase circuits, it is the voltage between phases.

NOTE 2 The rated insulation voltage is not necessarily equal to the rated operational voltage of equipment, which is primarily related to functional performance.

3.8.9.4

rated impulse withstand voltage

U_{imp}

impulse withstand voltage value, declared by the ASSEMBLY manufacturer, characterising the specified withstand capability of the insulation against transient overvoltages

[definition 3.9.2 of IEC 60664-1: 2007, modified]

3.8.10 current ratings

3.8.10.1 rated current

value of current, declared by the ASSEMBLY manufacturer which can be carried without the temperature-rise of various parts of the ASSEMBLY exceeding specified limits under specified conditions

NOTE For rated current of the ASSEMBLY (I_{nA}) see 5.3.1, and for rated current of a circuit (I_{nc}) see 5.3.2.

3.8.10.2 rated peak withstand current

I_{pk}

value of peak short-circuit current, declared by the ASSEMBLY manufacturer, that can be withstood under specified conditions

3.8.10.3 rated short-time withstand current

I_{cw}

r.m.s value of short-time current, declared by the ASSEMBLY manufacturer, that can be withstood under specified conditions, defined in terms of a current and time

3.8.10.4 rated conditional short-circuit current

I_{cc}

value of prospective short-circuit current, declared by the ASSEMBLY manufacturer, that can be withstood for the total operating time (clearing time) of the short-circuit protective device (SCPD) under specified conditions

NOTE The short-circuit protective device may form an integral part of the ASSEMBLY or may be a separate unit.

3.8.11 rated diversity factor RDF

per unit value of the rated current, assigned by the ASSEMBLY manufacturer, to which outgoing circuits of an ASSEMBLY can be continuously and simultaneously loaded taking into account the mutual thermal influences

3.8.12 rated frequency

f_n

value of frequency, declared by the ASSEMBLY manufacturer, for which a circuit is designed and to which the operating conditions refer

NOTE A circuit may be assigned a number or a range of rated frequencies or be rated for both a.c. and d.c.

3.8.13 electromagnetic compatibility EMC

NOTE For EMC related terms and definitions, see J.3.8.13.1 to J.3.8.13.5 of Annex J.

3.9 Verification

3.9.1 design verification

verification made on a sample of an ASSEMBLY or on parts of ASSEMBLIES to show that the design meets the requirements of the relevant ASSEMBLY standard

NOTE Design verification may comprise one or more equivalent methods see 3.9.1.1, 3.9.1.2 and 3.9.1.3.

3.9.1.1

verification test

test made on a sample of an ASSEMBLY or on parts of ASSEMBLIES to verify that the design meets the requirements of the relevant ASSEMBLY standard

NOTE Verification tests are equivalent to type tests.

3.9.1.2

verification comparison

structured comparison of a proposed design for an ASSEMBLY, or parts of an ASSEMBLY, with a reference design verified by test

3.9.1.3

verification assessment

design verification of strict design rules or calculations applied to a sample of an ASSEMBLY or to parts of ASSEMBLIES to show that the design meets the requirements of the relevant ASSEMBLY standard

3.9.2

routine verification

verification of each ASSEMBLY performed during and/or after manufacture to confirm whether it complies with the requirements of the relevant ASSEMBLY standard

3.10 Manufacturer/user

3.10.1

original manufacturer

organization that has carried out the original design and the associated verification of an ASSEMBLY in accordance with the relevant ASSEMBLY standard

3.10.2

ASSEMBLY manufacturer

organization taking the responsibility for the completed ASSEMBLY

NOTE The ASSEMBLY manufacturer may be a different organisation to the original manufacturer.

3.10.3

user

party who will specify, purchase, use and/or operate the ASSEMBLY, or someone acting on their behalf

4 Symbols and abbreviations

Alphabetical list of terms with symbols and abbreviations together with the subclause where they are first used:

Symbol/Abbreviation	Term	Subclause
CTI	comparative tracking index	3.6.17
ELV	extra-low voltage	3.7.11
EMC	electromagnetic compatibility	3.8.13
f_n	rated frequency	3.8.12
I_c	short-circuit current	3.8.6
I_{cc}	rated conditional short-circuit current	3.8.10.4
I_{cp}	prospective short-circuit current	3.8.7
I_{cw}	rated short-time withstand current	3.8.10.3
I_{nA}	rated current of the ASSEMBLY	5.3.1

Symbol/Abbreviation	Term	Subclause
I_{nc}	rated current of a circuit	5.3.2
I_{pk}	rated peak withstand current	3.8.10.2
N	neutral conductor	3.7.5
PE	protective conductor	3.7.4
PEN	PEN conductor	3.7.6
RDF	rated diversity factor	3.8.11
SCPD	short-circuit protective device	3.1.11
SPD	surge protective device	3.6.12
U_e	rated operational voltage	3.8.9.2
U_i	rated insulation voltage	3.8.9.3
U_{imp}	rated impulse withstand voltage	3.8.9.4
U_n	rated voltage	3.8.9.1

5 Interface characteristics

5.1 General

The characteristics of the ASSEMBLY shall ensure compatibility with the ratings of the circuits to which it is connected and the installation conditions and shall be declared by the ASSEMBLY manufacturer using the criteria identified in 5.2 to 5.6.

5.2 Voltage ratings

5.2.1 Rated voltage (U_n) (of the ASSEMBLY)

The rated voltage shall be at least equal to the nominal voltage of the electrical system.

5.2.2 Rated operational voltage (U_e) (of a circuit of an ASSEMBLY)

The rated operational voltage of any circuit shall not be less than the nominal voltage of the electrical system to which it is to be connected.

If different from the rated voltage of the ASSEMBLY, the appropriate rated operational voltage of the circuit shall be stated.

5.2.3 Rated insulation voltage (U_i) (of a circuit of an ASSEMBLY)

The rated insulation voltage of a circuit of an ASSEMBLY is the voltage value to which dielectric test voltages and creepage distances are referred.

The rated insulation voltage of a circuit shall be equal or higher than the values stated for U_n and for U_e for the same circuit.

NOTE For single-phase circuits derived from IT systems (see IEC 60364-5-52), the rated insulation voltage should be at least equal to the voltage between phases of the supply.

5.2.4 Rated impulse withstand voltage (U_{imp}) (of the ASSEMBLY)

The rated impulse withstand voltage shall be equal to or higher than the values stated for the transient overvoltages occurring in the electrical system(s) to which the circuit is designed to be connected.

NOTE The preferred values of rated impulse withstand voltage are those given in Table G.1 of Annex G.

5.3 Current ratings

5.3.1 Rated current of the ASSEMBLY (I_{nA})

The rated current of the ASSEMBLY is the smaller of:

- the sum of the rated currents of the incoming circuits within the ASSEMBLY operated in parallel;
- the total current which the main busbar is capable of distributing in the particular ASSEMBLY arrangement.

This current shall be carried without the temperature rise of the individual parts exceeding the limits specified in 9.2.

NOTE 1 The rated current of an incoming circuit may be lower than the rated current of the incoming device (according to the respective device standard) installed in the ASSEMBLY.

NOTE 2 The main busbar in this context is a single busbar or a combination of single busbars that are normally connected in service e.g. by means of a bus coupler.

NOTE 3 The rated current of the ASSEMBLY is the maximum permissible load current which can be distributed by the ASSEMBLY and which cannot be exceeded by adding further outgoing units.

5.3.2 Rated current of a circuit (I_{nc})

The rated current of a circuit is the value of the current that can be carried by this circuit loaded alone, under normal service conditions. This current shall be carried without the temperature rise of the various parts of the ASSEMBLY exceeding the limits specified in 9.2.

NOTE 1 The rated current of a circuit may be lower than the rated currents of the devices (according to the respective device standard) installed in this circuit.

NOTE 2 Due to the complex factors determining the rated currents, no standard values can be given.

5.3.3 Rated peak withstand current (I_{pk})

The rated peak withstand current shall be equal to or higher than the values stated for the peak value of the prospective short-circuit current of the supply system(s) to which the circuit(s) is (are) designed to be connected (see also 9.3.3).

5.3.4 Rated short-time withstand current (I_{cw}) (of a circuit of an ASSEMBLY)

The rated short-time withstand current shall be equal to or higher than the prospective r.m.s. value of the short-circuit current (I_{cp}) at each point of connection to the supply, (see also 3.8.10.3).

Different values of I_{cw} for different durations (e.g. 0,2 s; 1 s; 3 s) may be assigned to an ASSEMBLY.

For a.c., the value of the current is the r.m.s. value of the a.c. component.

5.3.5 Rated conditional short-circuit current of an ASSEMBLY (I_{cc})

The rated conditional short-circuit current shall be equal to or higher than the prospective r.m.s. value of short-circuit current (I_{cp}) for a duration limited by the operation of the short-circuit protective device that protects the ASSEMBLY.

The breaking capacity and current limitation characteristic (I^2t , I_{pk}) of the specified short-circuit protective device shall be stated by the ASSEMBLY manufacturer, taking into consideration the data given by the device manufacturer.

5.4 Rated diversity factor (RDF)

The rated diversity factor is the per unit value of the rated current, assigned by the ASSEMBLY manufacturer, to which outgoing circuits of an ASSEMBLY can be continuously and simultaneously loaded taking into account the mutual thermal influences.

Rated diversity factor can be stated:

- for groups of circuits;
- for the whole ASSEMBLY.

The rated diversity factor multiplied by the rated current of the circuits shall be equal to or higher than the assumed loading of the outgoing circuits. The assumed loading of outgoing circuits shall be addressed by the relevant ASSEMBLY standard.

NOTE 1 The assumed loading of the outgoing circuits can be a steady continuous current or the thermal equivalent of a varying current (See Annex E).

The rated diversity factor is applicable with the ASSEMBLY operating at rated current (I_{nA}).

NOTE 2 The rated diversity factor recognizes that multiple functional units are in practice not fully loaded simultaneously or are intermittently loaded.

See Annex E for further details.

NOTE 3 In Norway, the overload protection of conductors shall not solely be based on the use of diversity factors of the downstream circuits.

5.5 Rated frequency (f_n)

The rated frequency of a circuit is the value of frequency to which the operating conditions are referred. Where the circuits of an ASSEMBLY are designed for different values of frequency, the rated frequency of each circuit shall be given.

NOTE The frequency should be within the limits specified in the relevant IEC standards for the incorporated components. Unless otherwise stated by the ASSEMBLY manufacturer, the limits are assumed to be 98 % and 102 % of the rated frequency.

5.6 Other characteristics

The following characteristics shall be declared:

- additional requirements depending on the specific service conditions of a functional unit (e.g. type of coordination, overload characteristics);
- pollution degree (see 3.6.9);
- types of system earthing for which the ASSEMBLY is designed;
- indoor and/or outdoor installation (see 3.5.1 and 3.5.2);
- stationary or movable (see 3.5.3 and 3.5.4);
- degree of protection;
- intended for use by skilled or ordinary persons (see 3.7.12 and 3.7.14);
- electromagnetic compatibility (EMC) classification (see Annex J);
- special service conditions, if applicable (see 7.2);
- external design (see 3.3);
- mechanical impact protection, if applicable (see 8.2.1);
- the type of construction – fixed or removable parts (see 8.5.1 and 8.5.2.);
- the nature of short-circuit protective device(s) (see 9.3.2);
- measures for protection against electric shock;

- o) overall dimensions (including projections e.g handles, covers, doors), if required;
- p) the weight, if required.

6 Information

6.1 ASSEMBLY designation marking

The ASSEMBLY manufacturer shall provide each ASSEMBLY with one or more labels, marked in a durable manner and located in a place such that they are visible and legible when the ASSEMBLY is installed and in operation. Compliance is checked according to the test of 10.2.7 and by inspection.

The following information regarding the ASSEMBLY shall be provided on the designation label(s):

- a) ASSEMBLY manufacturer's name or trade mark (see 3.10.2);
- b) type designation or identification number or any other means of identification, making it possible to obtain relevant information from the ASSEMBLY manufacturer;
- c) means of identifying date of manufacture;
- d) IEC 61439-X (the specific part "X" shall be identified).

NOTE The relevant ASSEMBLY standard may specify where additional information is to be provided on the designation label.

6.2 Documentation

6.2.1 Information relating to the ASSEMBLY

All interface characteristics according to Clause 5, where applicable, shall be provided in the ASSEMBLY manufacturer's technical documentation supplied with the ASSEMBLY.

6.2.2 Instructions for handling, installation, operation and maintenance

The ASSEMBLY manufacturer shall provide in documents or catalogues the conditions, if any, for the handling, installation, operation and maintenance of the ASSEMBLY and the equipment contained therein.

If necessary, the instructions shall indicate the measures that are of particular importance for the proper and correct transport, handling, installation and operation of the ASSEMBLY. The provision of weight details is of particular importance in connection with the transport and handling of ASSEMBLIES.

The correct location and installation of lifting means and the thread size of lifting attachments, if applicable, shall be given in the ASSEMBLY manufacturer's documentation or the instructions on how the ASSEMBLY has to be handled.

The measures to be taken, if any, with regard to EMC associated with the installation, operation and maintenance of the ASSEMBLY shall be specified (see Annex J).

If an ASSEMBLY specifically intended for environment A is to be used in environment B the following warning shall be included in the operating instructions:

CAUTION

This product has been designed for environment A. Use of this product in environment B may cause unwanted electromagnetic disturbances in which case the user may be required to take adequate mitigation measures.

Where necessary, the above-mentioned documents shall indicate the recommended extent and frequency of maintenance.

If the circuitry is not obvious from the physical arrangement of the apparatus installed, suitable information shall be supplied, for example wiring diagrams or tables.

6.3 Device and/or component identification

Inside the ASSEMBLY, it shall be possible to identify individual circuits and their protective devices. Identification tags shall be legible, permanent and appropriate for the physical environment. Any designations used shall be in compliance with IEC 81346-1 and IEC 81346-2 and identical with those used in the wiring diagrams, which shall be in accordance with IEC 61082-1.

7 Service conditions

7.1 Normal service conditions

ASSEMBLIES conforming to this standard are intended for use under the normal service conditions detailed below.

NOTE If components, for example relays, electronic equipment, are used which are not designed for these conditions, appropriate steps should be taken to ensure proper operation.

7.1.1 Ambient air temperature

7.1.1.1 Ambient air temperature for indoor installations

The ambient air temperature does not exceed +40 °C and its average over a period of 24 h does not exceed +35 °C.

The lower limit of the ambient air temperature is –5 °C.

7.1.1.2 Ambient air temperature for outdoor installations

The ambient air temperature does not exceed +40 °C and its average over a period of 24 h does not exceed +35 °C.

The lower limit of the ambient air temperature is –25 °C.

7.1.2 Humidity conditions

7.1.2.1 Humidity conditions for indoor installations

The relative humidity of the air does not exceed 50 % at a maximum temperature of +40 °C. Higher relative humidity may be permitted at lower temperatures, for example 90 % at +20 °C. Moderate condensation should be borne in mind which may occasionally occur due to variations in temperature.

7.1.2.2 Humidity conditions for outdoor installations

The relative humidity may temporarily be as high as 100 % at a maximum temperature of +25 °C.

7.1.3 Pollution degree

The pollution degree (see 3.6.9) refers to the environmental conditions for which the ASSEMBLY is intended.

For switching devices and components inside an enclosure, the pollution degree of the environmental conditions in the enclosure is applicable.

For the purpose of evaluating clearances and creepage distances, the following four degrees of pollution in the micro-environment are established.

Pollution degree 1:

No pollution or only dry, non-conductive pollution occurs. The pollution has no influence.

Pollution degree 2:

Only non-conductive pollution occurs except that occasionally a temporary conductivity caused by condensation is to be expected.

Pollution degree 3:

Conductive pollution occurs or dry, non-conductive pollution occurs which is expected to become conductive due to condensation.

Pollution degree 4:

Continuous conductivity occurs due to conductive dust, rain or other wet conditions.

Pollution degree 4 is not applicable for a micro-environment inside the ASSEMBLY to this standard.

Unless otherwise stated, ASSEMBLIES for industrial applications are generally for use in a pollution degree 3 environment. However, other pollution degrees may be considered to apply, depending upon particular applications or the micro-environment.

NOTE The pollution degree of the micro-environment for the equipment may be influenced by installation in an enclosure.

7.1.4 Altitude

The altitude of the site of installation does not exceed 2 000 m.

NOTE For equipment to be used at higher altitudes, it is necessary to take into account the reduction of the dielectric strength, the switching capability of the devices and of the cooling effect of the air.

7.2 Special service conditions

Where any special service conditions exist, the applicable particular requirements shall be complied with or special agreements shall be made between the ASSEMBLY manufacturer and the user. The user shall inform the ASSEMBLY manufacturer if such exceptional service conditions exist.

Special service conditions include, for example:

- a) values of temperature, relative humidity and/or altitude differing from those specified in 7.1;
- b) applications where variations in temperature and/or air pressure take place at such a speed that exceptional condensation is liable to occur inside the ASSEMBLY;
- c) heavy pollution of the air by dust, smoke, corrosive or radioactive particles, vapours or salt;
- d) exposure to strong electric or magnetic fields;

- e) exposure to extreme climatic conditions;
- f) attack by fungus or small creatures;
- g) installation in locations where fire or explosion hazards exist;
- h) exposure to heavy vibration, shocks, seismic occurrences;
- i) installation in such a manner that the current-carrying capacity or breaking capacity is affected, for example equipment built into machines or recessed into walls;
- j) exposure to conducted and radiated disturbances other than electromagnetic, and electromagnetic disturbances in environments other than those described in 9.4;
- k) exceptional overvoltage conditions or voltage fluctuations;
- l) excessive harmonics in the supply voltage or load current.

7.3 Conditions during transport, storage and installation

A special agreement shall be made between the ASSEMBLY manufacturer and the user if the conditions during transport, storage and installation, for example temperature and humidity conditions, differ from those defined in 7.1.

8 Constructional requirements

8.1 Strength of materials and parts

8.1.1 General

ASSEMBLIES shall be constructed of materials capable of withstanding the mechanical, electrical, thermal and environmental stresses that are likely to be encountered in specified service conditions.

The external shape of the ASSEMBLY enclosure can vary to suit the application and use, some examples have been defined in 3.3. These enclosures may also be constructed from various materials e.g. insulating, metallic or a combination of these.

8.1.2 Protection against corrosion

Protection against corrosion shall be ensured by the use of suitable materials or by protective coatings to the exposed surface, taking account of the normal service conditions (see 7.1). Compliance to this requirement is checked by the test of 10.2.2.

8.1.3 Properties of insulating materials

8.1.3.1 Thermal stability

For enclosures or parts of enclosures made of insulating materials, thermal stability shall be verified according to 10.2.3.1.

8.1.3.2 Resistance of insulating materials to heat and fire

8.1.3.2.1 General

Parts of insulating materials which might be exposed to thermal stresses due to internal electrical effects, and the deterioration of which might impair the safety of the ASSEMBLY, shall not be adversely affected by normal (operational) heat, abnormal heat or fire.

8.1.3.2.2 Resistance of insulating materials to heat

The original manufacturer shall select insulating materials either by reference to the insulation temperature index (determined for example by the methods of IEC 60216) or by compliance with IEC 60085.

8.1.3.2.3 Resistance of insulating materials to abnormal heat and fire due to internal electric effects

Insulating materials used for parts necessary to retain current carrying parts in position and parts which might be exposed to thermal stresses due to internal electrical effects, and the deterioration of which might impair the safety of the ASSEMBLY, shall not be adversely affected by abnormal heat and fire and shall be verified by the glow-wire test in 10.2.3.2. For the purpose of this test, a protective conductor (PE) is not considered as a current-carrying part.

For small parts (having surface dimensions not exceeding 14 mm x 14 mm), an alternative test may be used (e.g. needle flame test, according to IEC 60695-11-5). The same procedure may be applicable for other practical reasons where the metal material of a part is large compared to the insulating material.

8.1.4 Resistance to ultra-violet radiation

For enclosures and external parts made of insulating materials which are intended to be used outdoor, resistance to ultra-violet radiation shall be verified according to 10.2.4.

8.1.5 Mechanical strength

All enclosures or partitions including locking means and hinges for doors shall be of a mechanical strength sufficient to withstand the stresses to which they may be subjected in normal service, and during short-circuit conditions (see also 10.13).

The mechanical operation of removable parts, including any insertion interlock, shall be verified by test according to 10.13.

8.1.6 Lifting provision

Where required, ASSEMBLIES shall be provided with the appropriate provision for lifting. Compliance is checked according to the test of 10.2.5.

8.2 Degree of protection provided by an ASSEMBLY enclosure

8.2.1 Protection against mechanical impact

The degree of protection provided by an ASSEMBLY enclosure against mechanical impact, if necessary, shall be defined by the relevant ASSEMBLY standards and verified in accordance with IEC 62262 (see 10.2.6).

8.2.2 Protection against contact with live parts, ingress of solid foreign bodies and water

The degree of protection provided by any ASSEMBLY against contact with live parts, ingress of solid foreign bodies and water is indicated by the IP code according to IEC 60529 and verified according to 10.3

NOTE 1 In the United States of America (USA), Canada and in Mexico enclosure "type" designations are used to specify "the degree of protection" provided to the ASSEMBLY. For applications in the USA, the appropriate enclosure type designation should be used as specified in NEMA 250. For applications in Canada, the appropriate enclosure type designation should be used as specified in CSA standard C22.2 No. 94.1 and 94.2. For applications in Mexico, the appropriate enclosure Type designation should be used as specified in NMX-J-235/1-ANCE y NMX-J-235/2-ANCE

The degree of protection of an enclosed ASSEMBLY shall be at least IP 2X, after installation in accordance with the ASSEMBLY manufacturer's instructions. The degree of protection provided from the front of a dead front ASSEMBLY shall be at least IP XXB.

For fixed ASSEMBLIES not subject to tilting in normal service IP X2 is not applicable.

For ASSEMBLIES for outdoor use having no supplementary protection, the second characteristic numeral shall be at least 3.

NOTE 2 For outdoor installation, supplementary protection may be protective roofing or the like.

Unless otherwise specified, the degree of protection indicated by the ASSEMBLY manufacturer applies to the complete ASSEMBLY when installed in accordance with the ASSEMBLY manufacturer's instructions, for example sealing of the open mounting surface of an ASSEMBLY, etc.

Where the ASSEMBLY does not have the same IP rating throughout, the ASSEMBLY manufacturer shall declare the IP rating for the separate parts.

Different IP ratings shall not impair the intended use of the ASSEMBLY.

NOTE 3 Examples include:

- Operating face IP 20, other parts IP 00.
- Drain holes in the base IP XXD, other parts IP 43.

No IP codes can be given unless the appropriate verifications have been made according to 10.3.

Enclosed ASSEMBLIES, for outdoor and indoor installation, intended for use in locations with high humidity and temperatures varying within wide limits, shall be provided with suitable arrangements (ventilation and/or internal heating, drain holes, etc.) to prevent harmful condensation within the ASSEMBLY. However, the specified degree of protection shall at the same time be maintained.

8.2.3 ASSEMBLY with removable parts

The degree of protection indicated for ASSEMBLIES normally applies to the connected position (see 3.2.3) of removable parts.

If, after the removal of a removable part, it is not possible to maintain the original degree of protection e.g. by closing a door, an agreement shall be reached between the ASSEMBLY manufacturer and the user as to what measures shall be taken to ensure adequate protection. Information provided by the ASSEMBLY manufacturer may take the place of such an agreement.

When shutters are used to provide adequate protection to live parts they shall be secured to prevent unintentional removal.

8.3 Clearances and creepage distances

8.3.1 General

The requirements for clearances and creepage distances are based on the principles of IEC 60664-1 and are intended to provide insulation co-ordination within the installation.

The clearances and creepage distances of equipment that form part of the ASSEMBLY shall comply with the requirements of the relevant product standard.

When incorporating equipment into the ASSEMBLY, the specified clearances and creepage distances shall be maintained during normal service conditions.

For dimensioning clearances and creepage distances between separate circuits, the highest voltage ratings shall be used (rated impulse withstand voltage for clearances and rated insulation voltage for creepage distances).

The clearances and creepage distances apply to phase to phase, phase to neutral, and except where a conductor is connected directly to earth, phase to earth and neutral to earth.

For bare live conductors and terminations (e.g. busbars, connections between equipment and cable lugs), the clearances and creepage distances shall at least be equivalent to those specified for the equipment with which they are directly associated.

The effect of a short-circuit up to and including the declared rating(s) of the ASSEMBLY shall not reduce permanently the clearances or creepage distances between busbars and/or connections, below the values specified for the ASSEMBLY. Deformation of parts of the enclosure or of the internal partitions, barriers and obstacles due to a short-circuit shall not reduce permanently the clearances or creepage distances below those specified in 8.3.2 and 8.3.3 (see also 10.11.5.5).

8.3.2 Clearances

The clearances shall be sufficient to enable the declared rated impulse withstand voltage (U_{imp}) of a circuit to be achieved. The clearances shall be as specified in Table 1 unless a design verification test and routine impulse withstand voltage test is carried out in accordance with 10.9.3 and 11.3, respectively.

The method of determining clearances by measurement is given in Annex F.

NOTE In the United States of America (USA) and Mexico National Electrical Codes, are used to specify minimum clearances. In the USA National Electric Code NFPA 70, Article 408.56 is applicable. In Mexico NOM-001-SEDE is applicable. For these applications, it is recommended that clearances be selected using Annex L, Table L.1 of this standard. For applications in Canada minimum electrical clearances are specified in the Canadian Electrical Code, Part 2 Product Safety Standards.

8.3.3 Creepage distances

The original manufacturer shall select a rated insulation voltage(s) (U_i) for the circuits of the ASSEMBLY from which the creepage distance(s) shall be determined. For any given circuit the rated insulation voltage shall not be less than the rated operational voltage (U_e).

The creepage distances shall not, in any case, be less than the associated minimum clearances.

Creepage distances shall correspond to a pollution degree as specified in 7.1.3 and to the corresponding material group at the rated insulation voltage given in Table 2.

The method of determining creepage distances by measurement is given in Annex F.

NOTE 1 For inorganic insulating materials, e.g. glass or ceramics, which do not track, creepage distances need not be greater than their associated clearances. However, the risk of disruptive discharge should be considered.

NOTE 2 In the United States of America (USA) and Mexico National Electrical Codes are used to specify minimum creepage distances. In the USA National Electric Code NFPA 70, Article 408.56 is applicable. In Mexico NOM-001-SEDE is applicable. For these applications, it is recommended that creepage distances be selected using Annex L, Table L.2 of this standard. For applications in Canada minimum creepage distances are specified in the Canadian Electrical Code, Part 2 Product Safety Standards.

By using ribs of a minimum height of 2 mm the creepage distance may be reduced but, irrespective of the number of ribs, shall be not less than 0,8 of the value of Table 2 and not less than the associated minimum clearance. The minimum base of the rib is determined by mechanical requirements (see Clause F.2).

8.4 Protection against electric shock

8.4.1 General

The apparatus and circuits in the ASSEMBLY shall be so arranged as to facilitate their operation and maintenance, and at the same time to ensure the necessary degree of safety.

The following requirements are intended to ensure that the required protective measures are obtained when an ASSEMBLY is installed in an electrical system conforming to the IEC 60364 series.

NOTE For generally accepted protective measures refer to IEC 61140 and IEC 60364-4-41.

Those protective measures, which are of particular importance for an ASSEMBLY, are reproduced in 8.4.2 to 8.4.6.

8.4.2 Basic protection

8.4.2.1 General

Basic protection is intended to prevent direct contact with hazardous live parts.

Basic protection can be achieved either by appropriate constructional measures on the ASSEMBLY itself or by additional measures to be taken during installation; this may require information to be given by the ASSEMBLY manufacturer.

An example of additional measures to be taken is the installation of an open-type ASSEMBLY without further provisions in a location where access is only permitted for authorized personnel.

Where basic protection is achieved by constructional measures one or more of the protective measures given in 8.4.2.2 and 8.4.2.3 may be selected. The choice of the protective measure shall be declared by the ASSEMBLY manufacturer if not specified within the relevant ASSEMBLY standard.

8.4.2.2 Basic insulation provided by insulating material

Hazardous live parts shall be completely covered with insulation that can only be removed by destruction or by the use of a tool.

The insulation shall be made of suitable materials capable of durably withstanding the mechanical, electrical and thermal stresses to which the insulation may be subjected in service.

NOTE Examples are electrical components embedded in insulation and insulated conductors.

Paints, varnishes and lacquers alone are not considered to satisfy the requirements for basic insulation.

8.4.2.3 Barriers or enclosures

Air insulated live parts shall be inside enclosures or behind barriers providing at least a degree of protection of IP XXB.

Horizontal top surfaces of accessible enclosures having a height equal to or lower than 1,6 m above the standing area, shall provide a degree of protection of at least IP XXD.

Barriers and enclosures shall be firmly secured in place and have sufficient stability and durability to maintain the required degrees of protection and appropriate separation from live

parts under normal service conditions, taking account of relevant external influences. The distance between a conductive barrier or enclosure and the live parts they protect shall not be less than the values specified for the clearances and creepage distances in 8.3.

Where it is necessary to remove barriers or open enclosures or to remove parts of enclosures, this shall be possible only if one of the conditions a) to c) is fulfilled:

- a) By the use of a key or tool, i.e. any mechanical aid, to open the door, cover or override an interlock.
- b) After isolation of the supply to live parts, against which the barriers or enclosures afford basic protection, restoration of the supply being possible only after replacement or reclosure of the barriers or enclosures. In TN-C systems, the PEN conductor shall not be isolated or switched. In TN-S systems and TN-C-S systems the neutral conductors need not be isolated or switched (see IEC 60364-5-53:2001, 536.1.2).

Example: By interlocking the door(s) with a disconnecter so that they can only be opened when the disconnecter is open, and closing of the disconnecter without the use of a tool is impossible while the door is open.

NOTE In Norway, the neutral conductor shall be isolated or switched.

- c) Where an intermediate barrier providing a degree of protection of at least IP XXB prevents contact with live parts, such a barrier being removable only by the use of a key or tool.

8.4.3 Fault protection

8.4.3.1 Installation conditions

The ASSEMBLY shall include protective measures and be suitable for installations designed to be in accordance with IEC 60364-4-41. Protective measures suitable for particular installations (e.g. railways, ships) shall be subject to agreement between the ASSEMBLY manufacturer and the user.

When a TT earthing system is being used in the electrical network one of the following measures shall be applied in the ASSEMBLY:

- a) double or reinforced insulation of the incoming connections, or
- b) residual current device (RCD) protection on the incoming circuit

Such provisions are subject to agreement between user and manufacturer.

8.4.3.2 Requirements for the protective conductor to facilitate automatic disconnection of the supply

8.4.3.2.1 General

Each ASSEMBLY shall have a protective conductor to facilitate automatic disconnection of the supply for:

- a) protection against the consequences of faults (e.g. failure of basic insulation) within the ASSEMBLY;
- b) protection against the consequences of faults (e.g. failure of basic insulation) in external circuits supplied through the ASSEMBLY.

The requirements to be complied with are given in the following subclauses.

Requirements for identification of the protective conductor (PE, PEN) are given in 8.6.6.

8.4.3.2.2 Requirements for earth continuity providing protection against the consequences of faults within the ASSEMBLY

All exposed conductive parts of the ASSEMBLY shall be interconnected together and to the protective conductor of the supply or via an earthing conductor to the earthing arrangement.

These interconnections may be achieved either by metal screwed connections, welding or other conductive connections or by a separate protective conductor.

NOTE With metal parts of the ASSEMBLY where abrasion resistant finishes are used, e.g. gland plates with powder coatings, connection for protective earthing requires removal or penetration of the coating.

The method to verify the earth continuity between the exposed conductive parts of the ASSEMBLY and the protective circuit is given in 10.5.2.

For the continuity of these connections the following shall apply:

- a) When a part of the ASSEMBLY is removed, for example for routine maintenance, the protective circuits (earth continuity) for the remainder of the ASSEMBLY shall not be interrupted.

Means used for assembling the various metal parts of an ASSEMBLY are considered sufficient for ensuring continuity of the protective circuits if the precautions taken guarantee permanent good conductivity.

Flexible or pliable metal conduits shall not be used as protective conductors unless they are designed for that purpose.

- b) For lids, doors, cover plates and the like, the usual metal screwed connections and metal hinges are considered sufficient to ensure continuity provided that no electrical equipment exceeding the limits of extra low voltage (ELV) is attached to them.

If apparatus with a voltage exceeding the limits of extra-low voltage are attached to lids, doors, or cover plates additional measures shall be taken to ensure earth continuity. These parts shall be fitted with a protective conductor (PE) whose cross-sectional area is in accordance with Table 3 depending on the highest rated operational current I_e of the apparatus attached or, if the rated operational current of the attached apparatus is less than or equal to 16 A, an equivalent electrical connection especially designed and verified for this purpose (sliding contact, hinges protected against corrosion).

Exposed conductive parts of a device that cannot be connected to the protective circuit by the fixing means of the device shall be connected to the protective circuit of the ASSEMBLY by a conductor whose cross-sectional area is chosen according to Table 3.

Certain exposed conductive parts of an ASSEMBLY that do not constitute a danger

- either because they cannot be touched on large surfaces or grasped with the hand,
- or because they are of small size (approximately 50 mm by 50 mm) or so located as to exclude any contact with live parts,

need not be connected to a protective conductor. This applies to screws, rivets and nameplates. It also applies to electromagnets of contactors or relays, magnetic cores of transformers, certain parts of releases, or similar, irrespective of their size.

When removable parts are equipped with a metal supporting surface, these surfaces shall be considered sufficient for ensuring earth continuity of protective circuits provided that the pressure exerted on them is sufficiently high.

8.4.3.2.3 Requirements for protective conductors providing protection against the consequences of faults in external circuits supplied through the ASSEMBLY

A protective conductor within the ASSEMBLY shall be so designed that it is capable of withstanding the highest thermal and dynamic stresses arising from faults in external circuits at the place of installation that are supplied through the ASSEMBLY. Conductive structural parts may be used as a protective conductor or a part of it.

Except where verification of the short-circuit withstand strength is not required in accordance with 10.11.2, verification shall be made in accordance with 10.5.3.

In principle, with the exception of the cases mentioned below, protective conductors within an ASSEMBLY shall not include a disconnecting device (switch, disconnector, etc.).

In the run of protective conductors links shall be permitted which are removable by means of a tool and accessible only to authorized personnel (these links may be required for certain tests).

Where continuity can be interrupted by means of connectors or plug-and-socket devices, the protective circuit shall be interrupted only after the live conductors have been interrupted and continuity shall be established before the live conductors are reconnected.

In the case of an ASSEMBLY containing structural parts, frameworks, enclosures, etc., made of conducting material, a protective conductor, if provided, need not be insulated from these parts. Conductors to voltage-operated fault detection devices including the conductors connecting them to a separate earth electrode shall be insulated when specified by their manufacturer. This can also apply to the earth connection of the transformer neutral.

The cross-sectional area of protective conductors (PE, PEN) in an ASSEMBLY to which external conductors are intended to be connected shall be not less than the value calculated with the aid of the formula indicated in Annex B using the highest fault current and fault duration that may occur and taking into account the limitation of the short-circuit protective devices (SCPDs) that protect the corresponding live conductors. The short-circuit withstand strength is verified according to 10.5.3.

For PEN conductors, the following additional requirements apply:

- the minimum cross-sectional area shall be 10 mm² copper or 16 mm² aluminium;
- the PEN conductor shall have a cross-sectional area not less than that required for a neutral conductor (see 8.6.1);
- the PEN conductors need not be insulated within an ASSEMBLY;
- structural parts shall not be used as a PEN conductor. However, mounting rails made of copper or aluminium may be used as PEN conductors.

For details of requirements for terminals for external protective conductors, see 8.8.

8.4.3.3 Electrical separation

Electrical separation of individual circuits is intended to prevent electrical shock through contact with exposed-conductive-parts, which may be energized by a fault in basic insulation of the circuit.

For this type of protection, see Annex K.

8.4.4 Protection by total insulation

NOTE According to 412.2.1.1 of IEC 60364-4-41, "total insulation" is equivalent to Class II equipment.

For basic and fault protection, by total insulation, the following requirements shall be met.

- a) The apparatus shall be completely enclosed in insulating material which is equivalent of double or reinforced insulation. The enclosure shall carry the symbol  which shall be visible from the outside.

- b) The enclosure shall at no point be pierced by conducting parts in such a manner that there is the possibility of a fault voltage being brought out of the enclosure.

This means that metal parts, such as actuator shafts which for constructional reasons have to be brought through the enclosure, shall be insulated on the inside or the outside of the enclosure from the live parts for the maximum rated insulation voltage and the maximum rated impulse withstand voltage of all circuits in the ASSEMBLY.

If an actuator is made of metal (whether covered by insulating material or not), it shall be provided with insulation rated for the maximum rated insulation voltage and the maximum impulse withstand voltage of all circuits in the ASSEMBLY.

If an actuator is principally made of insulating material, any of its metal parts which may become accessible in the event of insulation failure shall also be insulated from live parts for the maximum rated insulation voltage and the maximum rated impulse withstand voltage of all circuits in the ASSEMBLY.

- c) The enclosure, when the ASSEMBLY is ready for operation and connected to the supply, shall enclose all live parts, exposed conductive parts and parts belonging to a protective circuit in such a manner that they cannot be touched. The enclosure shall give at least the degree of protection IP 2XC (see IEC 60529).

If a protective conductor, which is extended to electrical equipment connected to the load side of the ASSEMBLY, is to be passed through an ASSEMBLY whose exposed conductive parts are insulated, the necessary terminals for connecting the external protective conductors shall be provided and identified by suitable marking.

Inside the enclosure, the protective conductor and its terminal shall be insulated from the live parts and the exposed conductive parts in the same way as the live parts are insulated.

- d) Exposed conductive parts within the ASSEMBLY shall not be connected to the protective circuit, i.e. they shall not be included in a protective measure involving the use of a protective circuit. This applies also to built-in apparatus, even if they have a connecting terminal for a protective conductor.
- e) If doors or covers of the enclosure can be opened without the use of a key or tool, a barrier of insulating material shall be provided that will afford protection against unintentional contact not only with the accessible live parts, but also with the exposed conductive parts that are only accessible after the cover has been opened; this barrier, however, shall not be removable except with the use of a tool.

8.4.5 Limitation of steady-state touch current and charge

If the ASSEMBLY contains items of equipment that may have steady-state touch current and charges after they have been switched off (capacitors, etc.) a warning plate is required.

Small capacitors such as those used for arc extinction, for delaying the response of relays, etc., shall not be considered dangerous.

NOTE Unintentional contact is not considered dangerous if the voltages resulting from static charges fall below a d.c. voltage of 60 V in less than 5 s after disconnection from the power supply.

8.4.6 Operating and servicing conditions

8.4.6.1 Devices to be operated or components to be replaced by ordinary persons

Protection against any contact with live parts shall be maintained when operating devices or when replacing components.

The minimum level of protection shall be IP XXC. During the replacement of certain lamps or fuselinks openings larger than those defined by degree of protection IP XXC are allowed.

8.4.6.2 Requirements related to accessibility in service by authorized persons

8.4.6.2.1 General

For accessibility in service by authorized persons, one or more of the following requirements in 8.4.6.2.2 to 8.4.6.2.4 shall be fulfilled subject to agreement between the ASSEMBLY manufacturer and the user. These requirements shall be complementary to the basic protection specified in 8.4.2.

If doors or covers of the ASSEMBLY can be opened by authorized persons by overriding an interlock to obtain access to live parts, then the interlock shall automatically be restored on reclosing the door(s) or replacing the cover(s).

8.4.6.2.2 Requirements related to accessibility for inspection and similar operations

The ASSEMBLY shall be constructed in such a way that certain operations, according to agreement between the ASSEMBLY manufacturer and the user, can be performed when the ASSEMBLY is in service and under voltage.

Such operations may consist of:

- visual inspection of
 - switching devices and other apparatus,
 - settings and indicators of relays and releases,
 - conductor connections and marking;
- adjusting and resetting of relays, releases and electronic devices;
- replacement of fuse-links;
- replacement of indicating lamps;
- certain fault location operations, for example voltage and current measuring with suitably designed and insulated devices.

8.4.6.2.3 Requirements related to accessibility for maintenance

To enable maintenance as agreed upon between the ASSEMBLY manufacturer and the user on an isolated functional unit or isolated group of functional units in the ASSEMBLY, with adjacent functional units or groups still under voltage, necessary measures shall be taken. The choice depends on such factors as service conditions, frequency of maintenance, competence of the authorized person, as well as local installation rules. Such measures may include:

- sufficient space between the actual functional unit or group and adjacent functional units or groups. It is recommended that parts likely to be removed for maintenance have, as far as possible, retainable fastening means;
- use of barriers or obstacles designed and arranged to protect against direct contact with equipment in adjacent functional units or groups;
- use of terminal shields;
- use of compartments for each functional unit or group;
- insertion of additional protective means provided or specified by the ASSEMBLY manufacturer.

8.4.6.2.4 Requirements related to accessibility for extension under voltage

When it is required to enable future extension of an ASSEMBLY with additional functional units or groups, with the rest of the ASSEMBLY still under voltage, the requirements specified in 8.4.6.2.3 shall apply, subject to agreement between the ASSEMBLY manufacturer and the user. These requirements also apply for the insertion and connection of additional outgoing cables when the existing cables are under voltage.

The extension of busbars and connection of additional units to their incoming supply shall not be made under voltage, unless the ASSEMBLY is designed for this purpose.

8.4.6.2.5 Obstacles

Obstacles shall prevent either:

- unintentional bodily approach to live parts, or
- unintentional contact with live parts during the operation of live equipment in normal service.

Obstacles may be removed without using a key or tool but shall be so secured as to prevent unintentional removal. The distance between a conductive obstacle and the live parts they protect shall not be less than the values specified for the clearances and creepage distances in 8.3.

Where a conductive obstacle is separated from hazardous live parts by basic protection only, it is an exposed conductive part, and measures for fault protection shall also be applied.

8.5 Incorporation of switching devices and components

8.5.1 Fixed parts

For fixed parts (see 3.2.1), the connections of the main circuits (see 3.1.3) shall only be connected or disconnected when the ASSEMBLY is not under voltage. In general, removal and installation of fixed parts requires the use of a tool.

The disconnection of a fixed part shall require the isolation of the complete ASSEMBLY or part of it.

In order to prevent unauthorized operation, the switching device may be provided with means to secure it in one or more of its positions.

NOTE Where working on live circuits is permitted, relevant safety precautions may be necessary.

8.5.2 Removable parts

The removable parts shall be so constructed that their electrical equipment can be safely removed from or connected to the main circuit whilst this circuit is live. The removable parts may be provided with an insertion interlock (see 3.2.5).

Clearances and creepage distances (see 8.3) shall be complied with during transfer from one position to another.

A removable part shall be fitted with a device, which ensures that it can only be removed and inserted after its main circuit has been switched off from the load.

In order to prevent unauthorized operation, the removable parts or their associated ASSEMBLY location may be provided with a lockable means to secure them in one or more of their positions.

8.5.3 Selection of switching devices and components

Switching devices and components incorporated in ASSEMBLIES shall comply with the relevant IEC standards.

The switching devices and components shall be suitable for the particular application with respect to the external design of the ASSEMBLY (e.g. open type or enclosed), their rated voltages, rated currents, rated frequency, service life, making and breaking capacities, short-circuit withstand strength, etc.

The rated insulation voltage, and rated impulse withstand voltage of the devices installed in the circuit shall be equal or higher than the corresponding value assigned to that circuit. In some cases overvoltage protection may be necessary e.g. for equipment fulfilling overvoltage category II (see 3.6.11). The switching devices and components having a short-circuit withstand strength and/or a breaking capacity which is insufficient to withstand the stresses likely to occur at the place of installation, shall be protected by means of current-limiting protective devices, for example fuses or circuit-breakers. When selecting current-limiting protective devices for built-in switching devices, account shall be taken of the maximum permissible values specified by the device manufacturer, having due regard to co-ordination (see 9.3.4).

Co-ordination of switching devices and components, for example co-ordination of motor starters with short-circuit protective devices, shall comply with the relevant IEC standards.

NOTE Guidance is given in IEC/TR 61912-1 and IEC/TR 61912-2.

8.5.4 Installation of switching devices and components

Switching devices and components shall be installed and wired in the ASSEMBLY in accordance with instructions provided by their manufacturer and in such a manner that their proper functioning is not impaired by interaction, such as heat, switching emissions, vibrations, electromagnetic fields, which are present in normal operation. In the case of electronic assemblies, this may necessitate the separation or screening of all electronic signal processing circuits.

When fuses are installed the original manufacturer shall state the type and rating of the fuse-links to be used.

8.5.5 Accessibility

Adjusting and resetting devices, which have to be operated inside the ASSEMBLY shall be easily accessible.

Functional units mounted on the same support (mounting plate, mounting frame) and their terminals for external conductors shall be so arranged as to be accessible for mounting, wiring, maintenance and replacement.

Unless otherwise agreed between the ASSEMBLY manufacturer and the user, the following accessibility requirements associated with floor-mounted ASSEMBLIES shall apply:

- The terminals, excluding terminals for protective conductors, shall be situated at least 0,2 m above the base of the ASSEMBLIES and, moreover, be so placed that the cables can be easily connected to them.
- Indicating instruments that need to be read by the operator shall be located within a zone between 0,2 m and 2,2 m above the base of the ASSEMBLY.
- Operating devices such as handles, push buttons, or similar shall be located at such a height that they can easily be operated; this means that their centreline shall be located within a zone between 0,2 m and 2 m above the base of the ASSEMBLY. Devices which are

infrequently operated, e.g. less than once per month, may be installed at a height up to 2,2 m.

- Actuators for emergency switching devices (see 536.4.2 of IEC 60364-5-53:2001) shall be accessible within a zone between 0,8 m and 1,6 m above the base of the ASSEMBLY.

NOTE In some countries, national codes or regulations may further limit the minimum and maximum height.

8.5.6 Barriers

Barriers for manual switching devices shall be so designed that the switching emissions do not present a danger to the operator.

To minimize danger when replacing fuse-links, interphase barriers shall be applied, unless the design and location of the fuses makes this unnecessary.

8.5.7 Direction of operation and indication of switching positions

The operational positions of components and devices shall be clearly identified. If the direction of operation is not in accordance with IEC 60447, then the direction of operation shall be clearly identified.

8.5.8 Indicator lights and push-buttons

Unless otherwise specified in the relevant product standard the colours of indicator lights and push-buttons shall be in accordance with IEC 60073.

8.6 Internal electrical circuits and connections

8.6.1 Main circuits

The busbars (bare or insulated) shall be arranged in such a manner that an internal short-circuit is not to be expected. They shall be rated at least in accordance with the information concerning the short-circuit withstand strength (see 9.3) and designed to withstand at least the short-circuit stresses limited by the protective device(s) on the supply side of the busbars.

Within one section, the conductors (including distribution busbars) between the main busbars and the supply side of functional units as well as the components included in these units may be rated on the basis of the reduced short-circuit stresses occurring on the load side of the respective short-circuit protective device within each unit, provided that these conductors are arranged so that under normal operation an internal short-circuit between phases and/or between phases and earth is not to be expected (see 8.6.4).

Unless otherwise agreed between the ASSEMBLY manufacturer and the user, the minimum cross-sectional area of the neutral within a three phase and neutral circuit shall be:

- For circuits with a phase conductor cross-sectional area up to and including 16 mm², 100 % of that of the corresponding phases.
- For circuits with a phase conductor cross-sectional area above 16 mm², 50 % of that of the corresponding phases with a minimum of 16 mm².

It is assumed that the neutral currents do not exceed 50 % of the phase currents.

NOTE For certain applications which lead to high values of zero sequence harmonics (e.g. 3rd order harmonics) higher cross-sections of the N conductor might be required as these harmonics of the phases are added in the N conductor and lead to high current load at higher frequencies. This is subject to special agreement between the ASSEMBLY manufacturer and the user.

The PEN shall be dimensioned as specified in 8.4.3.2.3.

8.6.2 Auxiliary circuits

The design of the auxiliary circuits shall take into account the supply earthing system and ensure that an earth-fault or a fault between a live part and an exposed conductive part shall not cause unintentional dangerous operation.

In general, auxiliary circuits shall be protected against the effects of short circuits. However, a short-circuit protective device shall not be provided if its operation is liable to cause a danger. In such a case, the conductors of auxiliary circuits shall be arranged in such a manner that a short-circuit is not to be expected (see 8.6.4).

8.6.3 Bare and insulated conductors

The connections of current-carrying parts shall not suffer undue alteration as a result of normal temperature rise, ageing of the insulating materials and vibrations occurring in normal operation. In particular, the effects of thermal expansion and of the electrolytic action in the case of dissimilar metals, and the effects of the endurance of the materials to the temperatures attained, shall be taken into consideration.

Connections between current-carrying parts shall be established by means that ensure a sufficient and durable contact pressure.

If verification of temperature rise is carried out on the basis of tests (see 10.10.2) the selection of conductors and their cross-sections used inside the ASSEMBLY shall be the responsibility of the original manufacturer. If verification of temperature rise is made following the rules of 10.10.3, the conductors shall have a minimum cross-section according to IEC 60364-5-52. Examples on how to adapt this standard for conditions inside an ASSEMBLY are given in the tables included in Annex H. In addition to the current-carrying capacity of the conductors, the selection is governed by:

- the mechanical stresses to which the ASSEMBLY may be subjected;
- the method used to lay and secure the conductors;
- the type of insulation;
- the type of components being connected (e.g. switchgear and controlgear in accordance with IEC 60947 series; electronic devices or equipment).

In the case of insulated solid or flexible conductors:

- They shall be rated for at least the rated insulation voltage (see 5.2.3) of the circuit concerned.
- Conductors connecting two termination points shall have no intermediate joint, e.g. spliced or soldered.
- Conductors with only basic insulation shall be prevented from coming into contact with bare live parts at different potentials.
- Contact of conductors with sharp edges shall be prevented.
- Supply conductors to apparatus and measuring instruments in covers or doors shall be so installed that no mechanical damage can occur to the conductors as a result of movement of these covers or doors.
- Soldered connections to apparatus shall be permitted in ASSEMBLIES only in cases where provision is made for this type of connection on the apparatus and the specified type of conductor is used.
- For apparatus other than those mentioned above, soldering cable lugs or soldered ends of stranded conductors are not acceptable under conditions of heavy vibration. In locations where heavy vibrations exist during normal operation, for example in the case of dredger and crane operation, operation on board ships, lifting equipment and locomotives, attention should be given to the support of conductors.

- Generally only one conductor should be connected to a terminal; the connection of two or more conductors to one terminal is permissible only in those cases where the terminals are designed for this purpose.

The dimensioning of solid insulation between separate circuits shall be based on the circuit of highest rated insulation voltage.

8.6.4 Selection and installation of non-protected live conductors to reduce the possibility of short-circuits

Live conductors in an ASSEMBLY that are not protected by short-circuit protective devices (see 8.6.1 and 8.6.2) shall be selected and installed throughout the entire ASSEMBLY in such a manner that an internal short-circuit between phases or between phase and earth is a remote possibility. Examples of conductor types and installation requirements are given in Table 4. Non-protected live conductors selected and installed as in Table 4 shall have a total length not exceeding 3 m between the main busbar and each respective SCPD.

8.6.5 Identification of the conductors of main and auxiliary circuits

With the exception of the cases mentioned in 8.6.6, the method and the extent of identification of conductors, for example by arrangement, colours or symbols, on the terminals to which they are connected or on the end(s) of the conductors themselves, is the responsibility of the ASSEMBLY manufacturer and shall be in agreement with the indications on the wiring diagrams and drawings. Where appropriate, identification according to IEC 60445 shall be applied.

8.6.6 Identification of the protective conductor (PE, PEN) and of the neutral conductor (N) of the main circuits

The protective conductor shall be readily distinguishable by location and/or marking or colour. If identification by colour is used, it shall only be green and yellow (twin-coloured), which is strictly reserved for the protective conductor. When the protective conductor is an insulated single-core cable, this colour identification shall be used, preferably throughout the whole length.

Any neutral conductor of the main circuit shall be readily distinguishable by location and/or marking or colour (see IEC 60445 where blue is required).

NOTE In some countries (e.g. USA, Australia, South Africa) other colours for the neutral conductor are required.

8.7 Cooling

ASSEMBLIES can be provided with natural cooling and/or active cooling (e.g. forced cooling, internal air conditioning, heat exchanger etc.). If special precautions are required at the place of installation to ensure proper cooling, the ASSEMBLY manufacturer shall furnish the necessary information (for instance indication of the need for spacing with respect to parts that are liable to impede the dissipation of heat or produce heat themselves).

8.8 Terminals for external conductors

The ASSEMBLY manufacturer shall indicate whether the terminals are suitable for connection of copper or aluminium conductors, or both. The terminals shall be such that the external conductors may be connected by a means (screws, connectors, etc.) which ensures that the necessary contact pressure corresponding to the current rating and the short-circuit strength of the apparatus and the circuit is maintained.

In the absence of a special agreement between the ASSEMBLY manufacturer and the user, terminals shall be capable of accommodating copper conductors from the smallest to the largest cross-sectional areas corresponding to the appropriate rated current (see Annex A).

Where aluminium conductors are to be terminated, the type, size and termination method of the conductors shall be as agreed between the ASSEMBLY manufacturer and the user.

In the case where external conductors for electronic circuits with low level currents and voltages (less than 1 A and less than 50 V a.c. or 120 V d.c.) have to be connected to an ASSEMBLY, Table A.1 does not apply.

The available wiring space shall permit proper connection of the external conductors of the indicated material and, in the case of multicore cables, spreading of the cores.

NOTE 1 In the United States of America (USA) and Mexico National Electrical Codes should be used for determining the minimum wire bending space requirements. In the USA NFPA 70, Article 312 is applicable. In Mexico NOM-001-SEDE is applicable. In Canada, wire space and wire bending space is prescribed in the Canadian Electrical Code, Part 2 Standard, C22.2 No. 0.12, Wire Space and Wire Bending Space in Enclosures for Equipment Rated 750 V or Less.

The conductors shall not be subjected to stresses, which are likely to reduce their normal life expectancy.

Unless otherwise agreed between the ASSEMBLY manufacturer and the user, on three-phase and neutral circuits, terminals for the neutral conductor shall allow the connection of copper conductors having a minimum cross-sectional area:

- equal to half the cross-sectional area of the phase conductor, with a minimum of 16 mm², if the size of the phase conductor exceeds 16 mm²;
- equal to the full cross-sectional area of the phase conductor, if the size of the latter is less than or equal to 16 mm².

NOTE 2 For conductors other than copper conductors, the above cross-sections should be replaced by cross-sections of equivalent conductivity, which may require larger terminals.

NOTE 3 For certain applications which lead to high values of zero sequence harmonics (e.g. 3rd order harmonics) higher cross-sections of the N conductor might be required as these harmonics of the phases are added in the N conductor and lead to high current load at higher frequencies. This is subject to special agreement between the ASSEMBLY manufacturer and the user.

If connecting facilities for incoming and outgoing neutral, protective and PEN conductors are provided; they shall be arranged in the vicinity of the associated phase conductor terminals.

NOTE 4 IEC 60204-1 requires a minimum cross-section of the conductor and does not allow the connection of PEN into the electrical equipment of the machinery.

Openings in cable entries, cover plates, etc., shall be so designed that, when the cables are properly installed, the stated protective measures against contact and degree of protection shall be obtained. This implies the selection of means of entry suitable for the application as stated by the ASSEMBLY manufacturer.

The terminals for external protective conductors shall be marked according to IEC 60445. As an example see graphical symbol  No. 5019 of IEC 60417. This symbol is not required where the external protective conductor is intended to be connected to an internal protective conductor, which is clearly identified with the colours green and yellow.

The terminals for external protective conductors (PE, PEN) and metal sheathing of connecting cables (steel conduit, lead sheath, etc.) shall, where required, be bare and, unless otherwise specified, suitable for the connection of copper conductors. A separate terminal of adequate size shall be provided for the outgoing protective conductor(s) of each circuit.

Unless otherwise agreed between the ASSEMBLY manufacturer and the user, terminals for protective conductors shall allow the connection of copper conductors having a cross-section depending on the cross-section of the corresponding phase conductors according to Table 5.

In the case of enclosures and conductors of aluminium or aluminium alloys, particular consideration shall be given to the danger of electrolytic corrosion. The connecting means to ensure the continuity of the conductive parts with external protective conductors shall have no other function.

NOTE 5 Special precautions may be necessary with metal parts of the ASSEMBLY, particularly gland plates, where abrasion resistant finishes, for example powder coatings, are used.

Identification of terminals shall comply with IEC 60445 unless otherwise stated.

9 Performance requirements

9.1 Dielectric properties

9.1.1 General

Each circuit of the ASSEMBLY shall be capable of withstanding:

- temporary overvoltages;
- transient overvoltages.

The ability to withstand temporary overvoltages, and the integrity of solid insulation, is verified by the power-frequency withstand voltage and the ability to withstand transient overvoltages is verified by the impulse withstand voltage.

9.1.2 Power-frequency withstand voltage

The circuits of the ASSEMBLY shall be capable of withstanding the appropriate power-frequency withstand voltages given in Tables 8 and 9 (see 10.9.2.1). The rated insulation voltage of any circuit of the ASSEMBLY shall be equal to or higher than its maximum operational voltage.

9.1.3 Impulse withstand voltage

9.1.3.1 Impulse withstand voltages of main circuits

Clearances from live parts to exposed conductive parts and between live parts of different potential shall be capable of withstanding the test voltage given in Table 10 appropriate to the rated impulse withstand voltage.

The rated impulse withstand voltage for a given rated operational voltage shall not be less than that corresponding in Annex G to the nominal voltage of the supply system of the circuit at the point where the ASSEMBLY is to be used and the appropriate overvoltage category.

9.1.3.2 Impulse withstand voltages of auxiliary circuits

- a) Auxiliary circuits that are connected to the main circuit and operate at the rated operational voltage without any means for reduction of overvoltage shall comply with the requirements of 9.1.3.1.
- b) Auxiliary circuits that are not connected to the main circuit may have an overvoltage withstand capacity different from that of the main circuit. The clearances of such circuits – a.c. or d.c. – shall be capable of withstanding the appropriate impulse withstand voltage in accordance with Annex G.

9.1.4 Protection of surge protective devices

When overvoltage conditions require surge protective devices (SPD's) to be connected to the main circuit, such SPD's shall be protected to prevent uncontrolled short-circuit conditions as specified by the SPD manufacturer.

9.2 Temperature rise limits

The ASSEMBLY and its circuits shall be able to carry their rated currents under specified conditions (see 5.3.1, 5.3.2 and 5.3.3), taking into consideration the ratings of the components, their disposition and application, without exceeding the limits given in Table 6 when verified in accordance with 10.10. The temperature rise limits given in Table 6 apply for a mean ambient air temperature up to 35 °C.

The temperature rise of an element or part is the difference between the temperature of this element or part measured in accordance with 10.10.2.3.3 and the ambient air temperature outside the ASSEMBLY. If the mean ambient air temperature is higher than 35 °C, then the temperature rise limits have to be adapted for this special service condition, so that the sum of the ambient temperature and the individual temperature rise limit remains the same. If the mean ambient air temperature is lower than 35 °C the same adaptation of the temperature rise limits is allowed subject to agreement between the user and ASSEMBLY manufacturer.

The temperature rise shall not cause damage to current-carrying parts or adjacent parts of the ASSEMBLY. In particular, for insulating materials, the original manufacturer shall demonstrate compliance either by reference to the insulation temperature index (determined for example by the methods of IEC 60216) or by compliance with IEC 60085.

NOTE 1 If the temperature rise limits have been changed to cover a different ambient temperature, then the rated current of all busbars, functional units etc. may need to be changed accordingly. The original manufacturer should state the measures to be taken, if any, to ensure compliance with the temperature limits. For ambient temperatures up to 50 °C this can be done by calculation, assuming that the over temperature of each component or device is proportional to the power loss generated in this component. There are devices where the power loss is substantially proportional to I^2 and others that have substantially fixed losses.

NOTE 2 In the United States of America (USA) and Mexico National Electrical Codes, are used to specify maximum temperature rises. In the USA, NFPA 70, Article 110.14C is applicable. In Mexico NOM-001-SEDE is applicable. For these applications, temperature rises should be selected using Annex M, Table M.1 of this standard. In Canada, maximum temperature rise is prescribed in the Canadian Electrical Code, Part 2, Product Safety Standards.

9.3 Short-circuit protection and short-circuit withstand strength

9.3.1 General

ASSEMBLIES shall be capable of withstanding the thermal and dynamic stresses resulting from short-circuit currents not exceeding the rated values.

NOTE 1 The short-circuit stresses may be reduced by the use of current-limiting devices e.g. inductance, current-limiting fuses or other current-limiting switching devices.

ASSEMBLIES shall be protected against short-circuit currents by means of, for example, circuit-breakers, fuses or combinations of both, which may either be incorporated in the ASSEMBLY or arranged outside it.

NOTE 2 For ASSEMBLIES intended for use in IT systems (see IEC 60364-5-52), the short-circuit protective device should have a sufficient breaking capacity on each single pole at line-to-line voltage to clear a double earth fault.

NOTE 3 Unless otherwise specified in the ASSEMBLY manufacturer's operating and maintenance instructions ASSEMBLIES that have been subjected to a short circuit may not be suitable for future service without inspection and/or maintenance by skilled personnel.

9.3.2 Information concerning short-circuit withstand strength

For ASSEMBLIES with a short-circuit protective device (SCPD) incorporated in the incoming unit, the ASSEMBLY manufacturer shall indicate the maximum allowable value of prospective short-circuit current at the input terminals of the ASSEMBLY. This value shall not exceed the appropriate rating(s) (see 5.3.3, 5.3.4 and 5.3.5). The corresponding power factor and peak values shall be those shown in 9.3.3.

If a circuit breaker with time-delay release is used as the short-circuit protective device, the ASSEMBLY manufacturer shall state the maximum time-delay and the current setting corresponding to the indicated prospective short-circuit current.

For ASSEMBLIES where the short-circuit protective device is not incorporated in the incoming unit, the ASSEMBLY manufacturer shall indicate the short-circuit withstand strength in one or more of the following ways:

- a) rated short-time withstand current (I_{cw}) together with the associated duration (see 5.3.4) and rated peak withstand current (I_{pk}) (see 5.3.3);
- b) rated conditional short-circuit current (I_{cc}) (see 5.3.5).

For times up to a maximum of 3 s, the relationship between the rated short-time current and the associated duration is given by the formula $I^2t = \text{constant}$, provided that the peak value does not exceed the rated peak withstand current.

The ASSEMBLY manufacturer shall indicate the characteristics of the short-circuit protective devices necessary for the protection of the ASSEMBLY.

For an ASSEMBLY having several incoming units which are unlikely to be in operation simultaneously, the short-circuit withstand strength can be indicated for each of the incoming units in accordance with the above.

For an ASSEMBLY having several incoming units which are likely to be in operation simultaneously, and for an ASSEMBLY having one incoming unit and one or more outgoing high-power units likely to contribute to the short-circuit current, it is necessary to determine the values of the prospective short-circuit current in each incoming unit, in each outgoing unit and in the busbars based on data provided by the user.

9.3.3 Relationship between peak current and short-time current

For determining the electrodynamic stresses, the value of peak current shall be obtained by multiplying the r.m.s.value of the short-circuit current by the factor n . The values for the factor n and the corresponding power factor are given in Table 7.

9.3.4 Co-ordination of protective devices

The co-ordination of protective devices within the ASSEMBLY with those to be used external to the ASSEMBLY shall be the subject of an agreement between the ASSEMBLY manufacturer and the user. Information given in the ASSEMBLY manufacturer's catalogue may take the place of such an agreement.

If the operating conditions require maximum continuity of supply, the settings or selection of the short-circuit protective devices within the ASSEMBLY should, where possible, be so co-ordinated that a short circuit occurring in any outgoing circuit is cleared by the switching device installed in the circuit without affecting the other outgoing circuits, thus ensuring selectivity of the protective system.

Where short-circuit protective devices are connected in series and are intended to operate simultaneously to reach the required short-circuit switching capability (i.e. back-up protection), the ASSEMBLY manufacturer shall inform the user (e.g. by a warning label in the ASSEMBLY or in the operating instructions, see 6.2) that none of the protective devices are allowed to be replaced by another device which is not of identical type and rating, unless the device is tested and approved in combination with the back-up device since the switching capability of the whole combination may otherwise be compromised.

9.4 Electromagnetic compatibility (EMC)

For EMC related performance requirements, see J.9.4 of Annex J.

10 Design verification

10.1 General

Design verification is intended to verify compliance of the design of an ASSEMBLY or ASSEMBLY system with the requirements of this series of standards.

Where tests on the ASSEMBLY have been conducted in accordance with the IEC 60439 series, and the test results fulfill the requirements of the relevant part of IEC 61439, the verification of these requirements need not be repeated.

Repetition of verifications in the product standards of switching devices or components incorporated in the ASSEMBLY, which have been selected in accordance with 8.5.3 and installed in accordance with the instructions of their manufacturer is not required. Tests on individual devices to their respective product standards are not an alternative to the design verifications in this standard for the ASSEMBLY.

If modifications are made to a verified ASSEMBLY, Clause 10 shall be used to check if these modifications affect the performance of the ASSEMBLY. New verifications shall be carried out if an adverse effect is likely.

The various methods include:

- verification testing;
- verification comparison with a tested reference design;
- verification assessment, i.e. confirmation of the correct application of calculations and design rules, including use of appropriate safety margins.

See Annex D.

When there is more than one method for the same verification, they are considered equivalent and the selection of the appropriate method is the responsibility of the original manufacturer.

The tests shall be performed on a representative sample of an ASSEMBLY in a clean and new condition.

The performance of the ASSEMBLY may be affected by the verification tests (e.g. short-circuit test). These tests should not be performed on an ASSEMBLY that is intended to be placed in service.

An ASSEMBLY which is verified in accordance with this standard by an original manufacturer (see 3.10.1) and manufactured or assembled by another does not require the original design verifications to be repeated if all the requirements and instructions specified and provided by the original manufacturer are met in full. Where the ASSEMBLY manufacturer incorporates their own arrangements not included in the original manufacturer's verification, the ASSEMBLY manufacturer is deemed to be the original manufacturer in respect of these arrangements.

Design verification shall comprise the following:

a) Construction:

- 10.2 Strength of materials and parts;
- 10.3 Degree of protection of enclosures;
- 10.4 Clearances and creepage distances;
- 10.5 Protection against electric shock and integrity of protective circuits;
- 10.6 Incorporation of switching devices and components;
- 10.7 Internal electrical circuits and connections;

10.8 Terminals for external conductors.

b) Performance:

- 10.9 Dielectric properties;
- 10.10 Verification of temperature rise;
- 10.11 Short-circuit withstand strength;
- 10.12 Electromagnetic compatibility;
- 10.13 Mechanical operation.

The reference designs, the number of ASSEMBLIES or parts thereof used for verification, the selection of the verification method when applicable, and the order in which the verification is carried out shall be at the discretion of the original manufacturer.

The data used, calculations made and comparison undertaken for the verification of ASSEMBLIES shall be recorded in verification reports.

10.2 Strength of materials and parts

10.2.1 General

The mechanical, electrical and thermal capability of constructional materials and parts of the ASSEMBLY shall be deemed to be proven by verification of construction and performance characteristics.

Where an empty enclosure in accordance with IEC 62208 is used, and it has not been modified so as to degrade the performance of the enclosure, no repetition of the enclosure testing to 10.2 is required.

10.2.2 Resistance to corrosion

10.2.2.1 Test procedure

The resistance to corrosion of representative samples of ferrous metallic enclosures including internal and external ferrous metallic constructional parts of the ASSEMBLY shall be verified.

The test shall be carried out on:

- an enclosure or representative sample enclosure with representative internal parts in place and door(s) closed as in normal use, or
- representative enclosure parts and internal parts separately.

In all cases hinges, locks and fastenings shall also be tested unless they have previously been subjected to an equivalent test and their resistance to corrosion has not been compromised by their application.

Where the enclosure is subjected to the test it shall be mounted as for normal use according to the original manufacturer's instructions.

The test specimens shall be new and in a clean condition and shall be subjected to severity test A or B, as detailed in 10.2.2.2 and 10.2.2.3.

NOTE The salt mist test provides an atmosphere that accelerates corrosion and does not imply that the ASSEMBLY is suitable for salt laden atmosphere.

10.2.2.2 Severity test A

This test is applicable to:

- metallic indoor enclosures;

- external metallic parts of indoor ASSEMBLIES;
- internal metallic parts of indoor and outdoor ASSEMBLIES upon which intended mechanical operation may depend.

The test consists of:

6 cycles of 24 h each to damp heat cycling test according to IEC 60068-2-30 (Test Db) at $(40 \pm 3) ^\circ\text{C}$ and relative humidity of 95 %

and

2 cycles of 24 h each to salt mist test according to IEC 60068-2-11; (Test Ka: Salt mist), at a temperature of $(35 \pm 2) ^\circ\text{C}$.

10.2.2.3 Severity test B

This test is applicable to:

- metallic outdoor enclosures;
- external metallic parts of outdoor ASSEMBLIES.

The test comprises two identical 12 day periods.

Each 12 day period comprises:

5 cycles of 24 h each to damp heat cycling test according to IEC 60068-2-30 (Test Db) at $(40 \pm 3) ^\circ\text{C}$ and relative humidity of 95 %

and

7 cycles of 24 h each to salt mist test according to IEC 60068-2-11; (Test Ka: Salt mist), at a temperature of $(35 \pm 2) ^\circ\text{C}$.

10.2.2.4 Results to be obtained

After the test, the enclosure or samples shall be washed in running tap water for 5 min, rinsed in distilled or demineralized water then shaken or subjected to air blast to remove water droplets. The specimen under test shall then be stored under normal service conditions for 2 h.

Compliance is checked by visual inspection to determine that:

- there is no evidence of iron oxide, cracking or other deterioration more than that allowed by ISO 4628-3 for a degree of rusting Ri1. However surface deterioration of the protective coating is allowed. In case of doubt associated with paints and varnishes, reference shall be made to ISO 4628-3 to verify that the samples conform to the specimen Ri1;
- the mechanical integrity is not impaired;
- seals are not damaged,
- doors, hinges, locks, and fastenings work without abnormal effort.

10.2.3 Properties of insulating materials

10.2.3.1 Verification of thermal stability of enclosures

The thermal stability of enclosures manufactured from insulating material shall be verified by the dry heat test. The test shall be carried out according to IEC 60068-2-2 Test Bb, at a

temperature of 70 °C, with natural air circulation, for a duration of 168 h and with a recovery of 96 h.

Parts, intended for decorative purposes that have no technical significance shall not be considered for the purpose of this test.

The enclosure, mounted as for normal use, is subjected to a test in a heating cabinet with an atmosphere having the composition and pressure of the ambient air and ventilated by natural circulation. If the dimensions of the enclosure are too large for the available heating cabinet, the test may be carried out on a representative sample of the enclosure.

The use of an electrically heated cabinet is recommended.

Natural circulation may be provided by holes in the walls of the cabinet.

The enclosure or sample shall show no crack visible to normal or corrected vision without additional magnification nor shall the material have become sticky or greasy, this being judged as follows:

With the forefinger wrapped in a dry piece of rough cloth, the sample is pressed with a force of 5 N.

NOTE The force of 5 N can be obtained in the following way: the enclosure or sample is placed on one of the pans of a balance and the other pan is loaded with a mass equal to the mass of the sample plus 500 g. Equilibrium is then restored by pressing the sample with the forefinger wrapped in a dry piece of rough cloth.

No traces of the cloth shall remain on the sample and the material of the enclosure or sample shall not stick to the cloth.

10.2.3.2 Verification of resistance of insulating materials to abnormal heat and fire due to internal electric effects

The glow-wire test principles of IEC 60695-2-10 and the details given in IEC 60695-2-11 shall be used to verify the suitability of materials used:

- a) on parts of ASSEMBLIES, or
- b) on parts taken from these parts.

The test shall be carried out on material with the minimum thickness used for the parts in a) or b).

If an identical material having representative cross-sections as the parts has already satisfied the requirements of 8.1.3.2.3 then the test need not be repeated. It is the same for all parts which have been previously tested according to their own specifications.

For a description of the test, see Clause 4 of IEC 60695-2-11:2000. The apparatus to be used shall be as described in Clause 5 of IEC 60695-2-11:2000.

The temperature of the tip of the glow-wire shall be as follows:

- 960 °C for parts necessary to retain current-carrying parts in position;
- 850 °C for enclosures intended for mounting in hollow walls;
- 650 °C for all other parts, including parts necessary to retain the protective conductor.

As an alternative the original manufacturer shall provide data on the suitability of materials from the insulating material supplier to demonstrate compliance with the requirements of 8.1.3.2.3.

10.2.4 Resistance to ultra-violet (UV) radiation

This test applies only to enclosures and external parts of ASSEMBLIES intended to be installed outdoors and which are constructed of insulating materials or metals that are entirely coated by synthetic material. Representative samples of such parts shall be subjected to the following test:

UV test according to ISO 4892-2 Method A, Cycle 1 providing a total test period of 500 h. For enclosures constructed of insulating materials compliance is checked by verification that the flexural strength (according to ISO 178) and Charpy impact (according to ISO 179) of insulating materials have 70 % minimum retention.

The test shall be made on six test specimens of standard size according to ISO 178 and on six test specimens of standard size according to ISO 179. The test specimens shall be made under the same conditions as those used for the manufacture of the enclosure concerned.

For the test carried out in accordance with ISO 178, the surface of the sample exposed to UV shall be turned face down and the pressure applied to the non exposed surface.

For the test carried out in accordance with ISO 179 for materials whose impact bending strength cannot be determined prior to exposure because no rupture has occurred, not more than three of the exposed test specimens shall be allowed to break.

For compliance, enclosures constructed of metals entirely coated by synthetic material, the adherence of the synthetic material shall have a minimum retention of category 3 according to ISO 2409.

Samples shall not show cracks or deterioration visible to normal or corrected vision without additional magnification.

This test need not be carried out if the original manufacturer can provide data from the material supplier to demonstrate that material of the same type and thickness or thinner complies with this requirement.

10.2.5 Lifting

For ASSEMBLIES with provision for lifting means compliance is verified by the following tests.

The maximum number of sections allowed by the original manufacturer to be lifted together shall be equipped with components and/or weights to achieve a weight of 1,25 times its maximum shipping weight. With doors closed it shall be lifted with the specified lifting means and in the manner defined by the original manufacturer.

From a standstill position, the ASSEMBLY shall be raised smoothly without jerking in a vertical plane to a height of ≥ 1 m and lowered in the same manner to a standstill position. This test is repeated a further two times after which the ASSEMBLY is raised up and suspended clear of the floor for 30 min without any movement.

Following this test the ASSEMBLY shall be raised smoothly without jerking from a standstill position to a height of ≥ 1 m and moved $(10 \pm 0,5)$ m horizontally, then lowered to a standstill position. This sequence, shall be carried out three times at uniform speed, each sequence being carried out within 1 min.

After the test, with the test weights in place, the ASSEMBLY shall show no cracks or permanent distortions visible to normal or corrected vision without additional magnification, which could impair any of its characteristics.

10.2.6 Mechanical impact

Mechanical impact tests where required by the specific ASSEMBLY standard are to be carried out in accordance with IEC 62262.

10.2.7 Marking

Marking made by moulding, pressing, engraving or similar, including labels with a laminated plastic covering, shall not be submitted to the following test.

The test is made by rubbing the marking by hand for 15 s with a piece of cloth soaked in water and then for 15 s with a piece of cloth soaked with petroleum spirit.

NOTE The petroleum spirit is defined as a solvent hexane with a content of aromatics of maximum 0,1 % in volume, a kauributanol value of 29, an initial boiling point of 65 °C, a final boiling point of 69 °C and a density of approximately 0,68 g/cm³.

After the test the marking shall be legible to normal or corrected vision without additional magnification.

10.3 Degree of protection of ASSEMBLIES

The degree of protection provided in accordance with 8.2.2, 8.2.3 and 8.4.2.3 shall be verified in accordance with IEC 60529; the test may be carried out on one representative equipped ASSEMBLY in a condition stated by the original manufacturer. Where an empty enclosure in accordance with IEC 62208 is used, a verification assessment shall be performed to ensure that any external modification that has been carried out does not result in a deterioration of the degree of protection. In this case no further testing is required.

IP tests shall be carried out:

- with all covers and doors in place and closed as in normal service;
- in a de-energised state unless stated otherwise by the original manufacturer.

ASSEMBLIES having a degree of protection of IP 5X shall be tested according to category 2 in 13.4 of IEC 60529:1989.

ASSEMBLIES having a degree of protection of IP 6X shall be tested according to category 1 in 13.4 of IEC 60529:1989.

The test device for IP X3 and IP X4 as well as the type of support for the enclosure during the IP X4 test shall be stated in the test report.

The IP X1 test may be carried out by moving the drip box instead of rotating the ASSEMBLY.

Ingress of water in the IP X1 to IP X6 tests on an ASSEMBLY is permissible only if its route of entry is obvious and the water is only in contact with the enclosure at a location where it will not impair safety.

The IP 5X test is deemed to be a failure if harmful amount of dust is visible on electrical equipment housed within the enclosure.

10.4 Clearances and creepage distances

It shall be verified that the clearances and creepage distances comply with the requirements of 8.3.

The clearances and creepage distances shall be measured in accordance with Annex F.

10.5 Protection against electric shock and integrity of protective circuits

10.5.1 Effectiveness of the protective circuit

The effectiveness of protective circuit is verified for the following functions:

- a) protection against the consequences of a fault within the ASSEMBLY (internal faults) as outlined in 10.5.2, and
- b) protection against the consequences of faults in external circuits supplied through the ASSEMBLY (external faults) as outlined in 10.5.3.

10.5.2 Effective earth continuity between the exposed conductive parts of the ASSEMBLY and the protective circuit

It shall be verified that the different exposed conductive parts of the ASSEMBLY are effectively connected to the terminal for the incoming external protective conductor and that the resistance of the circuit does not exceed 0,1 Ω .

Verification shall be made using a resistance measuring instrument which is capable of driving a current of at least 10 A (a.c. or d.c.). The current is passed between each exposed conductive part and the terminal for the external protective conductor. The resistance shall not exceed 0,1 Ω .

NOTE It is recommended to limit the duration of the test where low-current equipment otherwise may be adversely affected by the test.

10.5.3 Short-circuit withstand strength of the protective circuit

10.5.3.1 General

The rated short-circuit withstand strength shall be verified. Verification may be by comparison with a reference design or by test as detailed in 10.5.3.3 to 10.5.3.5.

The original manufacturer shall determine the reference design(s) that will be used in 10.5.3.3 and 10.5.3.4.

10.5.3.2 Protective circuits that are exempted from short-circuit withstand verification

Where a separate protective conductor is provided in accordance with 8.4.3.2.3, short-circuit testing is not required if one of the conditions of 10.11.2. is fulfilled.

10.5.3.3 Verification by comparison with a reference design – Utilising a check list

Verification is achieved when comparison of the ASSEMBLY to be verified with an already tested design utilising items 1 to 6 and 8 to 10 of the check list in Table 13 shows no deviations.

To ensure the same current carrying capacity for that portion of the fault current that flows through the exposed conductive parts, the design, number and arrangement of the parts that provide contact between the protective conductor and the exposed conductive parts, shall be the same as in the tested reference design.

10.5.3.4 Verification by comparison with a reference design – Utilising calculation

Verification by comparison with a reference design based on calculation is to be in accordance with 10.11.4

To ensure the same current carrying capacity for that portion of the fault current that flows through the exposed conductive parts, the design, number and arrangement of the parts that

provide contact between the protective conductor and the exposed conductive parts, shall be the same as in the tested reference design.

10.5.3.5 Verification by test

Subclause 10.11.5.6 applies.

10.6 Incorporation of switching devices and components

10.6.1 General

Compliance with the design requirements of 8.5 for the incorporation of switching devices and components shall be confirmed by the original manufacturer's inspection.

10.6.2 Electromagnetic compatibility

The performance requirements of J.9.4 for electromagnetic compatibility shall be confirmed by inspection or where necessary by test (see J.10.12).

10.7 Internal electrical circuits and connections

Compliance with the design requirements of 8.6 for internal electrical circuits and connections shall be confirmed by the original manufacturer's inspection.

10.8 Terminals for external conductors

Compliance with the design requirements of 8.8 for terminals for external conductors shall be confirmed by the original manufacturer's inspection.

10.9 Dielectric properties

10.9.1 General

For this test, all the electrical equipment of the ASSEMBLY shall be connected, except those items of apparatus which, according to the relevant specifications, are designed for a lower test voltage; current-consuming apparatus (e.g. windings, measuring instruments, voltage surge suppression devices) in which the application of the test voltage would cause the flow of a current, shall be disconnected. Such apparatus shall be disconnected at one of their terminals unless they are not designed to withstand the full test voltage, in which case all terminals may be disconnected.

For test voltage tolerances and the selection of test equipment, see IEC 61180.

10.9.2 Power-frequency withstand voltage

10.9.2.1 Main, auxiliary and control circuits

Main circuits as well as auxiliary and control circuits that are connected to the main circuit shall be subjected to the test voltage according to Table 8.

Auxiliary and control circuits, whether a.c. or d.c., that are not connected to the main circuit shall be subjected to the test voltage according to Table 9.

10.9.2.2 Test voltage

The test voltage shall have a substantially sinusoidal waveform and a frequency between 45 Hz and 65 Hz.

The high-voltage transformer used for the test shall be so designed that, when the output terminals are short-circuited after the output voltage has been adjusted to the appropriate test voltage, the output current shall be at least 200 mA.

The overcurrent relay shall not trip when the output current is less than 100 mA.

The value of the test voltage shall be that specified in Table 8 or 9 as appropriate with a permitted tolerance of $\pm 3\%$.

10.9.2.3 Application of the test voltage

The power frequency voltage at the moment of application shall not exceed 50 % of the full test value. It shall then be increased progressively to this full value and maintained for $5 \left(\begin{smallmatrix} +2 \\ 0 \end{smallmatrix} \right)$ s as follows:

- a) between all live parts of the main circuit connected together (including the control and auxiliary circuits connected to the main circuit) and exposed conductive parts, with the main contacts of all switching devices in the closed position or bridged by a suitable low resistance link;
- b) between each live part of different potential of the main circuit and, the other live parts of different potential and exposed conductive parts connected together, with the main contacts of all switching devices in the closed position or bridged by a suitable low resistance link;
- c) between each control and auxiliary circuit not normally connected to the main circuit and the
 - main circuit;
 - other circuits;
 - exposed conductive parts.

10.9.2.4 Acceptance criteria

The overcurrent relay shall not operate and there shall be no disruptive discharge (see 3.6.17) during the tests.

10.9.3 Impulse withstand voltage

10.9.3.1 General

Verification shall be made by test or by assessment.

In place of the impulse withstand voltage test the original manufacturer may perform, at his discretion, an equivalent a.c. or d.c. voltage test, in accordance with 10.9.3.3 or 10.9.3.4.

10.9.3.2 Impulse withstand voltage test

The impulse voltage generator shall be adjusted to the required impulse voltage with the ASSEMBLY connected. The value of the test voltage shall be that specified in 9.1.3. The accuracy of the applied peak voltage shall be $\pm 3\%$.

Auxiliary circuits not connected to main circuits shall be connected to earth. The $1,2/50 \mu\text{s}$ impulse voltage shall be applied to the ASSEMBLY five times for each polarity at intervals of 1 s minimum as follows:

- a) between all the live parts of different potential of the main circuit connected together (including the control and auxiliary circuits connected to the main circuit) and exposed conductive parts, with the main contacts of all switching devices in the closed position or bridged by a suitable low resistance link;

- b) between each live part of different potential of the main circuit and, the other live parts of different potential and exposed conductive parts connected together, with the main contacts of all switching devices in the closed position or bridged by a suitable low resistance link.
- c) between each control and auxiliary circuit not normally connected to the main circuit and the
 - main circuit;
 - other circuits;
 - exposed conductive parts.

For an acceptable result there shall be no disruptive discharge during the tests.

10.9.3.3 Alternative power-frequency voltage test

The test voltage shall have a substantially sinusoidal waveform and a frequency between 45 Hz and 65 Hz.

The high-voltage transformer used for the test shall be so designed that, when the output terminals are short-circuited after the output voltage has been adjusted to the appropriate test voltage, the output current shall be at least 200 mA.

The overcurrent relay shall not trip when the output current is less than 100 mA.

The value of the test voltage shall be that specified in 9.1.3 and Table 10 as appropriate with a permitted tolerance of $\pm 3\%$.

The power-frequency voltage shall be applied once, at full value, for a duration sufficient for the magnitude to be ascertained, but it shall not be less than 15 ms.

It shall be applied to the ASSEMBLY in the manner described in 10.9.3.2. a) b) and c) above.

For an acceptable result the overcurrent relay shall not operate and there shall be no disruptive discharge during the tests.

10.9.3.4 Alternative d.c. voltage test

The test voltage shall have negligible ripple.

The high-voltage source used for the test shall be so designed that, when the output terminals are short-circuited after the output voltage has been adjusted to the appropriate test voltage, the output current shall be at least 200 mA.

The overcurrent relay shall not trip when the output current is less than 100 mA.

The value of the test voltage shall be that specified in 9.1.3 and Table 10 as appropriate with a permitted tolerance of $\pm 3\%$.

The d.c. voltage shall be applied once for each polarity for a duration sufficient for the magnitude to be ascertained, but it shall not be less than 15 ms or greater than 100 ms.

It shall be applied to the ASSEMBLY in the manner of 10.9.3.2. a) and b) above.

For an acceptable result the overcurrent relay shall not operate and there shall be no disruptive discharge during the tests.

10.9.3.5 Verification assessment

Clearances shall be verified by measurement, or verification of measurements on design drawings, employing the measurement methods stated in Annex F. The clearances shall be at least 1,5 times the values specified in Table 1.

NOTE The 1,5 factor to values in Table 1 is applied to avoid impulse withstand voltage tests for design verification. It is a safety factor that takes into consideration manufacturing tolerances.

It shall be verified by assessment of the device manufacturer's data that all incorporated devices are suitable for the specified rated impulse withstand voltage (U_{imp}).

10.9.4 Testing of enclosures made of insulating material

For ASSEMBLIES with enclosures made of insulating material, an additional dielectric test shall be carried out by applying an a.c. test voltage between a metal foil laid on the outside of the enclosure over openings and joints, and the interconnected live and exposed conductive parts within the ASSEMBLY located next to the openings and joints. For this additional test, the test voltage shall be equal to 1,5 times the values indicated in Table 8.

10.9.5 External operating handles of insulating material

In the case of handles made of or covered by insulating material, a dielectric test shall be carried out by applying a test voltage equal to 1,5 times the test voltage indicated in Table 8 between the live parts and a metal foil wrapped round the whole surface of the handle. During this test, the exposed conductive parts shall not be earthed or connected to any other circuit.

10.10 Verification of temperature rise

10.10.1 General

It shall be verified that the temperature-rise limits specified in 9.2 for the different parts of the ASSEMBLY or ASSEMBLY system will not be exceeded.

Verification shall be made by one or more of the following methods (see Annex O for guidance):

- a) testing (10.10.2);
- b) derivation (from a tested design) of ratings for similar variants (10.10.3);
- c) calculation for a single compartment ASSEMBLY not exceeding 630 A according to 10.10.4.2 or for ASSEMBLIES not exceeding 1600 A according to 10.10.4.3.

In ASSEMBLIES rated for frequencies above 60 Hz verification of temperature rise by test (10.10.2) or by derivation from a similar design tested at the same intended frequency (10.10.3) is always required.

The current carrying capability of the circuits to be verified is determined by the rated current (see 5.3.2) and the RDF (see 5.4).

10.10.2 Verification by testing

10.10.2.1 General

Verification by test comprises the following:

- a) If the ASSEMBLY system to be verified comprises a number of variants, the most onerous arrangement(s) of the ASSEMBLY system shall be selected according to 10.10.2.2.
- b) The ASSEMBLY variant(s) selected shall be verified by one of the following methods(see Annex O):

- 1) considering individual functional units, the main and distribution busbars and the ASSEMBLY collectively according to 10.10.2.3.5;
 - 2) considering individual functional units separately and the complete ASSEMBLY including the main and distribution busbars according to 10.10.2.3.6;
 - 3) considering individual functional units and the main and distribution busbars separately as well as the complete ASSEMBLY according to 10.10.2.3.7.
- c) When the ASSEMBLY variant(s) tested are the most onerous variants out of an ASSEMBLY system then the test results can be used to establish the ratings of similar variants without further testing. Rules for such derivations are given in 10.10.3.

10.10.2.2 Selection of the representative arrangement

10.10.2.2.1 General

The test shall be made on one or more representative arrangements loaded with one or more representative load combinations chosen to obtain with reasonable accuracy the highest possible temperature rise.

The selection of the representative arrangements to be tested is given in 10.10.2.2.2 and 10.10.2.2.3 and is the responsibility of the original manufacturer. The original manufacturer shall take into consideration in his selection for test, the configurations to be derived from the tested arrangements according to 10.10.3.

10.10.2.2.2 Busbars

For busbar systems consisting of single or multiple rectangular sections of conductor, where the variants differ only in the reduction of one or more of

- height,
- thickness,
- quantity of bars per conductor,

and have the same

- arrangement of bars,
- center line spacing of conductors,
- enclosure and
- busbar compartment (if any),

the busbars with the greatest cross-sectional area shall be selected as the representative arrangement as a minimum for the test. For ratings of smaller busbar size variants or other materials see 10.10.3.3.

10.10.2.2.3 Functional units

a) Selection of comparable functional unit groups

Functional units intended to be used at different rated currents can be considered to have a similar thermal behaviour and form a comparable range of units, if they fulfil the following conditions:

- 1) the function and basic wiring diagram of the main circuit is the same (e.g. incoming unit, reversing starter, cable feeder);
- 2) the devices are of the same frame size and belong to the same series;
- 3) the mounting structure is of the same type;
- 4) the mutual arrangement of the devices is the same;
- 5) the type and arrangement of conductors is the same;

- 6) the cross-section of the main circuit conductors within a functional unit shall have a rating at least equal to that of the lowest rated device in the circuit. Selection of cables shall be as tested or in accordance with IEC 60364-5-52. Examples on how to adapt this standard for conditions inside an ASSEMBLY are given in the tables included in Annex H. The cross-section of bars shall be as tested or as given in Annex N.

b) Selection of a critical variant out of each comparable group as a specimen for test

For the critical variant the most onerous compartment (where applicable) and enclosure conditions (with respect to shape, size, design of partitions and enclosure ventilation) shall be tested.

The maximum possible current rating for each variant of functional unit is established. For functional units containing only one device this is the rated current of the device. For functional units with several devices, it is that of the device with the lowest rated current. If a combination of devices connected in series is intended to be used at a lower current (e.g. motor starter combination), this lower current shall be used.

For each functional unit the power loss is calculated at the maximum possible current using the data given by the device manufacturer for each device together with the power losses of the associated conductors.

For functional units with currents up to and including 630 A, the critical unit in each range is the functional unit with the highest total power loss.

For functional units with currents above 630 A the critical unit in each range is that which has the highest rated current. This ensures that additional thermal effects relating to eddy currents and current displacement are taken into consideration.

The critical functional unit shall at least be tested:

- inside the smallest compartment (if any) which is intended for this functional unit; and
- with the worst variant of internal separation (if any) with respect to size of ventilation openings; and
- with the enclosure with the highest installed power loss per volume; and
- with the worst variant of ventilation of the enclosure with respect to the kind of ventilation (natural or forced convection) and size of ventilation openings.

If the functional unit can be arranged in different orientations (horizontal, vertical), then the most onerous arrangement shall be tested.

NOTE Additional test may be made on the discretion of the original manufacturer for less critical arrangements and variants of functional units.

10.10.2.3 Methods of test

10.10.2.3.1 General

In 10.10.2.3.5 to 10.10.2.3.7 three methods for test are given, which differ in the number of tests needed and in the range of applicability of the test results, an explanation is provided in Annex O.

The temperature-rise test on the individual circuits shall be made with the type of current for which they are intended, and at the design frequency. Any convenient value of the test voltage may be used to produce the desired current. Coils of relays, contactors, releases, etc., shall be supplied with rated operational voltage.

The ASSEMBLY shall be mounted as in normal use, with all covers including bottom cover plates, etc., in place.

If the ASSEMBLY includes fuses, these shall be fitted for the test with fuse-links as specified by the manufacturer. The power losses of the fuse-links used for the test shall be stated in the test report. Fuse-link power loss may be determined by measurement or alternatively as declared by the fuse-link manufacturer.

The size and the disposition of external conductors used for the test shall be stated in the test report.

The test shall be made for a time sufficient for the temperature rise to reach a constant value. In practice, this condition is reached when the variation at all measured points (including the ambient air temperature) does not exceed 1 K/h.

To shorten the test, if the devices allow it, the current may be increased during the first part of the test, it being reduced to the specified test current afterwards.

When a control electro-magnet is energized during the test, the temperature is measured when thermal equilibrium is reached in both the main circuit and the control electro-magnet.

The average value of the actual incoming test currents shall be between -0% and $+3\%$ of the intended value. Each phase shall be within $\pm 5\%$ of the intended value.

Tests on an individual section of the ASSEMBLY are acceptable. To make the test representative the external surfaces at which additional sections may be connected shall be thermally insulated with a covering to prevent any undue cooling.

When testing individual functional units within a section or a complete ASSEMBLY, the adjacent functional units can be replaced by heating resistors if the rating of each does not exceed 630 A and their rating is not to be verified with this test.

In ASSEMBLIES where there is a possibility that additional control circuits or devices may be incorporated, heating resistors shall simulate the power dissipation of these additional items.

10.10.2.3.2 Test conductors

In the absence of detailed information concerning the external conductors and the service conditions, the cross-section of the external test conductors shall be chosen considering the rated current of each circuit as follows:

a) For values of rated current up to and including 400 A:

- 1) the conductors shall be single-core, copper cables or insulated wires with cross-sectional areas as given in Table 11;
- 2) as far as practicable, the conductors shall be in free air;
- 3) the minimum length of each temporary connection from terminal to terminal shall be:
 - 1 m for cross-sections up to and including 35 mm²;
 - 2 m for cross-sections larger than 35 mm².

b) For values of rated current higher than 400 A but not exceeding 800 A:

- 1) The conductors shall be single-core copper cables with cross-sectional areas as given in Table 12, or the equivalent copper bars given in Table 12 as specified by the original manufacturer.
- 2) Cables or copper bars shall be spaced at approximately the distance between terminals. Multiple parallel cables per terminal shall be bunched together and arranged with approximately 10 mm air space between each other. Multiple copper bars per terminal shall be spaced at a distance approximately equal to the bar thickness. If the sizes stated for the bars are not suitable for the terminals or are not available, it is allowed to use other bars having the same cross-sectional dimensions $\pm 10\%$ and the same or smaller cooling surfaces. Cables or copper bars shall not be interleaved.

- 3) For single-phase or multi-phase tests, the minimum length of any temporary connection to the test supply shall be 2 m. The minimum length to a star point may be reduced to 1,2 m where agreed by the original manufacturer.

c) For values of rated current higher than 800 A but not exceeding 4 000 A:

- 1) The conductors shall be copper bars of the sizes stated in Table 12 unless the ASSEMBLY is designed only for cable connection. In this case, the size and arrangement of the cables shall be as specified by the original manufacturer.
- 2) Copper bars shall be spaced at approximately the distance between terminals. Multiple copper bars per terminal shall be spaced at a distance approximately equal to the bar thickness. If the sizes stated for the bars are not suitable for the terminals or are not available, it is allowed to use other bars having the same cross-sectional dimensions $\pm 10\%$ and the same or smaller cooling surfaces. Copper bars shall not be interleaved.
- 3) For single-phase or multi-phase tests, the minimum length of any temporary connection to the test supply shall be 3 m, but this can be reduced to 2 m provided that the temperature rise at the supply end of the connection is not more than 5 K below the temperature rise in the middle of the connection length. The minimum length to a star point shall be 2 m.

d) For values of rated current higher than 4 000 A:

The original manufacturer shall determine all relevant items of the test, such as type of supply, number of phases and frequency (where applicable), cross-sections of test conductors, etc. This information shall form part of the test report.

10.10.2.3.3 Measurement of temperatures

Thermocouples or thermometers shall be used for temperature measurements. For windings, the method of measuring the temperature by resistance variation shall generally be used.

The thermometers or thermocouples shall be protected against air currents and heat radiation.

The temperature shall be measured at all points where a temperature-rise limit (see 9.2) must be observed. Particular attention shall be given to joints in conductors and terminals within the main circuits. For measurement of the temperature of air inside an ASSEMBLY, several measuring devices shall be arranged in convenient places.

10.10.2.3.4 Ambient air temperature

The ambient air temperature shall be measured by means of at least two thermometers or thermocouples equally distributed around the ASSEMBLY at approximately half its height and at a distance of approximately 1 m from the ASSEMBLY. The thermometers or thermocouples shall be protected against air currents and heat radiation.

The ambient temperature during the test shall be between +10 °C and +40 °C.

10.10.2.3.5 Verification of the complete ASSEMBLY

Incoming and outgoing circuits of the ASSEMBLY shall be loaded with their rated currents (see 5.3.2) being equivalent to a rated diversity factor of 1 (see 5.4 and Annex O).

If the rated current of the incoming circuit or distribution busbar system is less than the sum of the rated currents of all outgoing circuits, then the outgoing circuits shall be split into groups corresponding to the rated current of the incoming circuit or distribution busbar system. The groups shall be formed in a manner so that the highest possible temperature rise is obtained. Sufficient groups shall be formed and tests undertaken so as to include all different variants of functional units in at least one group.

Where the fully loaded circuits do not distribute exactly the total incoming current, the remaining current shall be distributed via any other appropriate circuit. This test shall be repeated until all types of outgoing circuit have been verified at their rated current.

Change in the arrangement of functional units within a verified ASSEMBLY, or section of an ASSEMBLY may necessitate additional tests as the thermal influence of the adjacent units may differ significantly.

NOTE 10.10.2.3.6 provides a means of testing an ASSEMBLY with diversity factor less than one and fewer tests than specified in 10.10.2.3.7.

10.10.2.3.6 Verification considering individual functional units separately and the complete ASSEMBLY

The rated currents of the circuits according to 5.3.2 and the rated diversity factor according to 5.4 shall be verified in two stages.

The rated current of each critical variant functional unit (10.10.2.2.3.b)) shall be verified separately in accordance with 10.10.2.3.7 c).

The ASSEMBLY is verified by loading the incoming circuit to its rated current and all outgoing functional units collectively to their rated current multiplied by the diversity factor.

If the rated current of the incoming circuit or distribution busbar system is less than the sum of the test currents of all outgoing circuits (i.e. the rated currents multiplied by the diversity factor), then the outgoing circuits shall be split into groups corresponding to the rated current of the incoming circuit or distribution busbar system. The groups shall be formed in a manner so that the highest possible temperature rise is obtained. Sufficient groups shall be formed and tests undertaken so as to include all different variants of functional units in at least one group.

Where the fully loaded circuits do not distribute exactly the total incoming current, the remaining current shall be distributed via any other appropriate circuit. This test shall be repeated until all types of outgoing circuit have been verified at their test current.

Change in the arrangement of functional units within a verified ASSEMBLY, or section of an ASSEMBLY may necessitate additional tests as the thermal influence of the adjacent units may differ significantly.

10.10.2.3.7 Verification considering individual functional units and the main and distribution busbars separately as well as the complete ASSEMBLY

ASSEMBLIES shall be verified by separate verification of standard elements a) to c) as selected in accordance with 10.10.2.2.2 and 10.10.2.2.3, and verification of a complete ASSEMBLY d) under worst case conditions as detailed below:

- a) Main busbars shall be tested separately. They shall be mounted in the ASSEMBLY enclosure as in normal use with all covers and all partitions that separate the main busbars from other compartments, in place. If the main busbar has joints, then they shall be included in the test. The test shall be carried out at rated current. The test current shall pass through the full length of the busbars. Where the design of the ASSEMBLY permits, and, to minimise the influence of the external test conductors on the temperature rise, the length of the main busbar within the enclosure for the test shall be a minimum of 2 m and include a minimum of one joint when the busbars are extendable.
- b) Distribution busbars shall be tested separately from the outgoing units. They shall be mounted in the enclosure as in normal use with all covers and all partitions that separate the busbar from other compartments, in place. Distribution busbars shall be connected to the main busbar. No other conductors, e.g. connections to functional units, shall be connected to the distribution busbar. In order to consider the most onerous condition, the test shall be carried out at rated current and the test current shall pass through the full

length of the distribution busbar. If the main busbar is rated for a higher current, it shall be fed with additional current so that it carries its rated current to its junction with the distribution busbar.

- c) Functional units shall be tested individually. The functional unit shall be mounted in the enclosure as in normal use with all covers and all internal partitions in place. If it can be mounted at different places the most unfavourable place shall be used. It shall be connected to the main or the distribution busbar as in normal use. If the main busbar and/or the distribution busbar (if any) are rated for a higher current, they shall be fed with additional currents so that they carry their individual rated currents to the respective junction points. The test shall be carried out at rated current for the functional unit.
- d) The complete ASSEMBLY shall be verified by temperature rise testing of the most onerous arrangement(s) possible in service and as defined by the original manufacturer. For this test the incoming circuit is loaded to its rated current and each outgoing functional unit to its rated current multiplied by the rated diversity factor. If the rated current of the incoming circuit or distribution busbar system is less than the sum of the test currents of all outgoing circuits (i.e. the rated currents multiplied by the diversity factor), then the outgoing circuits shall be split into groups corresponding to the rated current of the incoming circuit or distribution busbar system. The groups shall be formed in a manner so that the highest possible temperature rise is obtained. Sufficient groups shall be formed and tests undertaken so as to include all different variants of functional units in at least one group.

10.10.2.3.8 Results to be obtained

At the end of the test, the temperature rise shall not exceed the values specified in Table 6. The apparatus shall operate satisfactorily within the voltage limits specified for them at the temperature inside the ASSEMBLY.

10.10.3 Derivation of ratings for similar variants

10.10.3.1 General

The following sub-clauses define how the rated currents of variants can be verified by derivation from similar arrangements verified by test.

Temperature-rise tests on the circuit(s) carried out at 50 Hz are applicable to 60 Hz for rated currents up to and including 800 A. In the absence of tests at 60 Hz for currents above 800 A, the rated current at 60 Hz shall be reduced to 95 % of that at 50 Hz. Alternatively, where the maximum temperature rise at 50 Hz does not exceed 90 % of the permissible value, then derating for 60 Hz is not required. Tests carried out at a particular frequency are applicable at the same current rating to lower frequencies including d.c.

10.10.3.2 ASSEMBLIES

ASSEMBLIES verified by derivation from a similar tested arrangement shall comply with the following:

- a) the functional units shall belong to the same group as the functional unit selected for test (see 10.10.2.2.3);
- b) the same type of construction as used for the test;
- c) the same or increased overall dimensions as used for the test;
- d) the same or increased cooling conditions as used for the test (forced or natural convection, same or larger ventilation openings);
- e) the same or reduced internal separation as used for the test (if any);
- f) the same or reduced power losses in the same section as used for the test.

The ASSEMBLY being verified may comprise all or only part of the electrical circuits of the ASSEMBLY previously verified. Alternative arrangement(s) of functional units within the

ASSEMBLY or section compared to the tested variant is allowed as long as the thermal influences of the adjacent units are not more severe.

Thermal tests performed on 3-phase, 3-wire ASSEMBLIES are considered as representing 3-phase, 4-wire and single-phase, 2-wire or 3-wire ASSEMBLIES, provided that the neutral conductor is sized equal to or greater than the phase conductors arranged in the same manner.

10.10.3.3 Busbars

Ratings established for aluminium busbars are valid for copper busbars with the same cross sectional dimensions and configuration. However, ratings established for copper busbars shall not be used to establish ratings of aluminium busbars.

The ratings of variants not selected for test according to 10.10.2.2.2 shall be determined by multiplying their cross-section with the current density of a larger cross-section busbar of the same design that has been verified by test.

If additionally a smaller cross-section than the one to be derived has been tested, which also fulfils the conditions of 10.10.2.2.2, then the rating of the intermediate variants may be established by interpolation.

10.10.3.4 Functional units

After the critical variant of each group of comparable functional units (see 10.10.2.2.3 a)) has been subjected to a test for verification of temperature rise, the actual rated currents of all other functional units in the group shall be calculated using the results of these tests.

For each functional unit tested a de-rating factor (rated current, resulting from the test divided by the maximum possible current of this functional unit, see 10.10.2.2.3 b)) shall be calculated.

The rated current of each non-tested functional unit in the range shall be the maximum possible current of the functional unit multiplied by the de-rating factor established for the variant tested in the range.

10.10.3.5 Functional units – Device substitution

A device may be substituted with a similar device from another series to that used in the original verification, provided that the power loss and terminal temperature rise of the device, when tested in accordance with its product standard, is the same or lower. In addition, the physical arrangement within the functional unit and the rating of the functional unit shall be maintained.

NOTE In addition to temperature rise other requirements are considered including the short-circuit requirements, see Table 13.

10.10.4 Verification assessment

10.10.4.1 General

Two calculation methods are provided. Both determine the approximate air temperature rise inside the enclosure, which is caused by the power losses of all circuits, and compare this temperature with the limits for the installed equipment. The methods differ only in the way the relationship between the delivered power loss and the air temperature rise inside the enclosure is ascertained.

Because the actual local temperatures of the current-carrying parts cannot be calculated by these methods, some limits and safety margins are necessary and are included.

10.10.4.2 Single compartment assembly with rated current not exceeding 630 A

10.10.4.2.1 Verification method

Verification of the temperature rise of a single compartment ASSEMBLY with the total supply current not exceeding 630 A and for rated frequencies up to and including 60 Hz may be made by calculation if all the following conditions are fulfilled:

- a) the power loss data for all built-in components is available from the component manufacturer;
- b) there is an approximately even distribution of power losses inside the enclosure;
- c) the rated current of the circuits of the ASSEMBLY to be verified (see 10.10.1) shall not exceed 80 % of the rated conventional free air thermal current (I_{th}) if any, or the rated current (I_n) of the switching devices and electrical components included in the circuit. Circuit protection devices shall be selected to ensure adequate protection to outgoing circuits, e.g. thermal motor protection devices at the calculated temperature in the ASSEMBLY;

NOTE 1 There is no common characteristic for switching devices and electrical components that describes the value of current to be used here. For the purpose of verifying the temperature rise limits the value of current is used, which describes the maximum continuous operational current that can be carried without overheating. This is e.g. for contactors the rated operational current I_e AC1 and for circuit breakers the rated current I_n .

- d) the mechanical parts and the installed equipment are so arranged that air circulation is not significantly impeded;
- e) conductors carrying currents in excess of 200 A, and the adjacent structural parts are so arranged that eddy-current and hysteresis losses are minimised;
- f) all conductors shall have a minimum cross-sectional area based on 125 % of the permitted current rating of the associated circuit. Selection of cables shall be in accordance with IEC 60364-5-52. Examples on how to adapt this standard for conditions inside an ASSEMBLY are given in Annex H. The cross-section of bars shall be as tested or as given in Annex N. Where the device manufacturer specifies a conductor with a larger cross-sectional area this shall be used;
- g) the temperature rise depending on the power loss installed in the enclosure for the different installation methods (e.g. flush mounting, surface mounting), is:
 - available from the enclosure manufacturer;
 - determined in accordance with 10.10.4.2.2; or
 - in accordance with performance and installation criteria from the cooling equipment manufacturer when active cooling (e.g. forced cooling, internal air conditioning, heat exchanger etc.) is incorporated.

The effective power losses of all circuits including interconnecting conductors shall be calculated based on rated current of the circuits. The total power loss of the ASSEMBLY is calculated by adding the power losses of the circuits taking additionally into account that the total load current is limited to the rated current of the ASSEMBLY. The power losses of the conductors are determined by calculation (see Annex H).

NOTE 2 There are devices where the power loss is substantially proportional to I^2 and others that have substantially fixed losses.

NOTE 3 Example: A single compartment ASSEMBLY with a rated current of 100 A (limited by the distribution bars) is equipped with 20 outgoing circuits. The assumed rated current for each circuit is 8 A. The total effective power loss should be calculated for 12 outgoing circuits loaded with 8 A each.

The temperature rise within the ASSEMBLY is then determined from the total power loss using the data mentioned in g).

10.10.4.2.2 Determination of the power loss capability of an enclosure by test

The power loss shall be simulated by means of heating resistors that produce heat equivalent to the intended power loss capability of the enclosure. The heating resistors shall be

distributed evenly over the height of the enclosure and installed in suitable places inside the enclosure.

The cross-section of the leads to these resistors shall be such that no appreciable amount of heat is conducted away from the enclosure.

The test shall be carried out in accordance with 10.10.2.3.1 to 10.10.2.3.4 and the air temperature rise shall be measured in the top of the enclosure. Enclosure temperatures shall not exceed the values given in Table 6.

10.10.4.2.3 Results to be obtained

The ASSEMBLY is verified if the air temperature determined from the calculated power loss does not exceed the permissible operating air temperature as declared by the device manufacturer. This means for switching devices or electrical components in the main circuits that the continuous load does not exceed its permissible load at the calculated air temperature and not more than 80 % of its rated current (see 10.10.4.2.1 c)

10.10.4.3 ASSEMBLY with rated current not exceeding 1 600 A

10.10.4.3.1 Verification method

Verification of the temperature-rise of a single or multiple compartment ASSEMBLY with the total supply current not exceeding 1 600 A and for rated frequencies up to and including 60 Hz, may be made by calculation in accordance with the method of IEC 60890 if all the following conditions are fulfilled:

- a) the power loss data for all built-in components is available from the component manufacturer;
- b) there is an approximately even distribution of power losses inside the enclosure;
- c) the rated current of the circuits of the ASSEMBLY to be verified (see 10.10.1) shall not exceed 80 % of the rated conventional free air thermal current (I_{th}) if any, or the rated current (I_n) of the switching devices and electrical components included in the circuit. Circuit protection devices shall be selected to ensure adequate protection to outgoing circuits, e.g. thermal motor protection devices at the calculated temperature in the ASSEMBLY;

NOTE 1 There is no common characteristic for switching devices and electrical components that describes the value of current to be used here. For the purpose of verifying the temperature rise limits the value of current is used, which describes the maximum continuous operational current that can be carried without overheating. This is e.g. for contactors the rated operational current I_e AC1 and for circuit breakers the rated current I_n .

- d) the mechanical parts and the installed equipment are so arranged that air circulation is not significantly impeded;
- e) conductors carrying currents in excess of 200 A, and the adjacent structural parts are so arranged that eddy-current and hysteresis losses are minimised;
- f) all conductors shall have a minimum cross-sectional area based on 125 % of the permitted current rating of the associated circuit. Selection of cables shall be in accordance with IEC 60364-5-52. Examples on how to adapt this standard for conditions inside an ASSEMBLY are given in Annex H. The cross-section of bars shall be as tested or as given in Annex N. Where the device manufacturer specifies a conductor with a larger cross-sectional area this shall be used;
- g) for enclosures with natural ventilation, the cross-section of the air outlet openings is at least 1,1 times the cross section of the air inlet openings;
- h) there are no more than three horizontal partitions in the ASSEMBLY or a section of an ASSEMBLY;
- i) for enclosures with compartments and natural ventilation the cross section of the ventilating openings in each horizontal partition is at least 50 % of the horizontal cross section of the compartment.

The effective power losses of all circuits including interconnecting conductors shall be calculated based on rated current of the circuits. The total power loss of the ASSEMBLY is calculated by adding the power losses of the circuits taking additionally into account that the total load current is limited to the rated current of the ASSEMBLY. The power losses of the conductors are determined by calculation (see Annex H).

NOTE 2 There are devices where the power loss is substantially proportional to I^2 and others that have substantially fixed losses.

NOTE 3 Example: A single compartment ASSEMBLY with a rated current of 100 A (limited by the distribution bars) is equipped with 20 outgoing circuits. The assumed rated current for each circuit is 8 A. The total effective power loss should be calculated for 12 outgoing circuits loaded with 8 A each.

The temperature rise within the ASSEMBLY is then determined from the total power loss using the method of IEC 60890.

10.10.4.3.2 Results to be obtained

The ASSEMBLY is verified if the calculated air temperature at the mounting height of any device does not exceed the permissible ambient air temperature as declared by the device manufacturer.

This means for switching devices or electrical components in the main circuits that the continuous load does not exceed its permissible load at the calculated local air temperature and not more than 80 % of its rated current (see 10.10.4.3.1 c).

10.11 Short-circuit withstand strength

10.11.1 General

The short-circuit current ratings declared shall be verified except where exempt, see 10.11.2. Verification may be, by comparison with a reference design (10.11.3 and 10.11.4.) or by test (10.11.5). For verification the following applies:

- a) If the ASSEMBLY system to be verified comprises a number of variants, the most onerous arrangement(s) of the ASSEMBLY shall be selected, taking into account the rules in 10.11.3.
- b) The ASSEMBLY variants selected for test shall be verified according to 10.11.5.
- c) When the ASSEMBLIES tested are the most onerous variants of the larger product range of an ASSEMBLY system then the test results can be used to establish the ratings of similar variants without further testing. Rules for such derivations are given in 10.11.3 and 10.11.4.

10.11.2 Circuits of ASSEMBLIES which are exempted from the verification of the short-circuit withstand strength

A verification of the short-circuit withstand strength is not required for the following:

- a) ASSEMBLIES having a rated short-time withstand current (see 5.3.4) or rated conditional short-circuit current (see 5.3.5) not exceeding 10 kA r.m.s;
- b) ASSEMBLIES, or circuits of ASSEMBLIES, protected by current-limiting devices having a cut-off current not exceeding 17 kA with the maximum allowable prospective short-circuit current at the terminals of the incoming circuit of the ASSEMBLY;
- c) Auxiliary circuits of ASSEMBLIES intended to be connected to transformers whose rated power does not exceed 10 kVA for a rated secondary voltage of not less than 110 V, or 1,6 kVA for a rated secondary voltage less than 110 V, and whose short-circuit impedance is not less than 4 %.

All other circuits shall be verified.

10.11.3 Verification by comparison with a reference design – Utilising a check list

Verification is undertaken by comparison of the ASSEMBLY to be verified with an already tested design using the check list provided in Table 13.

Should any elements identified in the check list not comply with the requirements of the check list and be marked 'NO', one of the following means of verification shall be used (see 10.11.4 and 10.11.5).

10.11.4 Verification by comparison with a reference design – Utilising calculation

Assessment of the rated short-time withstand current of an ASSEMBLY and its circuits, by calculation, shall be undertaken by a comparison of the ASSEMBLY to be assessed with an ASSEMBLY, already verified by test. The assessment to verify the main circuits of an ASSEMBLY shall be in accordance with Annex P. In addition each of the circuits of the ASSEMBLY to be assessed shall meet the requirements of items 6, 8, 9 and 10 in Table 13.

The data used, calculations made and comparison undertaken shall be recorded.

If the assessment in accordance with Annex P is not passed or any of the items listed above are not fulfilled then the ASSEMBLY and its circuits shall be verified by test in accordance with 10.11.5.

10.11.5 Verification by test

10.11.5.1 Test arrangements

The ASSEMBLY or its parts as necessary to complete the test shall be mounted as in normal use. It is sufficient to test a single functional unit if the remaining functional units are of the same construction. Similarly it is sufficient to test a single busbar configuration if the remaining busbar configurations are of the same construction. Table 13 provides clarification on items not requiring additional tests.

10.11.5.2 Performance of the test – General

If the test circuit incorporates fuses, fuse-links with the maximum let-through current and, if required, of the type indicated by the original manufacturer as being acceptable, shall be used.

The supply conductors and the short-circuit connections required for testing the ASSEMBLY shall have sufficient strength to withstand short-circuits and be so arranged that they do not introduce any additional stresses on the ASSEMBLY.

Unless otherwise agreed, the test circuit shall be connected to the input terminals of the ASSEMBLY. Three-phase ASSEMBLIES shall be connected on a three-phase basis.

All parts of the equipment intended to be connected to the protective conductor in service, including the enclosure, shall be connected as follows:

- a) for ASSEMBLIES suitable for use on three-phase four-wire systems (see also IEC 60038) with an earthed star point and marked accordingly, to the neutral point of supply or to a substantially inductive artificial neutral permitting a prospective fault current of at least 1 500 A;
- b) for ASSEMBLIES also suitable for use in three-phase three-wire as well as on three-phase four-wire systems and marked accordingly, to the phase conductor least likely to arc to earth.

Except for ASSEMBLIES according to 8.4.4, the connection mentioned in a) and b) shall include a fusible element consisting of a copper wire of 0,8 mm diameter and at least 50 mm long, or

of an equivalent fusible element for the detection of a fault current. The prospective fault current in the fusible element circuit shall be $1\,500\text{ A} \pm 10\%$, except as stated in Notes 2 and 3. If necessary, a resistor limiting the current to that value shall be used.

NOTE 1 A copper wire of 0,8 mm diameter will melt at $1\,500\text{ A}$, in approximately half a cycle, at a frequency between 45 Hz and 67 Hz (or 0,01 s for d.c.).

NOTE 2 The prospective fault current may be less than $1\,500\text{ A}$ in the case of small equipment, according to the requirements of the relevant product standard, with a smaller diameter copper wire (see Note 4) corresponding to the same melting time as in Note 1.

NOTE 3 In the case of a supply having an artificial neutral, a lower prospective fault current may be accepted, subject to the agreement of the ASSEMBLY manufacturer, with a smaller diameter copper wire (see Note 4) corresponding to the same melting time as in Note 1.

NOTE 4 The relationship between the prospective fault current in the fusible element circuit and the diameter of the copper wire is given in Table 14.

10.11.5.3 Testing of main circuits

10.11.5.3.1 General

Circuits shall be tested with the highest thermal and dynamic stresses that may result from short circuit currents up to the rated values for one or more of the following conditions as declared by the original manufacturer.

- a) Not dependent upon a SCPD. The ASSEMBLY shall be tested with the rated peak withstand current and the rated short-time withstand current for the specified duration (see 5.3 and 9.3.2 a)).
- b) Dependent upon an incoming SCPD included within the ASSEMBLY. The ASSEMBLY shall be tested with an incoming prospective short-circuit current for a period of time that is limited by the incoming SCPD.
- c) Dependent upon an upstream SCPD. The ASSEMBLY shall be tested to the let through values permitted by the upstream SCPD as defined by the original manufacturer.

Where an incoming or outgoing circuit includes a SCPD that reduces the peak and/or duration of the fault current, then the circuit shall be tested allowing the SCPD to operate and interrupt the fault current (see 5.3.5 rated conditional short-circuit current I_{cc}). If the SCPD contains an adjustable short-circuit release, then this shall be set to the maximum allowed value (see 9.3.2, second paragraph).

One of each type of circuit shall be subject to a short-circuit test as described in 10.11.5.3.2 to 10.11.5.3.5.

10.11.5.3.2 Outgoing circuits

The outgoing terminals of outgoing circuits shall be provided with a bolted short-circuit connection. When the protective device in the outgoing circuit is a circuit-breaker, the test circuit may include a shunting resistor in accordance with 8.3.4.1.2 b) of IEC 60947-1:2007 in parallel with the reactor used to adjust the short-circuit current.

For circuit-breakers having a rated current up to and including 630 A, a conductor 0,75 m in length having a cross-sectional area corresponding to the rated current (see Tables 11 and 12) shall be included in the test circuit. At the original manufacturer's discretion a shorter connection than 0,75 m may be used.

The switching device shall be closed and held closed in the manner normally used in service. The test voltage shall then be applied once and,

- a) for a time sufficiently long to enable the short-circuit protective device in the outgoing unit to operate to clear the fault and, in any case, for not less than 10 cycles (test voltage duration), or

- b) in cases where the outgoing circuit does not include a SCPD, for a magnitude and duration as specified for the busbars by the original manufacturer. Testing of outgoing circuits may also result in the operation of the incoming circuit SCPD.

10.11.5.3.3 Incoming circuit and main busbars

ASSEMBLIES containing main busbars shall be tested to prove the short-circuit withstand strength of the main busbars and the incoming circuit including at least one joint where the busbars are intended to be extendable. The short-circuit shall be placed such that the length of main busbar included in the test is $(2 \pm 0,4)$ m. For the verification of rated short-time withstand current (see 5.3.4) and rated peak withstand current (see 5.3.3), this distance may be increased and the test conducted at any convenient voltage providing the test current is the rated value (see 10.11.5.4 b)). Where the design of the ASSEMBLY is such that the length of the busbars to be tested is less than 1,6 m and the ASSEMBLY is not intended to be extended, then the complete length of busbar shall be tested, the short-circuit being established at the end of these busbars. If a set of busbars consists of different sections (as regards cross-sections, center line spacing of the conductors, type and number of supports per metre), each section shall be tested separately or concurrently, provided that the above conditions are met.

10.11.5.3.4 Connections to the supply side of outgoing units

Where an ASSEMBLY contains conductors, including distribution busbars, if any, between a main busbar and the supply side of outgoing functional units that do not fulfil the requirements of 8.6.4 one circuit of each type shall be subject to an additional test.

A short-circuit is obtained by bolted connections on the conductors connecting the busbars to a single outgoing unit, as near as practicable to the terminals on the busbar side of the outgoing unit. The value and duration of the short-circuit current shall be the same as that for the main busbars.

10.11.5.3.5 Neutral conductor

If a neutral conductor exists within a circuit it shall be subjected to one test to prove its short-circuit withstand strength in relation to the nearest phase conductor of the circuit under test including any joints. Phase to neutral short-circuit connections shall be applied as specified in 10.11.5.3.3.

Unless otherwise agreed between the original manufacturer and the user, the value of the test current in the neutral shall be at least 60 % of the phase current during the three-phase test.

The test need not be executed if the test is intended to be made with a current of 60 % of the phase current and if the neutral conductor is:

- the same shape and cross-section as the phase conductors;
- supported in an identical manner as the phase conductors and with support centres along the length of the conductor not greater than that of the phases;
- spaced at a distance from the nearest phase(s) not less than that between phases;
- spaced at a distance from earthed metalwork not less than the phase conductors.

10.11.5.4 Value and duration of the short-circuit current

For all short-circuit withstand ratings, the dynamic and thermal stresses shall be verified with a prospective current, at the supply side of the specified protective device, if any, equal to the value of the rated short-time withstand current, rated peak withstand current or rated conditional short-circuit current assigned.

For the verification of all the short-circuit withstand ratings (see 5.3.3 to 5.3.5 inclusive), the value of the prospective short-circuit current at a test voltage equal to 1,05 times the rated

operational voltage shall be determined from a calibration oscillogram which is taken with the supply conductors to the ASSEMBLY short-circuited by a connection of negligible impedance placed as near as possible to the input supply of the ASSEMBLY. The oscillogram shall show that there is a constant flow of current such that it is measurable at a time equivalent to the operation of the protective device incorporated in the ASSEMBLY or for the specified duration (see 9.3.2. a)).

The value of current during the calibration is the average of the r.m.s. values of the a.c. component in all phases. When making the tests at maximum operational voltage, the calibration current in each phase shall be equal to the rated short-circuit current within a $\begin{smallmatrix} +5 \\ 0 \end{smallmatrix}$ % tolerance and the power factor shall be within a $\begin{smallmatrix} 0,00 \\ -0,05 \end{smallmatrix}$ tolerance.

All tests shall be made at the rated frequency of the ASSEMBLY with a tolerance of ± 25 %, and at the power factor appropriate to the short-circuit current in accordance with Table 7.

- a) For a test at rated conditional short circuit current I_{CC} , whether the protective devices are in the incoming circuit of the ASSEMBLY or elsewhere, the test voltage shall be applied for a time sufficiently long to enable the short-circuit protective devices to operate to clear the fault and, in any case, for not less than 10 cycles. The test shall be conducted at 1,05 times the rated operational voltage with prospective short circuit currents, at the supply side of the specified protective device, equal to the value of the rated conditional short-circuit current. Tests at lower voltages are not permitted.

NOTE In South Africa (ZA) National Electrical Code SANS 10142-1, Subclause 6.8, requires that the supply voltage be equal to 1,1 times the nominal voltage where the rated operational voltage is up to and including 500 V.

- b) For a test at rated short-time withstand current and rated peak withstand current, the dynamic and thermal stresses shall be verified with a prospective current equal to the value of rated short-time withstand current and rated peak withstand current declared. The current shall be applied for the specified time during which the r.m.s. value of its a.c. component shall remain constant.

In the case of test station difficulty of making the short-time or peak withstand tests at the maximum operational voltage, the tests according to 10.11.5.3.3, 10.11.5.3.4 and 10.11.5.3.5 may be made at any convenient voltage, with the original manufacturer's agreement, the actual test current being, in this case, equal to the rated short-time current or peak withstand current. This shall be stated in the test report. If, however, momentary contact separation occurs in the protective device, if any, during the test, the test shall be repeated at the maximum operational voltage.

If necessary, due to test limitations, a different test period is permissible; in such a case, the test current should be modified in accordance with the formula $I^2t = \text{constant}$, provided that the peak value does not exceed the rated peak withstand current without the original manufacturer's consent and that the r.m.s. value of the short-time current is not less than the rated value in at least one phase for at least 0,1 s after current initiation.

The peak current withstand test and the short-time current test may be separated. In this case, the time during which the short-circuit is applied for the peak current withstand test shall be such that the value I^2t is not larger than the equivalent value for the short-time current test, but it shall be not less than three cycles.

Where the required test current in each phase cannot be achieved the positive tolerance may be exceeded with the agreement of the original manufacturer.

10.11.5.5 Results to be obtained

After the test deformation of busbars and conductors is acceptable provided that the clearances and creepage distances specified in 8.3 are still complied with. In case of any doubt clearances and creepage distances shall be measured (see 10.4).

The characteristics of the insulation shall remain such that the mechanical and dielectric properties of the equipment satisfy the requirements of the relevant ASSEMBLY standard. A busbar insulator or support or cable restraint has not separated into two or more pieces. Also there shall be no cracks appearing on opposite sides of a support and no cracks, including surface cracks, running the full length or width of the support. In case of any doubt that the insulation properties of the ASSEMBLY are not maintained an additional power frequency test at two times U_e with a minimum of 1 000 V shall be performed in accordance with 10.9.2.

There shall be no loosening of parts used for the connection of conductors and the conductors shall not separate from the outgoing terminals.

Distortion of the busbars or structure of the ASSEMBLY that impairs its normal use shall be deemed a failure.

Any distortion of the busbars or structure of the ASSEMBLY that impairs normal insertion or removal of the removable parts shall be deemed a failure.

Deformation of the enclosure or of the internal partitions, barriers and obstacles due to short-circuit is permissible to the extent that the degree of protection is not apparently impaired and the clearances or creepage distances are not reduced to values, which are less than those specified in 8.3. Additionally after the tests of 10.11.5.3 incorporating short-circuit protective devices, the tested equipment shall be capable of withstanding the dielectric test of 10.9.2, at a value of voltage for the "after test" condition prescribed in the relevant short-circuit protective device standard for the appropriate short-circuit test, as follows:

- a) between all live parts and the exposed conductive parts of the ASSEMBLY, and
- b) between each pole and all other poles connected to the exposed conductive parts of the ASSEMBLY.

If tests a) and b) above are conducted, they shall be carried out with any fuses replaced and with any switching device closed.

The fusible element (see 10.11.5.2), if any, shall not indicate a fault current.

In case of any doubt, it shall be checked that the apparatus incorporated in the ASSEMBLY are in a condition as prescribed in the relevant specifications.

10.11.5.6 Testing of the protective circuit

10.11.5.6.1 General

This test does not apply for circuits according to 10.11.2.

A single-phase test supply shall be connected to the incoming terminal of one phase and to the terminal for the incoming protective conductor. When the ASSEMBLY is provided with a separate protective conductor, the nearest phase conductor shall be used. For each representative outgoing unit, a separate test shall be made with a bolted short-circuit connection between the corresponding outgoing phase terminal of the unit and the terminal for the relevant outgoing protective conductor.

Each outgoing unit on test shall be fitted with its intended protective device. Where alternative protective devices can be incorporated in the outgoing unit, the protective device which lets through the maximum values of peak current and I^2t shall be used.

For this test, the frame of the ASSEMBLY shall be insulated from earth. The test voltage shall be equal to 1,05 times the single-phase value of the rated operational voltage. Unless otherwise agreed between the original manufacturer and the user, the value of the test current in the protective conductor shall be at least 60 % of the phase current during the three-phase test of the ASSEMBLY.

NOTE In South Africa (ZA) National Electrical Code SANS 10142-1, Subclause 6.8, requires that the supply voltage be equal to 1,1 times the nominal voltage where the rated operational voltage is up to and including 500 V.

All other conditions of this test shall be analogous to 10.11.5.2 to 10.11.5.4 inclusive.

10.11.5.6.2 Results to be obtained

The continuity and the short-circuit withstand strength of the protective circuit, whether it consists of a separate conductor or the frame, shall not be significantly impaired. Besides visual inspection, this may be verified by measurements with a current in the order of the rated current of the relevant outgoing unit. Deformation of the enclosure or of the internal partitions, barriers and obstacles due to short-circuit is permissible to the extent that the degree of protection is not apparently impaired and the clearances or creepage distances are not reduced to values, which are less than those specified in 8.3.

NOTE 1 Where the frame is used as a protective conductor, sparks and localized heating at joints are permitted, provided they do not impair the electrical continuity and provided that adjacent flammable parts are not ignited.

NOTE 2 A comparison of the resistances measured before and after the test, between the terminal for the incoming protective conductor and the terminal for the relevant outgoing protective conductor, gives an indication of conformity with this condition.

10.12 Electromagnetic compatibility (EMC)

For EMC tests, see J.10.12.

10.13 Mechanical operation

This verification test shall not be made on such devices (e.g. withdrawable circuit breaker) of the ASSEMBLY which have already been type tested according to their relevant product standard unless their mechanical operation has been modified by their mounting.

For parts, which need verification by test (see 8.1.5), satisfactory mechanical operation shall be verified after installation in the ASSEMBLY. The number of operating cycles shall be 200.

At the same time, the operation of the mechanical interlocks associated with these movements shall be checked. The test is passed if the operating conditions of the apparatus, interlocks, specified degree of protection etc., have not been impaired and if the effort required for operation is practically the same as before the test.

11 Routine verification

11.1 General

Routine verification is intended to detect faults in materials and workmanship and to ascertain proper functioning of the manufactured ASSEMBLY. It is made on every ASSEMBLY. The ASSEMBLY manufacturer shall determine if routine verification is carried out during and/or after manufacture. Where appropriate, routine verification shall confirm that design verification is available.

Routine verification is not required to be carried out on devices and self-contained components incorporated in the ASSEMBLY when they have been selected in accordance with 8.5.3 and installed in accordance with the instructions of the device manufacturer.

Verification shall comprise the following categories:

- a) Construction (see 11.2 to 11.8):
 - 1) degree of protection of enclosures;
 - 2) clearances and creepage distances;

- 3) protection against electric shock and integrity of protective circuits;
 - 4) incorporation of built-in components;
 - 5) internal electrical circuits and connections;
 - 6) terminals for external conductors;
 - 7) mechanical operation.
- b) Performance (see 11.9 to 11.10):
- 1) dielectric properties;
 - 2) wiring, operational performance and function.

11.2 Degree of protection of enclosures

A visual inspection is necessary to confirm that the prescribed measures to achieve the designated degree of protection are maintained.

11.3 Clearances and creepage distances

Where the clearances are:

- less than the values given in Table 1, an impulse voltage withstand test in accordance with 10.9.3 shall be carried out;
- not evident by visual inspection to be larger than the values given in Table 1 (see 10.9.3.5) verification shall be by physical measurement or by an impulse voltage withstand test in accordance with 10.9.3.

The prescribed measures with regard to creepage distances (see 8.3.3) shall be subject to a visual inspection. Where it is not evident by visual inspection verification shall be by physical measurement.

11.4 Protection against electric shock and integrity of protective circuits

The prescribed protective measures with regard to basic protection and fault protection (see 8.4.2 and 8.4.3) shall be subject to a visual inspection.

The protective circuits shall be checked by visual inspection to ascertain that the measures prescribed in 8.4.3 are verified.

Screwed and bolted connections shall be checked for the correct tightness on a random basis.

11.5 Incorporation of built-in components

The installation and identification of built-in components shall be in accordance with the ASSEMBLY manufacturing instructions.

11.6 Internal electrical circuits and connections

The connections, especially screwed and bolted connections, shall be checked for the correct tightness on a random basis.

Conductors shall be checked in accordance with the ASSEMBLY manufacturing instructions.

11.7 Terminals for external conductors

The number, type and identification of terminals shall be checked in accordance with the ASSEMBLY manufacturing instructions.

11.8 Mechanical operation

The effectiveness of mechanical actuating elements, interlocks and locks including those associated with removable parts shall be checked.

11.9 Dielectric properties

A power-frequency withstand test shall be performed on all circuits in accordance with 10.9.1 and 10.9.2 but for a duration of 1 s.

This test need not be made on auxiliary circuits:

- which are protected by a short-circuit protective device with a rating not exceeding 16 A;
- if an electrical function test has been made previously at the rated operational voltage for which the auxiliary circuits are designed.

As an alternative for ASSEMBLIES with incoming protection rated up to 250 A the verification of insulation resistance may be by measurement using an insulation measuring device at a voltage of at least 500 V d.c.

In this case, the test is satisfactory if the insulation resistance between circuits and exposed conductive parts is at least 1 000 Ω/V per circuit referred to the supply voltage to earth of these circuits.

11.10 Wiring, operational performance and function

It shall be verified that the information and markings specified in Clause 6 are complete.

Depending on the complexity of the ASSEMBLY, it may be necessary to inspect the wiring and to carry out an electrical function test. The test procedure and the number of tests depend on whether or not the ASSEMBLY includes complicated interlocks, sequence control facilities, etc.

NOTE In some cases, it may be necessary to make or repeat this test on site before putting the installation into operation.

Table 1 – Minimum clearances in air ^a (8.3.2)

Rated impulse withstand voltage U_{imp} kV	Minimum clearance mm
≤ 2,5	1,5
4,0	3,0
6,0	5,5
8,0	8,0
12,0	14,0
^a Based on inhomogeneous field conditions and pollution degree 3.	

Table 2 – Minimum creepage distances (8.3.3)

Rated insulation voltage U_i	Minimum creepage distance mm							
	Pollution degree							
	1	2			3			
	Material group ^c	Material group ^c			Material group ^c			
	All material groups	I	II	IIIa and IIIb	I	II	IIIa	IIIb
32	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
40	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,6	1,8	1,8
50	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,7	1,9	1,9
63	1,5	1,5	1,5	1,5	1,6	1,8	2	2
80	1,5	1,5	1,5	1,5	1,7	1,9	2,1	2,1
100	1,5	1,5	1,5	1,5	1,8	2	2,2	2,2
125	1,5	1,5	1,5	1,5	1,9	2,1	2,4	2,4
160	1,5	1,5	1,5	1,6	2	2,2	2,5	2,5
200	1,5	1,5	1,5	2	2,5	2,8	3,2	3,2
250	1,5	1,5	1,8	2,5	3,2	3,6	4	4
320	1,5	1,6	2,2	3,2	4	4,5	5	5
400	1,5	2	2,8	4	5	5,6	6,3	6,3
500	1,5	2,5	3,6	5	6,3	7,1	8,0	8,0
630	1,8	3,2	4,5	6,3	8	9	10	10
800	2,4	4	5,6	8	10	11	12,5	a
1 000	3,2	5	7,1	10	12,5	14	16	
1 250	4,2	6,3	9	12,5	16	18	20	
1 600	5,6	8	11	16	20	22	25	

NOTE 1 The CTI values refer to the values obtained in accordance with IEC 60112:2003, method A, for the insulating material used.

NOTE 2 Values taken from IEC 60664-1, but maintaining a minimum value of 1,5 mm.

a Insulation of material group IIIb is not recommended for use in pollution degree 3 above 630 V.

b As an exception, for rated insulation voltages 127, 208, 415, 440, 660/690 and 830 V, creepage distances corresponding to the lower values 125, 200, 400, 630 and 800 V may be used.

c Material groups are classified as follows, according to the range of values of the comparative tracking index (CTI) (see 3.6.16):

- Material group I $600 \leq \text{CTI}$
- Material group II $400 \leq \text{CTI} < 600$
- Material group IIIa $175 \leq \text{CTI} < 400$
- Material group IIIb $100 \leq \text{CTI} < 175$

Table 3 – Cross-sectional area of a copper protective conductor (8.4.3.2.2)

Rated operational current I_e	Minimum cross-sectional area of a protective conductor
A	mm ²
$I_e \leq 20$	S^a
$20 < I_e \leq 25$	2,5
$25 < I_e \leq 32$	4
$32 < I_e \leq 63$	6
$63 < I_e$	10

^a S is the cross-sectional area of the phase conductor (mm²).

Table 4 – Conductor selection and installation requirements (8.6.4)

Type of conductor	Requirements
Bare conductors or single-core conductors with basic insulation, for example cables according to IEC 60227-3	Mutual contact or contact with conductive parts shall be avoided, for example by use of spacers
Single-core conductors with basic insulation and a maximum permissible conductor operating temperature of at least 90 °C, for example cables according to IEC 60245-3, or heat-resistant thermo-plastic (PVC) insulated cables according to IEC 60227-3	Mutual contact or contact with conductive parts is permitted where there is no applied external pressure. Contact with sharp edges shall be avoided. These conductors may only be loaded such that an operating temperature of 80 % of the maximum permissible conductor operating temperature is not exceeded
Conductors with basic insulation, for example cables according to IEC 60227-3, having additional secondary insulation, for example individually covered cables with shrink sleeving or individually run cables in plastic conduits	No additional requirements
Conductors insulated with a very high mechanical strength material, for example Ethylene Tetrafluoro Ethylene (ETFE) insulation, or double-insulated conductors with an enhanced outer sheath rated for use up to 3 kV, for example cables according to IEC 60502	
Single or multi-core sheathed cables, for example cables according to IEC 60245-4 or IEC 60227-4	

Table 5 – Minimum terminal capacity for copper protective conductors (PE, PEN) (8.8)

Cross-sectional area of phase conductors S mm ²	Minimum cross-sectional area of the corresponding protective conductor (PE, PEN) S_p^a mm ²
$S \leq 16$	S
$16 < S \leq 35$	16
$35 < S \leq 400$	$S/2$
$400 < S \leq 800$	200
$800 < S$	$S/4$
^a Current in the neutral may be influenced where there are significant harmonics in the load. See 8.6.1.	

Table 6 – Temperature-rise limits (9.2)

Parts of ASSEMBLIES	Temperature rise K
Built-in components ^a	In accordance with the relevant product standard requirements for the individual components or, in accordance with the component manufacturer's instructions ^f , taking into consideration the temperature in the ASSEMBLY
Terminals for external insulated conductors	70 ^b
Busbars and conductors	Limited by ^f : – mechanical strength of conducting material ^g; – possible effect on adjacent equipment; – permissible temperature limit of the insulating materials in contact with the conductor; – effect of the temperature of the conductor on the apparatus connected to it; – for plug-in contacts, nature and surface treatment of the contact material
Manual operating means: – of metal – of insulating material	15 ^c 25 ^c
Accessible external enclosures and covers: – metal surfaces – insulating surfaces	30 ^d 40 ^d
Discrete arrangements of plug and socket-type connections	Determined by the limit for those components of the related equipment of which they form part ^e
NOTE 1 The 105 K relates to the temperature above which annealing of copper is likely to occur. Other materials may have a different maximum temperature rise. NOTE 2 The temperature rise limits given in this table apply for a mean ambient air temperature up to 35 °C under service conditions (see 7.1). During verification a different ambient air temperature is permissible (see 10.10.2.3.4).	
^a The term "built-in components" means: – conventional switchgear and controlgear; – electronic sub-assemblies (e.g. rectifier bridge, printed circuit); – parts of the equipment (e.g. regulator, stabilized power supply unit, operational amplifier). ^b The temperature-rise limit of 70 K is a value based on the conventional test of 10.10. An ASSEMBLY used or tested under installation conditions may have connections, the type, nature and disposition of which will not be the same as those adopted for the test, and a different temperature rise of terminals may result and may be required or accepted. Where the terminals of the built-in component are also the terminals for external insulated conductors, the lower of the corresponding temperature-rise limits shall be applied. The temperature rise limit is the lower of the maximum temperature rise specified by the component manufacturer and 70 K. In the absence of manufacturer's instructions it is the limit specified by the built-in component product standard but not exceeding 70 K. ^c Manual operating means within ASSEMBLIES which are only accessible after the ASSEMBLY has been opened, for example draw-out handles which are operated infrequently, are allowed to assume a 25 K increase on these temperature-rise limits. ^d Unless otherwise specified, in the case of covers and enclosures, which are accessible but need not be touched during normal operation, a 10 K increase on these temperature-rise limits is permissible. External surfaces and parts over 2 m from the base of the ASSEMBLY are considered inaccessible. ^e This allows a degree of flexibility in respect of equipment (e.g. electronic devices) which is subject to temperature-rise limits different from those normally associated with switchgear and controlgear. ^f For temperature-rise tests according to 10.10, the temperature-rise limits have to be specified by the original manufacturer taking into account any additional measuring points and limits imposed by the component manufacturer. ^g Assuming all other criteria listed are met a maximum temperature rise of 105 K for bare copper busbars and conductors shall not be exceeded.	

Table 7 – Values for the factor n^a (9.3.3)

r.m.s. value of short-circuit current kA	$\cos \varphi$	n
$I \leq 5$	0,7	1,5
$5 < I \leq 10$	0,5	1,7
$10 < I \leq 20$	0,3	2
$20 < I \leq 50$	0,25	2,1
$50 < I$	0,2	2,2

^a Values of this table represent the majority of applications. In special locations, for example in the vicinity of transformers or generators, lower values of power factor may be found, whereby the maximum prospective peak current may become the limiting value instead of the r.m.s. value of the short-circuit current.

Table 8 – Power-frequency withstand voltage for main circuits (10.9.2)

Rated insulation voltage U_i (line to line a.c. or d.c.) V	Dielectric test voltage a.c. r.m.s. V	Dielectric test voltage ^b d.c. V
$U_i \leq 60$	1 000	1 415
$60 < U_i \leq 300$	1 500	2 120
$300 < U_i \leq 690$	1 890	2 670
$690 < U_i \leq 800$	2 000	2 830
$800 < U_i \leq 1 000$	2 200	3 110
$1 000 < U_i \leq 1 500^a$		3 820

^a For d.c. only.

^b Test voltages based on 6.1.3.4.1, fifth paragraph, of IEC 60664-1.

Table 9 – Power-frequency withstand voltage for auxiliary and control circuits (10.9.2)

Rated insulation voltage U_i (line to line) V	Dielectric test voltage a.c. r.m.s. V
$U_i \leq 12$	250
$12 < U_i \leq 60$	500
$60 < U_i$	See Table 8

Table 10 – Impulse withstand test voltages (10.9.3)

Rated impulse withstand voltage U_{imp} kV	Test voltages and corresponding altitudes during test									
	$U_{1,2/50}$, a.c. peak and d.c. kV					a.c. r.m.s. kV				
	Sea level	200 m	500 m	1 000 m	2 000 m	Sea level	200 m	500 m	1 000 m	2 000 m
2,5	2,95	2,8	2,8	2,7	2,5	2,1	2,0	2,0	1,9	1,8
4,0	4,8	4,8	4,7	4,4	4,0	3,4	3,4	3,3	3,1	2,8
6,0	7,3	7,2	7,0	6,7	6,0	5,1	5,1	5,0	4,7	4,2
8,0	9,8	9,6	9,3	9,0	8,0	6,9	6,8	6,6	6,4	5,7
12,0	14,8	14,5	14,0	13,3	12,0	10,5	10,3	9,9	9,4	8,5

Table 11 – Copper test conductors for rated currents up to 400 A inclusive (10.10.2.3.2)

Range of rated current ^a		Conductor cross-sectional area ^{b, c}	
A		mm ²	AWG/MCM
0	8	1,0	18
8	12	1,5	16
12	15	2,5	14
15	20	2,5	12
20	25	4,0	10
25	32	6,0	10
32	50	10	8
50	65	16	6
65	85	25	4
85	100	35	3
100	115	35	2
115	130	50	1
130	150	50	0
150	175	70	00
175	200	95	000
200	225	95	0000
225	250	120	250
250	275	150	300
275	300	185	350
300	350	185	400
350	400	240	500

^a The value of the rated current shall be greater than the first value in the first column and less than or equal to the second value in that column.

^b For convenience of testing and with the manufacturer's consent, smaller test conductors than those given for a stated rated current may be used.

^c Either of the two conductors specified may be used.

**Table 12 – Copper test conductors for rated currents
from 400 A to 4 000 A (10.10.2.3.2)**

Range of rated current ^a A	Test conductors			
	Cables		Copper bars ^b	
	Quantity	Cross-sectional area mm ²	Quantity	Dimensions mm (W × D)
400 to 500	2	150	2	30 × 5
500 to 630	2	185	2	40 × 5
630 to 800	2	240	2	50 × 5
800 to 1 000			2	60 × 5
1 000 to 1 250			2	80 × 5
1 250 to 1 600			2	100 × 5
1 600 to 2 000			3	100 × 5
2 000 to 2 500			4	100 × 5
2 500 to 3 150			3	100 × 10
3 150 to 4 000			4	100 × 10
^a The value of the rated current shall be greater than the first value and less than or equal to the second value. ^b Bars are assumed to be arranged with their long faces (W) vertical. Arrangements with long faces horizontal may be used if specified by the manufacturer. Bars may be painted.				

**Table 13 – Short-circuit verification by comparison with a reference design:
check list (10.5.3.3, 10.11.3 and 10.11.4)**

Item No.	Requirements to be considered	YES	NO
1	Is the short-circuit withstand rating of each circuit of the ASSEMBLY to be assessed, less than or equal to, that of the reference design?		
2	Is the cross-sectional dimensions of the busbars and connections of each circuit of the ASSEMBLY to be assessed, greater than or equal to, those of the reference design?		
3	Is the center line spacing of the busbars and connections of each circuit of the ASSEMBLY to be assessed, greater than or equal to, those of the reference design?		
4	Are the busbar supports of each circuit of the ASSEMBLY to be assessed of the same type, shape and material and have, the same or smaller center line spacing, along the length of the busbar as the reference design? And is the mounting structure for the busbar supports of the same design and mechanical strength?		
5	Are the material and the material properties of the conductors of each circuit of the ASSEMBLY to be assessed the same as those of the reference design?		
6	Are the short-circuit protective devices of each circuit of the ASSEMBLY to be assessed equivalent, that is of the same make and series ^a with the same or better limitation characteristics (I^2t , I_{pk}) based on the device manufacturer's data, and with the same arrangement as the reference design?		
7	Is the length of unprotected live conductors, in accordance with 8.6.4, of each non-protected circuit of the ASSEMBLY to be assessed less than or equal to those of the reference design?		
8	If the ASSEMBLY to be assessed includes an enclosure, did the reference design include an enclosure when verified by test?		

Item No.	Requirements to be considered	YES	NO
9	Is the enclosure of the ASSEMBLY to be assessed of the same design, type and have at least the same dimensions to that of the reference design?		
10	Are the compartments of each circuit of the ASSEMBLY to be assessed of the same mechanical design and at least the same dimensions as those of the reference design?		
'YES' to all requirements – no further verification required.			
'NO' to any one requirement – further verification is required.			
^a Short-circuit protective devices of the same manufacturer but of a different series may be considered equivalent where the device manufacturer declares the performance characteristics to be the same or better in all relevant respects to the series used for verification, e.g. breaking capacity and limitation characteristics (I^2t , I_{pk}), and critical distances.			

Table 14 – Relationship between prospective fault current and diameter of copper wire

Diameter of copper wire mm	Prospective fault current in the fusible element circuit A
0,1	50
0,2	150
0,3	300
0,4	500
0,5	800
0,8	1 500

Annex A (normative)

Minimum and maximum cross-section of copper conductors suitable for connection to terminals for external conductors (see 8.8)

Table A.1 below applies for the connection of one copper cable per terminal.

**Table A.1 – Cross-section of copper conductors suitable for connection
to terminals for external conductors**

Rated current	Solid or stranded conductors		Flexible conductors	
	Cross-sections		Cross-sections	
	min.	max.	min.	max.
A	mm ²		mm ²	
6	0,75	1,5	0,5	1,5
8	1	2,5	0,75	2,5
10	1	2,5	0,75	2,5
13	1	2,5	0,75	2,5
16	1,5	4	1	4
20	1,5	6	1	4
25	2,5	6	1,5	4
32	2,5	10	1,5	6
40	4	16	2,5	10
63	6	25	6	16
80	10	35	10	25
100	16	50	16	35
125	25	70	25	50
160	35	95	35	70
200	50	120	50	95
250	70	150	70	120
315	95	240	95	185

If the external conductors are connected directly to built-in apparatus, the cross-sections indicated in the relevant specifications are valid.

In cases where it is necessary to provide for conductors other than those specified in the table, special agreement shall be reached between the ASSEMBLY manufacturer and the user.

Annex B (normative)

Method of calculating the cross-sectional area of protective conductors with regard to thermal stresses due to currents of short duration

The following formula shall be used to calculate the cross-section of the protective conductors necessary to withstand the thermal stresses due to currents with a duration of the order of 0,2 s to 5 s.

$$S_p = \frac{\sqrt{I^2 t}}{k}$$

where

S_p is the cross-sectional area, in square millimetres;

I is the value (r.m.s.) of a.c. fault current for a fault of negligible impedance which can flow through the protective device, in amperes;

t is the operating time of the disconnecting device, in seconds;

NOTE Account should be taken of the current-limiting effect of the circuit impedances and the limiting capability (Joule integral) of the protective device.

k is the factor dependent on the material of the protective conductor, the insulation and other parts and the initial and final temperatures, see Table B.1.

Table B.1 – Values of k for insulated protective conductors not incorporated in cables, or bare protective conductors in contact with cable covering

	Insulation of protective conductor or cable covering		
	Thermo-plastic (PVC)	XLPE EPR Bare conductors	Butyl rubber
Final temperature	160 °C	250 °C	220 °C
Factor k			
Material of conductor:			
Copper	143	176	166
Aluminium	95	116	110
Steel	52	64	60
The initial temperature of the conductor is assumed to be 30 °C.			

More detailed information is to be found in IEC 60364-5-54.

Annex C (informative)

User information template

This annex is intended as a template for the identification of items necessary for the ASSEMBLY manufacturer which is to be provided by the user.

It is intended to be used and developed in the relevant ASSEMBLY standards.

Table C.1 – Template

Characteristics	Reference clause or subclause	Default arrangement ^b	Options listed in standard	User requirement ^a
Electrical system				
Earthing system	5.6, 8.4.3.1, 8.4.3.2.3, 8.6.2, 10.5, 11.4	Manufacturer's standard, selected to suit local requirements	TT / TN-C / TN-C-S / IT, TN-S	
Nominal voltage (V)	3.8.9.1, 5.2.1, 8.5.3	Local, according to installation conditions	max 1 000 V a.c. or 1 500 V d.c.	
Transient overvoltages	5.2.4, 8.5.3, 9.1, Annex G	Determined by the electrical system	Overvoltage category I / II / III / IV	
Temporary overvoltages	9.1	Nominal system voltage + 1 200 V	None	
Rated frequency f_n (Hz)	3.8.12, 5.5, 8.5.3, 10.10.2.3, 10.11.5.4	According to local installation conditions	d.c./50 Hz/60 Hz	
Additional on site testing requirements: wiring, operational performance and function	11.10	Manufacturer's standard, according to application	None	
Short-circuit withstand capability				
Prospective short-circuit current at supply terminals I_{sc} (kA)	3.8.7	Determined by the electrical system	None	
Prospective short-circuit current in the neutral	10.11.5.3.5	Max. 60 % of phase values	None	
Prospective short-circuit current in the protective circuit	10.11.5.6	Max. 60 % of phase values	None	
SCPD in the incoming functional unit requirement	9.3.2	According to local installation conditions	Yes / No	
Co-ordination of short-circuit protective devices including external short-circuit protective device details.	9.3.4	According to local installation conditions	None	
Data associated with loads likely to contribute to the short-circuit current	9.3.2	No loads likely to make a significant contribution allowed for	None	
Protection of persons against electric shock in accordance with IEC 60364-4-41				

Characteristics	Reference clause or subclause	Default arrangement ^b	Options listed in standard	User requirement ^a
Type of protection against electric shock – Basic protection (protection against direct contact)	8.4.2	Basic protection	According to local installation regulations	
Type of protection against electric shock – Fault protection (protection against indirect contact)	8.4.3	According to local installation conditions	Automatic disconnection of supply / Electrical separation / Total insulation	
Installation environment				
Location type	3.5, 8.1.4, 8.2	Manufacturer's standard, according to application	Indoor / outdoor	
Protection against ingress of solid foreign bodies and ingress of water	8.2.2, 8.2.3	Indoor (enclosed): IP 2X Outdoor (min.): IP 23	IP 00, 2X, 3X, 4X, 5X, 6X After removal of removable parts: As for connected position / Reduced protection to manufacturer's standard	
External mechanical impact (IK)	8.2.1, 10.2.6	None	None	
Resistance to UV radiation (applies for outdoor assemblies only unless specified otherwise)	10.2.4	Indoor: Not applicable. Outdoor: Temperate climate	None	
Resistance to corrosion	10.2.2	Normal Indoor/Outdoor arrangements	None	
Ambient air temperature – Lower limit	7.1.1	Indoor: –5 °C Outdoor: –25 °C	None	
Ambient air temperature – Upper limit	7.1.1	40 °C	None	
Ambient air temperature – Daily average maximum	7.1.1, 9.2	35 °C	None	
Maximum relative humidity	7.1.2	Indoor: 50 % at 40 °C Outdoor: 100 % at 25 °C	None	
Pollution degree (of the installation environment)	7.1.3	Industrial: 3	1, 2, 3, 4	
Altitude	7.1.4	≤ 2 000 m	None	
EMC environment (A or B)	9.4, 10.12, Annex J	A/B	A/B	
Special service conditions (e.g. vibration, exceptional condensation, heavy pollution, corrosive environment, strong electric or magnetic fields, fungus, small creatures, explosion hazards, heavy vibration and shocks, earthquakes)	7.2, 8.5.4, 9.3.3 Table 7	No special service conditions	None	

Characteristics	Reference clause or subclause	Default arrangement ^b	Options listed in standard	User requirement ^a
Installation method				
Type	3.3, 5.6	Manufacturer's standard	Various e.g. floor standing / wall mounted	
Stationary/Movable	3.5	Stationary	Stationary / movable	
Maximum overall dimensions and weight	5.6, 6.2.1	Manufacturer's standard, according to application	None	
External conductor type(s)	8.8	Manufacturer's standard	Cable / Busbar Trunking System	
Direction(s) of external conductors	8.8	Manufacturer's standard	None	
External conductor material	8.8	Copper	Copper / aluminium	
External phase conductor, cross sections, and terminations	8.8	As defined within the standard	None	
External PE, N, PEN conductors cross sections, and terminations	8.8	As defined within the standard	None	
Special terminal identification requirements	8.8	Manufacturer's standard	None	
Storage and handling				
Maximum dimensions and weight of transport units	6.2.2, 10.2.5	Manufacturer's standard	None	
Methods of transport (e.g. forklift, crane)	6.2.2, 8.1.6	Manufacturer's standard	None	
Environmental conditions different from the service conditions	7.3	As service conditions	None	
Packing details	6.2.2	Manufacturer's standard	None	
Operating arrangements				
Access to manually operated devices	8.4		Authorized persons / Ordinary persons	
Location of manually operated devices	8.5.5	Easily accessible	None	
Isolation of load installation equipment items	8.4.2, 8.4.3.3, 8.4.6.2	Manufacturer's standard	Individual / groups / all	
Maintenance and upgrade capabilities				
Requirements related to accessibility in service by ordinary persons; requirement to operate devices or change components while the ASSEMBLY is energised	8.4.6.1	Basic protection	None	
Requirements related to accessibility for inspection and similar operations	8.4.6.2.2	No requirements for accessibility	None	
Requirements related to accessibility for maintenance in service by authorized persons	8.4.6.2.3	No requirements for accessibility	None	
Requirements related to accessibility for extension in service by authorized persons	8.4.6.2.4	No requirements for accessibility	None	

Characteristics	Reference clause or subclause	Default arrangement ^b	Options listed in standard	User requirement ^a
Method of functional units connection	8.5.1, 8.5.2	Manufacturer's standard	None	
Protection against direct contact with hazardous live internal parts during maintenance or upgrade (e.g. functional units, main busbars, distribution busbars)	8.4	No requirements for protection during maintenance or upgrade	None	
Current carrying capability				
Rated current of the ASSEMBLY I_{nA} (amps)	3.8.9.1, 5.3, 8.4.3.2.3, 8.5.3, 8.8, 10.10.2, 10.10.3, 10.11.5, Annex E	Manufacturer's standard, according to application	None	
Rated current of circuits I_{nc} (amps)	5.3.2	Manufacturer's standard, according to application	None	
Rated diversity factor	5.4, 10.10.2.3, Annex E	As defined within the standard	RDF for groups of circuits / RDF for whole ASSEMBLY	
Ratio of cross section of the neutral conductor to phase conductors: phase conductors up to and including 16 mm ²	8.6.1	100 %	None	
Ratio of cross section of the neutral conductor to phase conductors: phase conductors above 16 mm ²	8.6.1	50 % (min. 16 mm ²)	None	
a For exceptionally onerous applications, the user may need to specify more stringent requirements to those in the standard. b In some cases information declared by the ASSEMBLY manufacturer may take the place of an agreement.				

Annex D (informative)

Design verification

Table D.1 – List of design verifications to be performed

No.	Characteristic to be verified	Clauses or subclauses	Verification options available		
			Testing	Comparison with a reference design	Assessment
1	Strength of material and parts:	10.2			
	Resistance to corrosion	10.2.2	YES	NO	NO
	Properties of insulating materials:	10.2.3			
	Thermal stability	10.2.3.1	YES	NO	NO
	Resistance to abnormal heat and fire due to internal electric effects	10.2.3.2	YES	NO	YES
	Resistance to ultra-violet (UV) radiation	10.2.4	YES	NO	YES
	Lifting	10.2.5	YES	NO	NO
	Mechanical impact	10.2.6	YES	NO	NO
	Marking	10.2.7	YES	NO	NO
2	Degree of protection of enclosures	10.3	YES	NO	YES
3	Clearances	10.4	YES	NO	NO
4	Creepage distances	10.4	YES	NO	NO
5	Protection against electric shock and integrity of protective circuits:	10.5			
	Effective continuity between the exposed conductive parts of the ASSEMBLY and the protective circuit	10.5.2	YES	NO	NO
	Short-circuit withstand strength of the protective circuit	10.5.3	YES	YES	NO
6	Incorporation of switching devices and components	10.6	NO	NO	YES
7	Internal electrical circuits and connections	10.7	NO	NO	YES
8	Terminals for external conductors	10.8	NO	NO	YES
9	Dielectric properties:	10.9			
	Power-frequency withstand voltage	10.9.2	YES	NO	NO
	Impulse withstand voltage	10.9.3	YES	NO	YES
10	Temperature-rise limits	10.10	YES	YES	YES
11	Short-circuit withstand strength	10.11	YES	YES	NO
12	Electromagnetic compatibility (EMC)	10.12	YES	NO	YES
13	Mechanical operation	10.13	YES	NO	NO

Annex E (informative)

Rated diversity factor

E.1 General

All circuits within an ASSEMBLY are individually capable of carrying their rated current, in accordance with 5.3.2, continuously but, the current carrying capacity of any circuit may be influenced by adjacent circuits. Thermal interaction can result in heat being imported from, or exported to, circuits in close proximity. Cooling air available to a circuit may be at a temperature well in excess of the ambient due to the influence of other circuits.

In practise, not all circuits within an ASSEMBLY are normally required to carry rated current continuously and simultaneously. Within a typical application the type and nature of loads differ appreciably. Some circuits will be rated on the basis of inrush currents and intermittent or short duration loads. A number of circuits may be heavily loaded while others are lightly loaded or switched off.

To provide ASSEMBLIES in which all circuits can be operated at rated current continuously is therefore unnecessary and would be an inefficient use of materials and resources. This standard recognises the practical requirements of ASSEMBLIES through the assignment of a rated diversity factor as defined in 3.8.11.

By stating a rated diversity factor, the ASSEMBLY manufacturer is specifying the 'average' loading conditions for which the ASSEMBLY is designed. The rated diversity factor confirms the per unit value of rated current to which all the outgoing circuits, or a group of outgoing circuits, within the ASSEMBLY, can be continuously and simultaneously loaded. In ASSEMBLIES where the total of the rated currents of the outgoing circuits operating at rated diversity factor exceeds the capacity of the incoming circuit, the diversity factor applies to any combination of outgoing circuits used to distribute the incoming current.

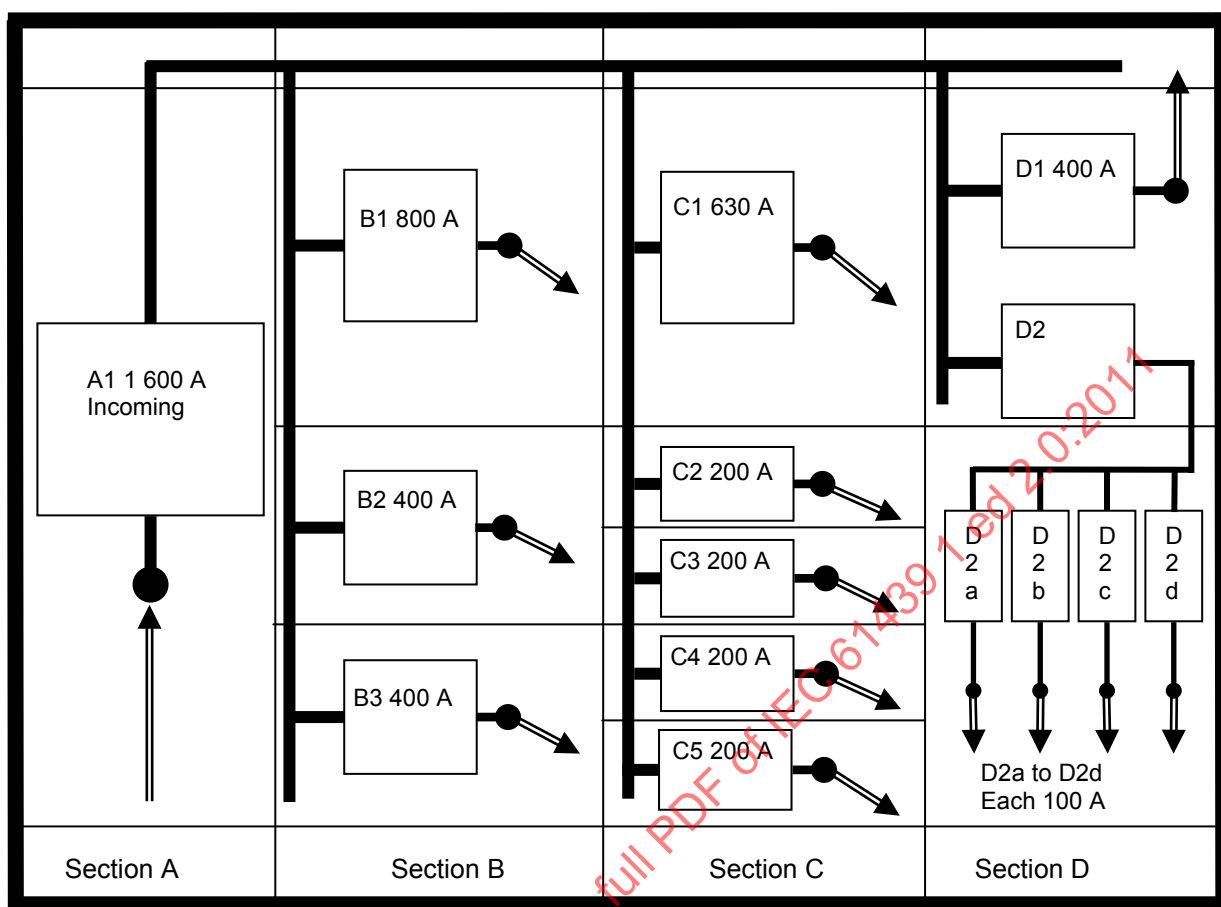
E.2 Rated diversity factor of an ASSEMBLY

The rated diversity factor of an ASSEMBLY is specified in 5.4. For the typical ASSEMBLY shown in Figure E.1, examples of the multitude of loading arrangements for a diversity factor of 0,8 are given in Table E.1 and shown in Figures E.2 to E.5.

E.3 Rated diversity factor of a group of outgoing circuits

In addition to stating the rated diversity factor for a complete ASSEMBLY, an ASSEMBLY manufacturer may specify a different diversity factor for a group of related circuits within an ASSEMBLY. Subclause 5.4 specifies the rated diversity factor for a group of outgoing circuits.

Tables E.2 and E.3 give examples of a diversity factor of 0,9 for a section and subdistribution board within the typical ASSEMBLY shown in Figure E.1.



IEC 1852/11

Functional unit – Rated current (I_n) shown ^a

- ^a The rated current of the functional unit (the circuit) in the ASSEMBLY may be less than the rated current of the device.

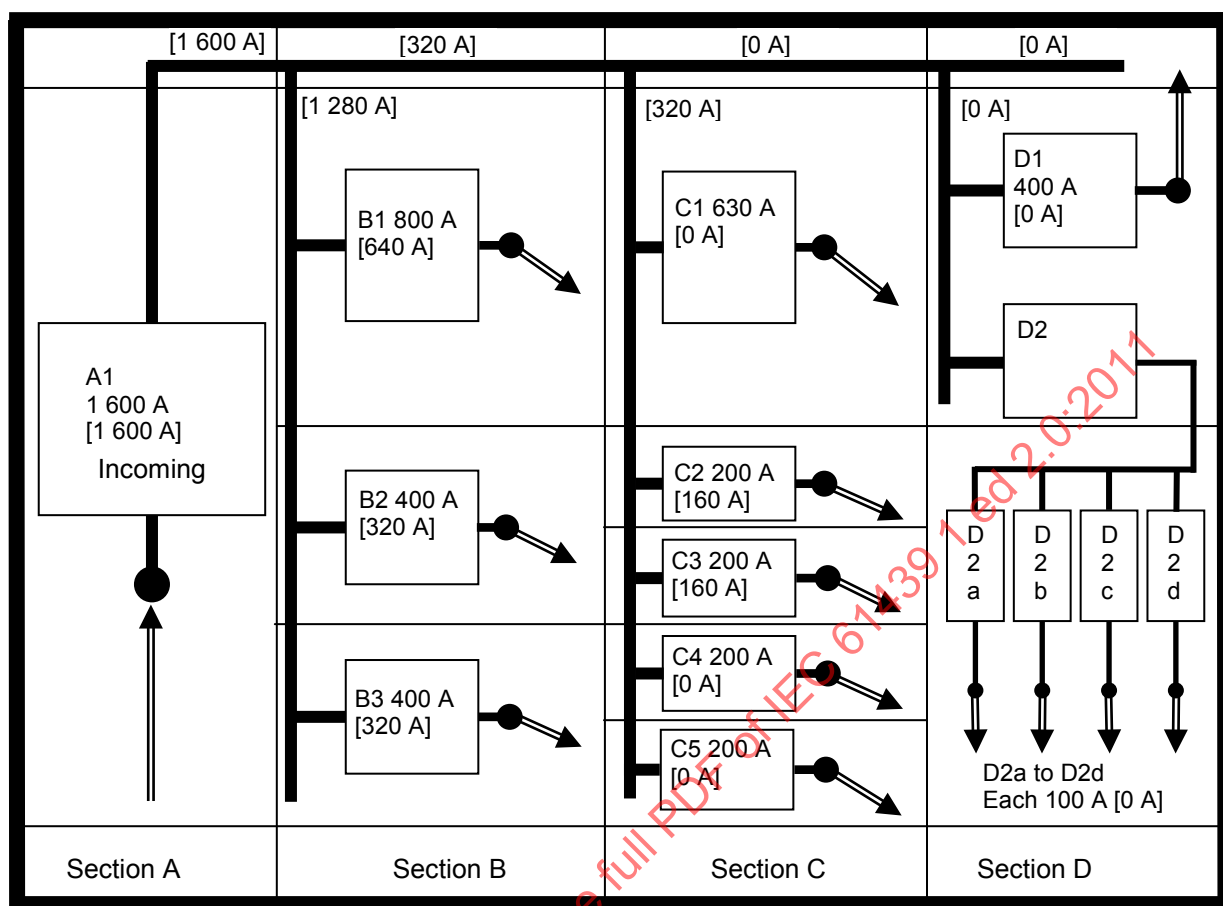
Figure E.1 – Typical ASSEMBLY

Table E.1 – Examples of loading for an ASSEMBLY with a rated diversity factor of 0,8

Functional unit	A1	B1	B2	B3	C1	C2	C3	C4	C5	D1	D2a	D2b	D2c	D2d
	Current (A)													
Functional unit - rated current (I_n)^b (See Figure E.1)	1 600	800	400	400	630	200	200	200	200	400	100	100	100	100
Functional unit loading for an ASSEMBLY with a rated diversity factor of 0,8	Example 1 Figure E.2	1 600	640	320	320	0	160	160	0	0	0	0	0	0
	Example 2 Figure E.3	1 600	640	0	0	504	136 ^a	0	0	320	0	0	0	0
	Example 3 Figure E.4	1 600	456 ^a	0	0	504	160	160	160	0	0	0	0	0
	Example 4 Figure E.5	1 600	0	0	0	504	160	136 ^a	0	320	80	80	80	80

^a Balance current to load incoming circuit to its rated current.

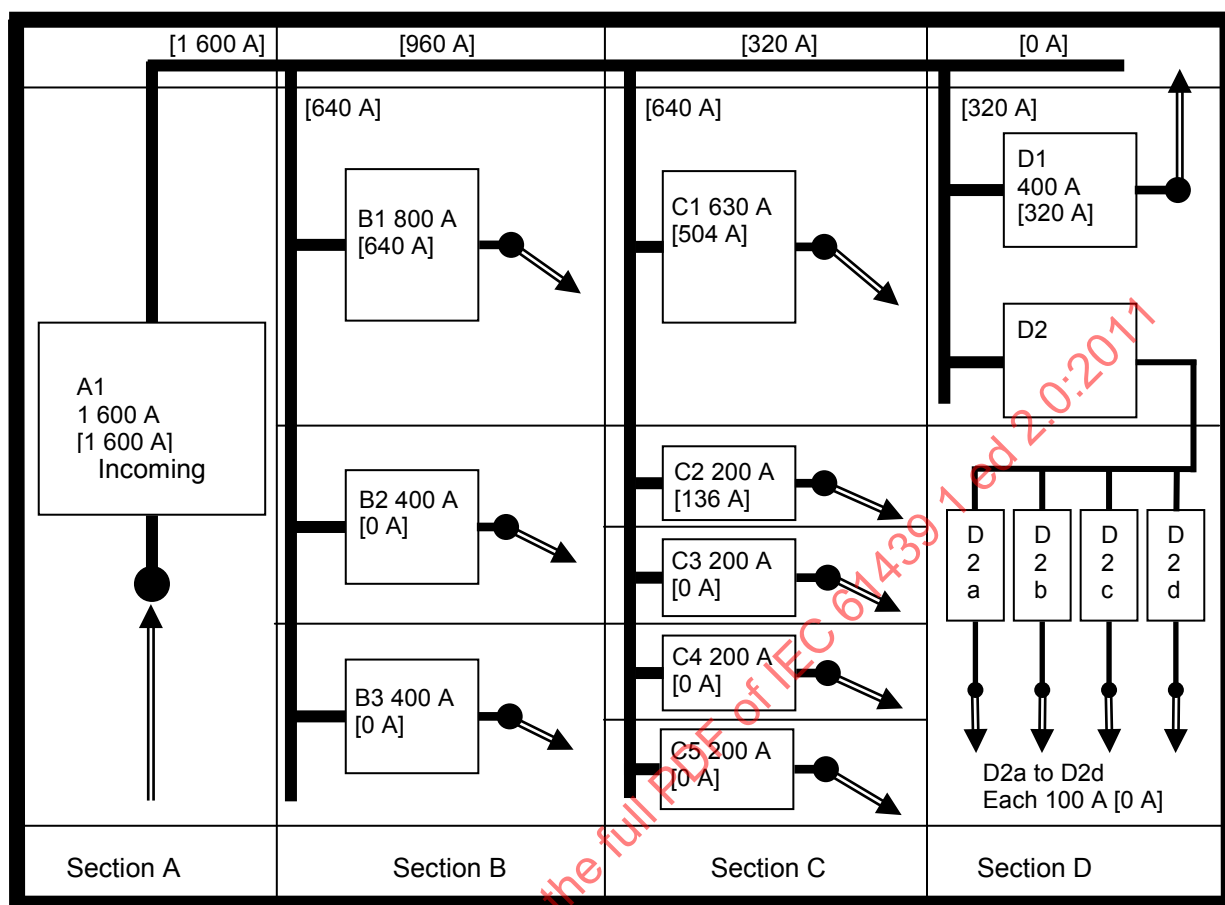
^b The rated current of the functional unit (the circuit) in the ASSEMBLY may be less than the rated current of the device.



IEC 1853/11

Actual loading is indicated by the figures in brackets e.g. [640 A].
Busbar section loading is indicated by the figure in brackets e.g. [320 A].

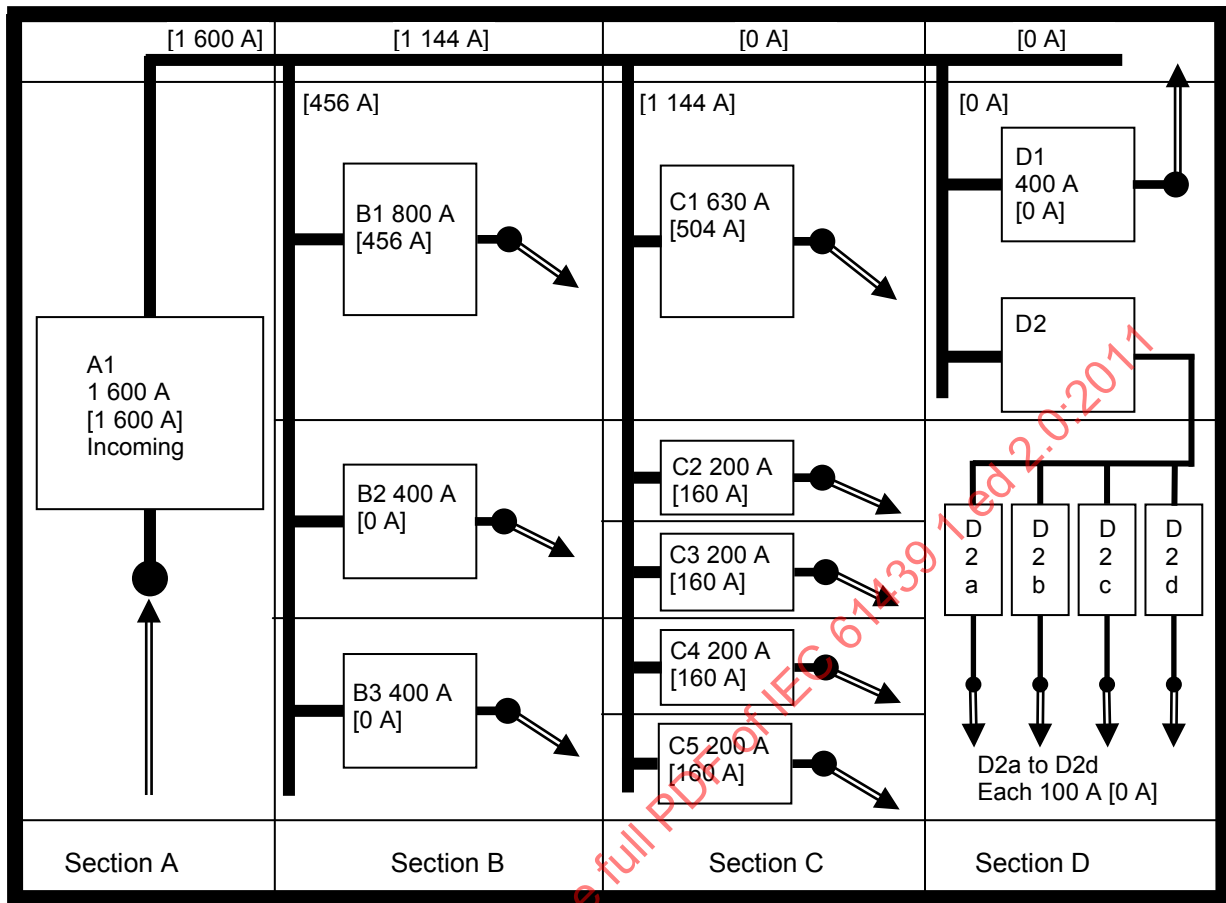
Figure E.2 – Example 1: Table E.1 – Functional unit loading for an ASSEMBLY with a rated diversity factor of 0,8



IEC 1854/11

Actual loading is indicated by the figures in brackets e.g. [640 A].
 Busbar section loading is indicated by the figure in brackets e.g. [320 A].

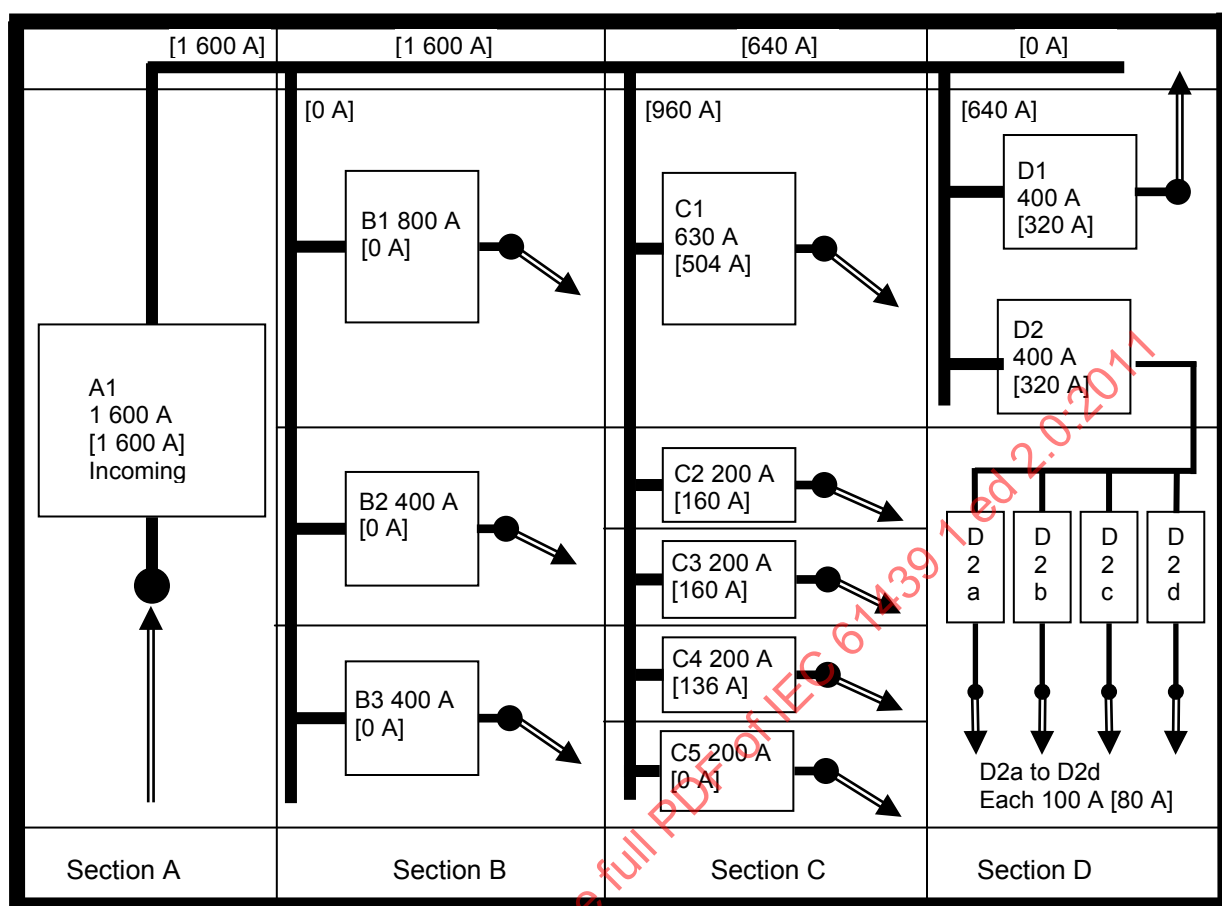
Figure E.3 – Example 2: Table E.1 – Functional unit loading for an ASSEMBLY with a rated diversity factor of 0,8



IEC 1855/11

Actual loading is indicated by the figures in brackets e.g. [640 A].
 Busbar section loading is indicated by the figure in brackets e.g. [320 A].

Figure E.4 – Example 3: Table E.1 – Functional unit loading for an ASSEMBLY with a rated diversity factor of 0,8



IEC 1856/11

Actual loading is indicated by the figures in brackets e.g. [640 A].

Busbar section loading is indicated by the figure in brackets e.g. [320 A].

Figure E.5 – Example 4: Table E.1 – Functional unit loading for an ASSEMBLY with a rated diversity factor of 0,8

Table E.2 – Example of loading of a group of circuits (Section B – Figure E.1) with a rated diversity factor of 0,9

Functional unit	Distribution busbar Section B	B1	B2	B3
	Current (A)			
Functional unit – Rated current (I_n)	1 440 ^a	800	400	400
Loading – Group of circuits with a rated diversity factor of 0,9	1 440	720	360	360

^a Minimum rated current to supply the connected functional units at the RDF (0,9).

Table E.3 – Example of loading of a group of circuits (Sub-distribution board – Figure E.1) with a rated diversity factor of 0,9

Functional unit	D2	D2a	D2b	D2c	D2d
	Current (A)				
Functional unit – Rated current (I_n)	360 ^a	100	100	100	100
Loading – Group of circuits with a rated diversity factor of 0,9	360	90	90	90	90

^a Minimum rated current to supply the connected functional units at the RDF (0,9).

E.4 Rated diversity factor and intermittent duty

The dissipated heat of circuits built from components with Joule losses is proportional to the true r.m.s value of the current. An equivalent r.m.s current representing the thermal effect of the real intermittent current can be calculated by the formula given below. This enables the thermal equivalent true r.m.s current (I_{eff}) in case of intermittent duty to be determined and thus the permissible load pattern for a given RDF. Care should be taken with ON-times > 30 min since small devices could already reach the thermal equilibrium.

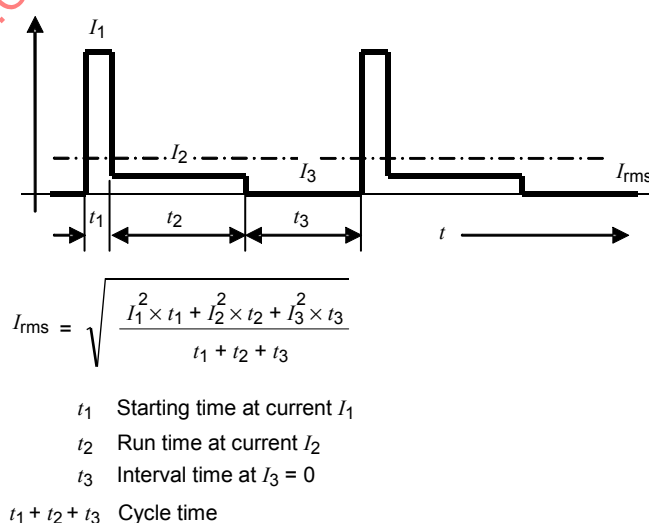


Figure E.6 – Example of average heating effect calculation

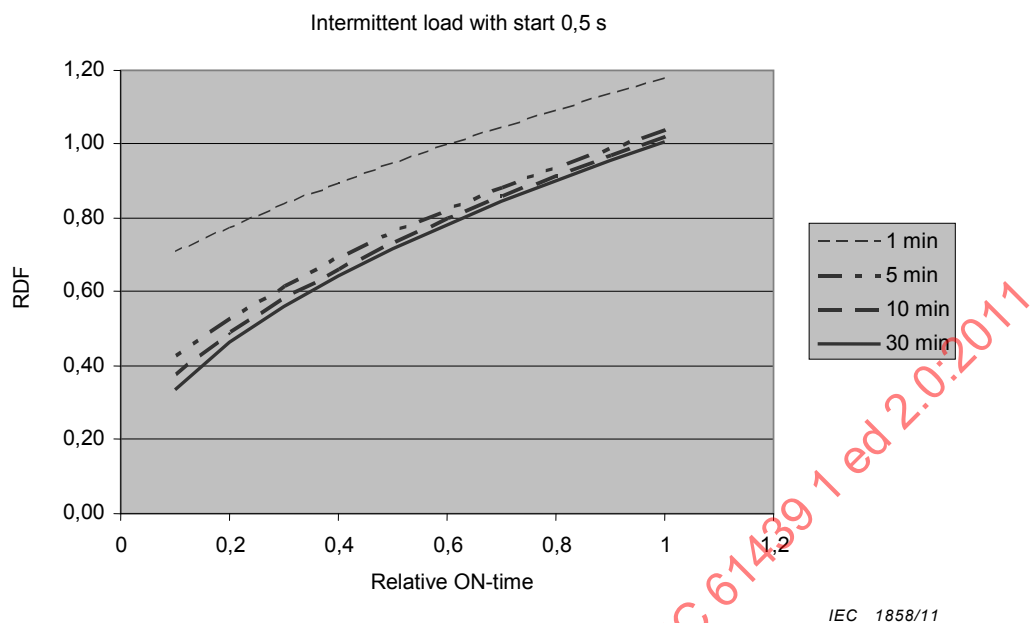


Figure E.7 – Example graph for the relation between the equivalent RDF and the parameters at intermittent duty at $t_1 = 0,5$ s, $I_1 = 7 \cdot I_2$ at different cycle times

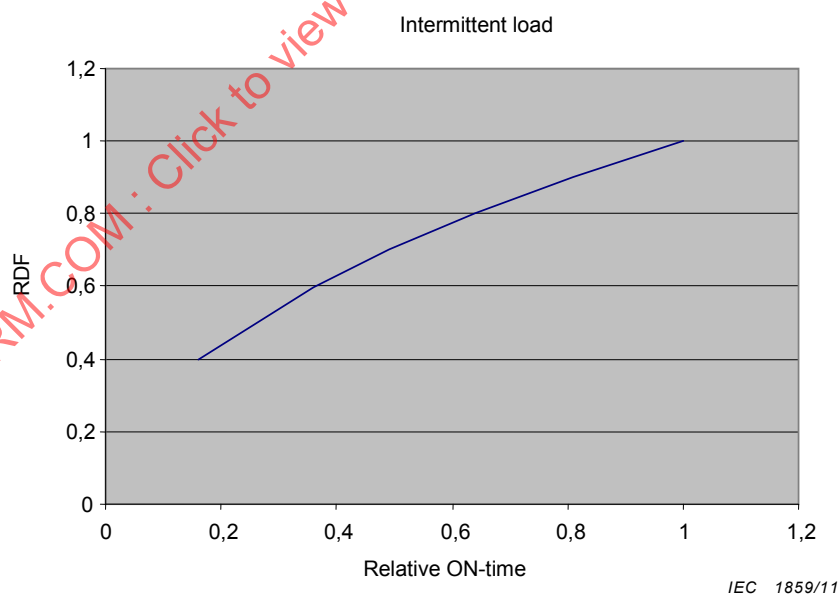


Figure E.8 – Example graph for the relation between the equivalent RDF and the parameters at intermittent duty at $I_1 = I_2$ (no starting overcurrent)

Annex F (normative)

Measurement of clearances and creepage distances ⁶

F.1 Basic principles

The width X of the grooves specified in the following examples 1 to 11 basically apply to all examples as a function of pollution as follows:

Table F.1 – Minimum width of grooves

Pollution degree	Minimum values of width X of grooves mm
1	0,25
2	1,0
3	1,5
4	2,5

If the associated clearance is less than 3 mm, the minimum groove width may be reduced to one-third of this clearance.

The methods of measuring clearances and creepage distances are indicated in examples 1 to 11. These examples do not differentiate between gaps and grooves or between types of insulation.

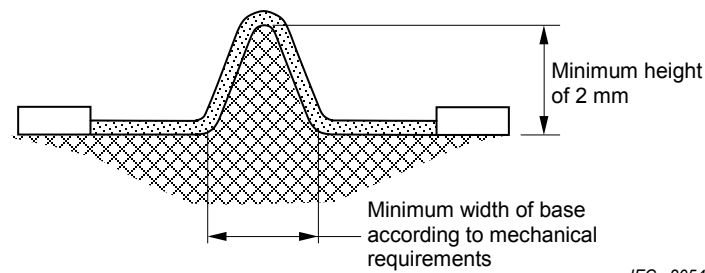
Furthermore:

- any corner is assumed to be bridged with an insulating link of X mm width moved into the most unfavourable position (see example 3);
- where the distance across the top of a groove is X mm or more, a creepage distance is measured along the contours of the grooves (see example 2);
- clearances and creepage distances measured between parts moving in relation to each other are measured when these parts are in their most unfavourable positions.

F.2 Use of ribs

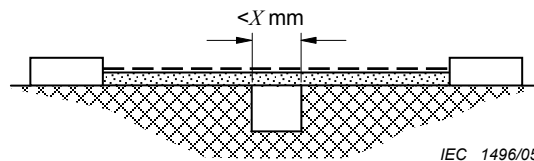
Because of their influence on contamination and their better drying-out effect, ribs considerably decrease the formation of leakage current. Creepage distances can therefore be reduced to 0,8 of the required value, provided the minimum height of the ribs is 2 mm, see Figure F.1.

⁶ This Annex F is based on IEC 60664-1:2007.



IEC 2054/08

Figure F.1 a) – Measurement of ribs: examples

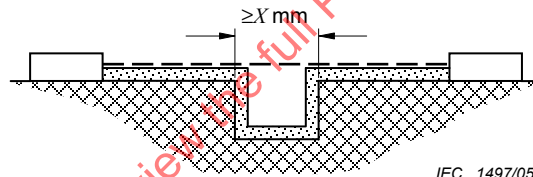


IEC 1496/05

Condition: This creepage distance path includes a parallel- or converging-sided groove of any depth with a width less than X mm.

Rule: Creepage distance and clearances are measured directly across the groove as shown.

Figure F.1 b) – Example 1

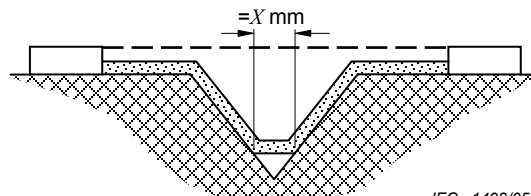


IEC 1497/05

Condition: This creepage distance path includes a parallel-sided groove of any depth and equal to or more than X mm.

Rule: Clearance is the "line-of-sight" distance. Creepage distance path follows the contour of the groove.

Figure F.1 c) – Example 2



IEC 1498/05

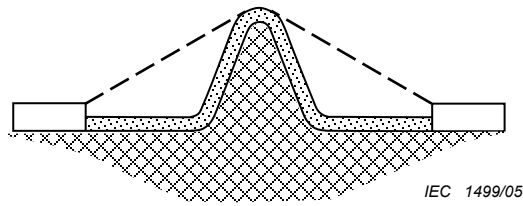
Condition: This creepage distance path includes a V-shaped groove with a width greater than X mm

Rule: Clearance is the "line-of-sight" distance. Creepage distance path follows the contour of the groove but "short-circuits" the bottom of the groove by X mm link.

Figure F.1 d) – Example 3

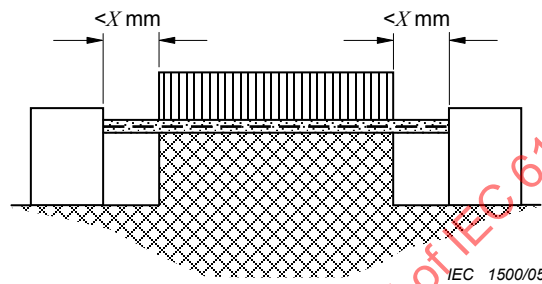
— — — — — Clearance

————— Creepage distance



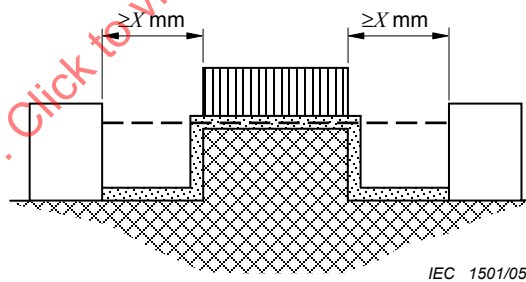
Condition: This creepage distance path includes a rib. Rule: Clearance is the shortest air path over the top of the rib. Creepage path follows the contour of the rib.

Figure F.1 e) – Example 4



Condition: This creepage distance path includes an uncemented joint with grooves less than X mm wide on each side. Rule: Creepage distance and clearance paths are the "line-of-sight" distance shown.

Figure F.1 f) – Example 5

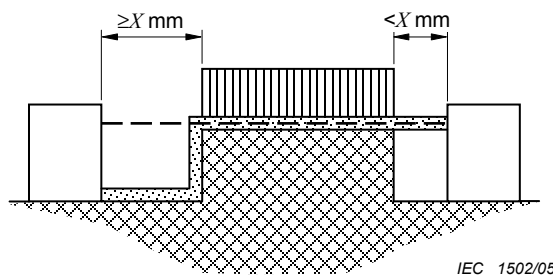


Condition: This creepage distance path includes an uncemented joint with grooves equal to or more than X mm wide on each side. Rule: Clearance is the "line-of-sight" distance. Creepage distance path follows the contour of the grooves.

Figure F.1 g) – Example 6

— — — — — Clearance

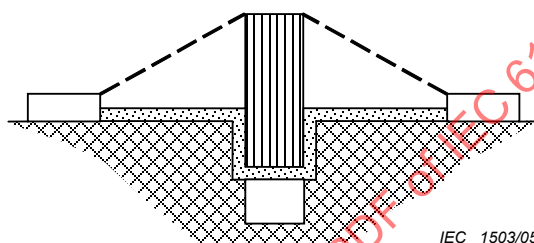
Creepage distance



Condition: This creepage distance path includes an uncemented joint with a groove on one side less than X mm wide and the groove on the other side equal to or more than X mm wide.

Rule: Clearances and creepage distance paths are as shown.

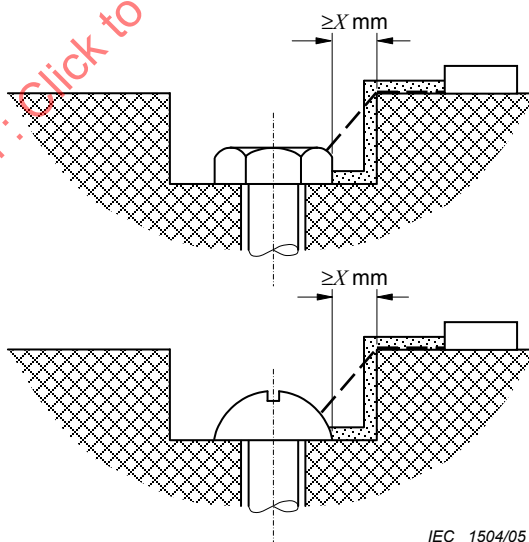
Figure F.1 h) – Example 7



Condition: Creepage distance through uncemented joint is less than creepage distance over barrier.

Rule: Clearance is the shortest direct air path over the top of the barrier.

Figure F.1 i) – Example 8



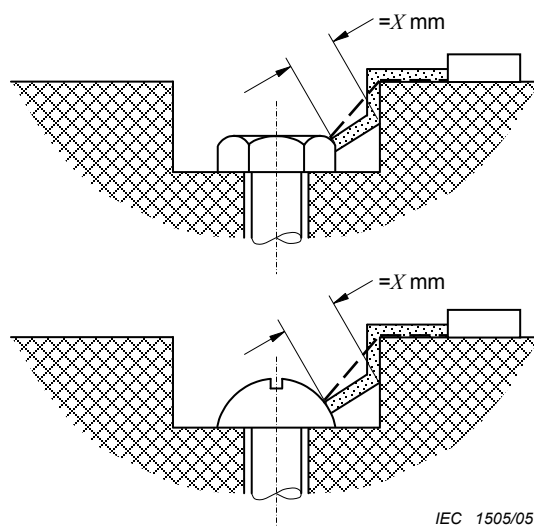
Condition: Gap between head of screw and wall of recess wide enough to be taken into account.

Rule: Clearances and creepage distance paths are as shown.

Figure F.1 j) – Example 9

— — — — — Clearance

Creepage distance

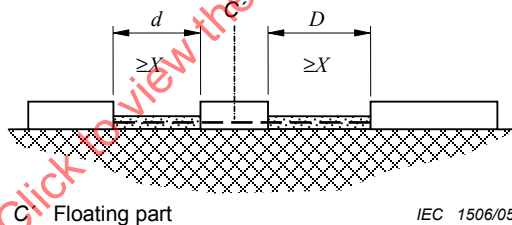


IEC 1505/05

Condition: Gap between head of screw and wall of recess too narrow to be taken into account.

Rule: Measurement of creepage distance is from screw to wall when the distance is equal to X mm.

Figure F.1 k) – Example 10



C Floating part

IEC 1506/05

Clearance is the distance $d + D$

Creepage distance is also $d + D$

Figure F.1 l) – Example 11

— — — — — Clearance

▬▬▬▬▬▬▬ Creepage distance

Figure F.1 – Measurement of ribs

Annex G

(normative)

Correlation between the nominal voltage of the supply system and the rated impulse withstand voltage of the equipment⁷

This annex is intended to give the necessary information concerning the choice of equipment for use in a circuit within an electrical system or part thereof.

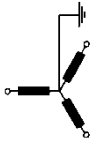
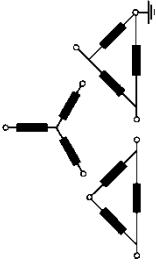
Table G.1 provides examples of the correlation between nominal supply system voltages and the corresponding rated impulse withstand voltage of the equipment.

The values of rated impulse voltage given in Table G.1 are based on 4.3.3 of IEC 60664-1:2007. Further information about criteria for the selection of an appropriate overvoltage category and overvoltage protection (if necessary) is given in IEC 60364-4-44:2007, Clause 443.

It should be recognized that control of overvoltages with respect to the values in Table G.1 can also be achieved by conditions in the supply system such as the existence of a suitable impedance or cable feed.

⁷ This annex is based on Annex H of IEC 60947-1:2007.

Table G.1 – Correspondence between the nominal voltage of the supply system and the equipment rated impulse withstand voltage

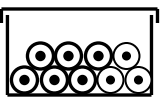
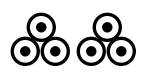
Maximum value of rated operational voltage to earth, a.c. r.m.s. or d.c. V	Nominal voltage of the supply system (≤ rated insulation voltage of the equipment) V			Preferred values of rated impulse withstand voltage (1,2/50 μ s) at 2 000 m kV				
	 AC r.m.s.	 AC r.m.s.	 AC r.m.s. or d.c.	 AC r.m.s. or d.c.	IV Origin of installation (service entrance) level	III Distribution circuit level	II Load (appliance, equipment) level	I Specially protected level
50	–	–	AC r.m.s. or d.c. 12,5, 24, 25, 30, 42, 48	AC r.m.s. or d.c.	1,5	0,8	0,5	0,33
100	66/115	66	60	–	2,5	1,5	0,8	0,5
150	120/208 127/220	115, 120 127	110, 120	220-110, 240-120	4	2,5	1,5	0,8
300	220/380, 230/400 240/415, 260/440 277/480	220, 230 240, 260 277	220	440-220	6	4	2,5	1,5
600	347/600, 380/660 400/690, 415/720 480/830	347, 380, 400 415, 440, 480 500, 577, 600	480	960-480	8	6	4	2,5
1 000	–	660 690, 720 830, 1 000	1 000	–	12	8	6	4

Annex H (informative)

Operating current and power loss of copper conductors

The following tables provide guidance values for conductor operating currents and power losses under ideal conditions within an ASSEMBLY. The calculation methods used to establish these values are given to enable values to be calculated for other conditions.

**Table H.1 – Operating current and power loss of single-core copper cables
with a permissible conductor temperature of 70 °C
(ambient temperature inside the ASSEMBLY: 55 °C)**

Conductor arrangement							
		Single-core cables in a cable trunking on a wall, run horizontally. 6 of the cables (2 three-phase circuits) continuously loaded		Single-core cables, touching free in air or on a perforated tray. 6 cables (2 three-phase circuits) continuously loaded		Single-core cables, spaced horizontally in free air	
Cross-sectional area of conductor	Resistance of conductor at 20°C, R_{20}^a	Max. operating current I_{max}^b	Power-losses per conductor P_v	Max. operating current I_{max}^c	Power-losses per conductor P_v	Max. operating current I_{max}^d	Power-losses per conductor P_v
mm ²	mΩ/m	A	W/m	A	W/m	A	W/m
1,5	12,1	8	0,8	9	1,3	15	3,2
2,5	7,41	10	0,9	13	1,5	21	3,7
4	4,61	14	1,0	18	1,7	28	4,2
6	3,08	18	1,1	23	2,0	36	4,7
10	1,83	24	1,3	32	2,3	50	5,4
16	1,15	33	1,5	44	2,7	67	6,2
25	0,727	43	1,6	59	3,0	89	6,9
35	0,524	54	1,8	74	3,4	110	7,7
50	0,387	65	2,0	90	3,7	134	8,3
70	0,268	83	2,2	116	4,3	171	9,4
95	0,193	101	2,4	142	4,7	208	10,0
120	0,153	117	2,5	165	5,0	242	10,7
150	0,124			191	5,4	278	11,5
185	0,099 1			220	5,7	318	12,0
240	0,075 4			260	6,1	375	12,7

a Values from IEC 60228:2004, Table 2 (stranded conductors).
b Current carrying capacity I_{30} for one three-phase circuit from IEC 60364-5-52:2009, Table B.52.4, col. 4 (Method of installation: item 6 in Table B.52.3). $k_2=0,8$ (item 1 in Table B.52.17, two circuits).
c Current carrying capacity I_{30} for one three-phase circuit from IEC 60364-5-52:2009, Table B.52.10, col. 5 (Method of installation: Item F in Table B.52.1). Values for cross-sections less than 25 mm² calculated following Annex D of IEC 60364-5-52:2009. $k_2=0,88$ (item 4 in Table B.52.17, two circuits).
d Current carrying capacity I_{30} for one three-phase circuit from IEC 60364-5-52, Table B.52.10, col. 7 (Method of installation: item G in Table B.52.1). Values for cross-sections less than 25 mm² calculated following Annex D of IEC 60364-5-52:2009. ($k_2=1$)

$$I_{\max} = I_{30} \times k_1 \times k_2$$

$$P_v = I_{\max}^2 \times R_{20} \times [1 + \alpha \times (T_c - 20 \text{ °C})]$$

where

- k_1 reduction factor for air temperature inside the enclosure around the conductors (IEC 60364-5-52:2009, Table B.52.14)
 $k_1 = 0,61$ for conductor temperature 70 °C, ambient temperature 55 °C
 k_1 for other air temperatures: see Table H.2;
- k_2 reduction factor for groups of more than one circuit (IEC 60364-5-52:2009, Table B.52.17) ;
- α temperature coefficient of resistance, $\alpha = 0,004 \text{ K}^{-1}$;
- T_c conductor temperature.

Table H.2 – Reduction factor k_1 for cables with a permissible conductor temperature of 70 °C (extract from IEC 60364-5-52:2009, Table B.52.14)

Air temperature inside the enclosure around the conductors °C	Reduction factor k_1
20	1,12
25	1,06
30	1,00
35	0,94
40	0,87
45	0,79
50	0,71
55	0,61
60	0,50

NOTE If the operating current in Table H.1 is converted for other air temperatures using the reduction factor k_1 , then also the corresponding power losses must be calculated using the formula given above.

Annex I

(Void)

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61439 1 ed 2.0:2011

Annex J (normative)

Electromagnetic compatibility (EMC)

J.1 General

The subclause numbering within this annex aligns with that of the body of the standard.

J.2 Terms and definitions

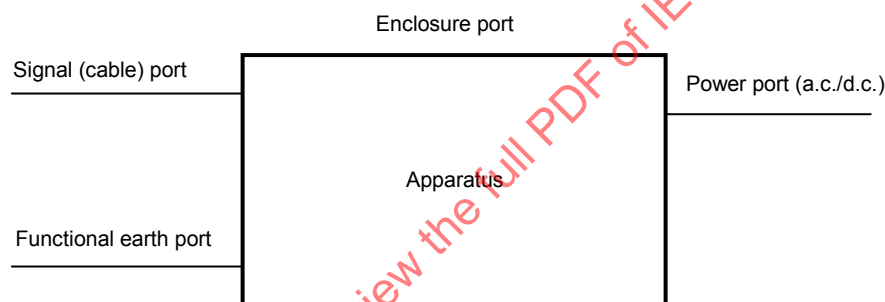
For the purposes of this annex, the following terms and definitions apply.

(See Figure J.1)

J.3.8.13.1

port

particular interface of the specified apparatus with external electromagnetic environment



IEC 2055/08

Figure J.1 – Examples of ports

J.3.8.13.2

enclosure port

physical boundary of the apparatus through which electromagnetic fields may radiate or impinge on

J.3.8.13.3

functional earth port

port other than signal, control or power port, intended for connection to earth for purposes other than electrical safety

J.3.8.13.4

signal port

port at which a conductor or cable intended to carry signals is connected to the apparatus

NOTE Examples are analogue inputs, outputs and control lines; data busses; communication networks etc.

[3.4 of IEC 61000-6-1:2005]

J.3.8.13.5

power port

port at which a conductor or cable carrying the primary electrical power needed for the operation (functioning) of an apparatus or associated apparatus is connected to the apparatus

J.9.4 Performance requirements

J.9.4.1 General

For the majority of ASSEMBLIES applications falling within the scope of this standard, two sets of environmental conditions are considered and are referred to as

- a) Environment A;
- b) Environment B.

Environment A: relates to a power network supplied from a high or medium voltage transformer dedicated to the supply of an installation feeding manufacturing or similar plant, and intended to operate in or in proximity to industrial locations, as described below. This standard applies also to apparatus which is battery operated and intended to be used in industrial locations.

The environments encompassed are industrial, both indoor and outdoor.

Industrial locations are in addition characterised by the existence of one or more of the following examples:

- industrial, scientific and medical (ISM) apparatus (as defined in CISPR 11);
- heavy inductive or capacitive loads are frequently switched;
- currents and associated magnetic fields are high.

NOTE 1 Environment A is covered by the generic EMC standards IEC 61000-6-2 and IEC 61000-6-4.

Environment B: relates to low-voltage public mains networks or apparatus connected to a dedicated DC source which is intended to interface between the apparatus and the low-voltage public mains network. It applies also to apparatus which is battery operated or is powered by a non-public, but non-industrial, low voltage power distribution system if this apparatus is intended to be used in the locations described below.

The environments encompassed are residential, commercial and light-industrial locations, both indoor and outdoor. The following list, although not comprehensive, gives an indication of locations which are included:

- residential properties, for example houses, apartments;
- retail outlets, for example shops, supermarkets;
- business premises, for example offices, banks;
- areas of public entertainment, for example cinemas, public bars, dance halls; outdoor locations, for example petrol stations, car parks, amusement and sports centres;
- light-industrial locations, for example workshops, laboratories, service centres.

Locations which are characterised by being supplied directly at low voltage from the public mains network are considered to be residential, commercial or light-industrial.

NOTE 2 Environment B is covered by the generic EMC standards IEC 61000-6-1 and IEC 61000-6-3.

The environmental condition A and/or B for which the ASSEMBLY is suitable shall be stated by the ASSEMBLY manufacturer.

J.9.4.2 Requirement for testing

ASSEMBLIES are in most cases manufactured or assembled on a one-off basis, incorporating a more or less random-combination of devices and components.

No EMC immunity or emission tests are required on final ASSEMBLIES if the following conditions are fulfilled:

- a) the incorporated devices and components are in compliance with the requirements for EMC for the stated environment (see J.9.4.1) as required by the relevant product or generic EMC standard.
- b) the internal installation and wiring is carried out in accordance with the devices and components manufacturer's instructions (arrangement with regard to mutual influences, cable, screening, earthing etc.)

In all other cases the EMC requirements are to be verified by tests as per J.10.12.

J.9.4.3 Immunity

J.9.4.3.1 ASSEMBLIES not incorporating electronic circuits

Under normal service conditions, ASSEMBLIES not incorporating electronic circuits are not sensitive to electromagnetic disturbances and therefore no immunity tests are required.

J.9.4.3.2 ASSEMBLIES incorporating electronic circuits

Electronic equipment incorporated in ASSEMBLIES shall comply with the immunity requirements of the relevant product or generic EMC standard and shall be suitable for the specified EMC environment stated by the ASSEMBLY manufacturer.

In all other cases the EMC requirements are to be verified by tests as per J.10.12.

Equipment utilizing electronic circuits in which all components are passive (for example diodes, resistors, varistors, capacitors, surge suppressors, inductors) are not required to be tested.

The ASSEMBLY manufacturer shall obtain from the device and or component manufacturer the specific performance criteria of the product based on the acceptance criteria given in the relevant product standard.

J.9.4.4 Emission

J.9.4.4.1 ASSEMBLIES not incorporating electronic circuits

For ASSEMBLIES not incorporating electronic circuits, electromagnetic disturbances can only be generated by equipment during occasional switching operations. The duration of the disturbances is of the order of milliseconds. The frequency, the level and the consequences of these emissions are considered as part of the normal electromagnetic environment of low-voltage installations. Therefore, the requirements for electromagnetic emission are deemed to be satisfied, and no verification is necessary.

J.9.4.4.2 ASSEMBLIES incorporating electronic circuits

Electronic equipment incorporated in the ASSEMBLY shall comply with the emission requirements of the relevant product or generic EMC standard and shall be suitable for the specific EMC environment stated by the ASSEMBLY manufacturer.

ASSEMBLIES incorporating electronic circuits (such as switched mode power supplies, circuits incorporating microprocessors with high-frequency clocks) may generate continuous electromagnetic disturbances.

For such emissions, these shall not exceed the limits specified in the relevant product standard, or the requirements of IEC 61000-6-4 for environment A and/or IEC 61000-6-3 for environment B shall apply. Tests are to be carried out as detailed in the relevant product standard, if any, otherwise according to J.10.12.

J.10.12 Tests for EMC

Functional units within ASSEMBLIES which do not fulfil the requirements of J.9.4.2 a) and b) shall be subjected to the following tests, as applicable.

The emission and immunity tests shall be carried out in accordance with the relevant EMC standard. However, the ASSEMBLY manufacturer shall specify any additional measures necessary to verify the criteria of performance for the ASSEMBLIES if necessary (e.g. application of dwell times).

J.10.12.1 Immunity tests

J.10.12.1.1 ASSEMBLIES not incorporating electronic circuits

No tests are necessary; see J.9.4.3.1.

J.10.12.1.2 ASSEMBLIES incorporating electronic circuits

Tests shall be made according to the relevant environment A or B. The values are given in Tables J.1 and/or J.2 except where a different test level is given in the relevant specific product standard and justified by the electronic components manufacturer.

Performance criteria shall be stated by the ASSEMBLIES manufacturer based on the acceptance criteria in Table J.3.

J.10.12.2 Emission tests

J.10.12.2.1 ASSEMBLIES not incorporating electronic circuits

No tests are necessary; see J.9.4.4.1.

J.10.12.2.2 ASSEMBLIES incorporating electronic circuits

The ASSEMBLIES manufacturer shall specify the test methods used; see J.9.4.4.2.

The emission limits for environment A are given in IEC 61000-6-4:2006, Table 1.

The emission limits for environment B are given in IEC 61000-6-3:2006, Table 1.

If the assembly incorporates telecommunication ports, the emission requirements of CISPR 22, relevant to that port and to the selected environment, shall apply.

**Table J.1 – Tests for EMC immunity for environment A
(see J.10.12.1)**

Type of test	Test level required	Performance criterion ^c
Electrostatic discharge immunity test IEC 61000-4-2	± 8 kV / air discharge or ± 4 kV / contact discharge	B
Radiated radio-frequency electromagnetic field immunity test IEC 61000-4-3 at 80 MHz to 1 GHz and 1,4 GHz to 2 GHz	10 V/m on enclosure port	A
Electrical fast transient/burst immunity test IEC 61000-4-4	± 2 kV on power ports ± 1 kV on signal ports including auxiliary circuits and functional earth	B
1,2/50 µs and 8/20 µs surge immunity test IEC 61000-4-5 ^a	± 2 kV (line to earth) on power ports, ± 1 kV (line to line) on power ports, ± 1 kV (line to earth) on signal ports	B
Conducted radio-frequency immunity test IEC 61000-4-6 at 150 kHz to 80 MHz	10 V on power ports, signal ports and functional earth	A
Immunity to power-frequency magnetic fields IEC 61000-4-8	30 A/m ^b on enclosure port	A
Immunity to voltage dips and interruptions IEC 61000-4-11 ^d	30 % reduction for 0,5 cycles 60 % reduction for 5 and 50 cycles >95 % reduction for 250 cycles	B C C
Immunity to harmonics in the supply IEC 61000-4-13	No requirements	
^a For equipment and/or input/output ports with a rated d.c. voltage of 24 V or less tests are not required. ^b Applicable only to apparatus containing devices susceptible to magnetic fields. ^c Performance criteria are independent of the environment. See Table J.3. ^d Applicable only to mains input power ports.		

Table J.2 – Tests for EMC immunity for environment B
(see J.10.12.1)

Type of test	Test level required	Performance criterion ^c
Electrostatic discharge immunity test IEC 61000-4-2	± 8 kV / air discharge or ± 4 kV / contact discharge	B
Radiated radio-frequency electromagnetic field immunity test IEC 61000-4-3 at 80 MHz to 1 GHz and 1,4 GHz to 2 GHz	3 V/m on enclosure port	A
Electrical fast transient/burst immunity test IEC 61000-4-4	± 1 kV on power ports ± 0,5 kV on signal ports including auxiliary circuits and functional earth	B
1,2/50 µs and 8/20 µs surge immunity test IEC 61000-4-5 ^a	± 0,5 kV (line to earth) for signal and power ports except for mains supply input port where ± 1 kV applies (line to earth) ± 0,5 kV (line to line)	B
Conducted radio-frequency immunity test IEC 61000-4-6 at 150 kHz to 80 MHz	3 V on power ports, signal ports and functional earth	A
Immunity to power-frequency magnetic fields IEC 61000-4-8	3 A/m ^b on enclosure port	A
Immunity to voltage dips and interruptions IEC 61000-4-11 ^d	30 % reduction for 0,5 cycles 60 % reduction for 5 cycles >95 % reduction for 250 cycles	B C C
Immunity to harmonics in the supply IEC 61000-4-13	No requirements	
^a For equipment and/or input/output ports with a rated d.c. voltage of 24 V or less tests are not required. ^b Applicable only to apparatus containing devices susceptible to magnetic fields. ^c Performance criteria are independent of the environment. See Table J.3. ^d Applicable only to mains input power ports.		

Table J.3 – Acceptance criteria when electromagnetic disturbances are present

Item	Acceptance criteria (performance criteria during tests)		
	A	B	C
Overall performance	No noticeable changes of the operating characteristic Operating as intended	Temporary degradation or loss of performance which is self-recoverable	Temporary degradation or loss of performance which requires operator intervention or system reset ^a
Operation of power and auxiliary circuits	No unwanted operation	Temporary degradation or loss of performance which is self-recoverable ^a	Temporary degradation or loss of performance which requires operator intervention or system reset ^a
Operation of displays and control panels	No changes to visible display information Only slight light intensity fluctuation of LEDs, or slight movement of characters	Temporary visible changes or loss of information Undesired LED illumination	Shut down or permanent loss of display. Wrong information and/or unpermitted operating mode, which should be apparent or an indication should be provided. Not self-recoverable
Information processing and sensing functions	Undisturbed communication and data interchange to external devices	Temporarily disturbed communication, with possible error reports of the internal and external devices	Erroneous processing of information Loss of data and/or information Errors in communication Not self-recoverable

^a Specific requirements shall be detailed in the product standard.

Annex K (normative)

Protection by electrical separation

K.1 General

Electrical separation is a protective measure in which:

- basic protection (protection against direct contact) is provided by basic insulation between hazardous live parts and exposed conductive parts of a separated circuit, and
- fault protection (protection against indirect contact) is provided:
 - by simple separation of the separated circuit from other circuits and from earth;
 - by an earth-free protective equipotential bonding interconnecting exposed equipment parts of the separated circuit where more than one item of equipment is connected to the separated circuit.

Intentional connection of exposed conductive parts to a protective conductor or to an earth conductor is not permitted.

K.2 Electrical separation

K.2.1 General

Protection by electrical separation shall be ensured by compliance with all the requirements of K.2.2 to K.2.5.

K.2.2 Supply source

The circuit shall be supplied through a source that provides separation i.e.

- an isolating transformer, or
- a source of current providing a degree of safety equivalent to that of the isolating transformer specified above, for example a motor generator with windings providing equivalent isolation.

NOTE Ability to withstand a particularly high test voltage is recognized as a means of ensuring the necessary degree of isolation.

Mobile sources of supply connected to a supply system shall be selected in accordance with Clause K.3 (class II equipment or equivalent insulation).

Fixed sources of supply shall be either:

- selected in accordance with Clause K.3, or
- such that the output is separated from the input and from the enclosure by an insulation satisfying the conditions of Clause K.3; if such a source supplies several items of equipment, the exposed conductive parts of that equipment shall not be connected to the metallic enclosure of the source.

K.2.3 Selection and installation of supply source

K.2.3.1 Voltage

The voltage of the electrically separated circuit shall not exceed 500 V.

K.2.3.2 Installation

K.2.3.2.1 Live parts of the separated circuit shall not be connected at any point to another circuit or to earth.

To avoid the risk of a fault to earth, particular attention shall be given to the insulation of such parts from earth, especially for flexible cables and cords.

Arrangements shall ensure electrical separation not less than that between the input and output of an isolating transformer.

NOTE In particular the electrical separation is necessary between the live parts of electrical equipment such as relays, contactors, auxiliary switches and any part of another circuit.

K.2.3.2.2 Flexible cables and cords shall be visible throughout any part of their length liable to mechanical damage.

K.2.3.2.3 For separated circuits, the use of separate wiring systems is necessary. If the use of conductors of the same wiring system for the separated circuits and other circuits is unavoidable, multi-conductor cables without metallic covering, or insulated conductors in insulating conduit, ducting or trunking shall be used, provided that their rated voltage is not less than the highest voltage likely to occur, and that each circuit is protected against overcurrent.

K.2.4 Supply of a single item of apparatus

Where a single item of apparatus is supplied, the exposed conductive parts of the separated circuit shall not be connected either to the protective conductor or exposed conductive parts of other circuits.

NOTE If the exposed conductive parts of the separated circuit are liable to come into contact, either intentionally or fortuitously, with the exposed conductive parts of other circuits, protection against electric shock no longer depends solely on protection by electrical separation but on the protective measures to which the latter exposed conductive parts are subject.

K.2.5 Supply of more than one item of apparatus

If precautions are taken to protect the separated circuit from damage and insulation failure, a source of supply, complying with K.2.2, may supply more than one item of apparatus provided that all the following requirements are fulfilled.

- a) The exposed-conductive-parts of the separated circuit shall be connected together by insulated non-earthed equipotential bonding conductors. Such conductors shall not be connected to the protective conductors or exposed-conductive-parts of other circuits or to any extraneous conductive parts.

NOTE If the exposed-conductive-parts of the separated circuit are liable to come into contact, either intentionally or fortuitously, with the exposed-conductive-parts of other circuits, protection against electric shock no longer depends solely on protection by electrical separation but on the protective measures to which the latter exposed-conductive-parts are subject.

- b) All socket-outlets shall be provided with protective contacts which shall be connected to the equipotential bonding system provided in accordance with item a).
- c) Except where supplying class II equipment, all flexible cables shall embody a protective conductor for use as an equipotential bonding conductor.

It shall be ensured that if two faults affecting two exposed conductive parts occur and these are fed by conductors of different polarity, a protective device shall disconnect the supply in a disconnecting time conforming to Table K.1.

Table K.1 – Maximum disconnecting times for TN systems

U_0^a V	Disconnecting time s
120	0,8
230	0,4
277	0,4
400	0,2
>400	0,1
a Values based on IEC 60038.	

For voltages which are within the tolerance band stated in IEC 60038, the disconnecting time appropriate to the nominal voltage applies.

For intermediate values of voltage, the next higher value in the above table is to be used.

K.3 Class II equipment or equivalent insulation

Protection shall be provided by electrical equipment of the following types:

- Electrical equipment having double or reinforced insulation (class II equipment)
- ASSEMBLIES having total insulation see 8.4.3.3.

This equipment is marked with the symbol .

NOTE This measure is intended to prevent the appearance of dangerous voltage on the accessible parts of electrical equipment through a fault in the basic insulation.

Annex L (informative)

Clearances and creepage distances for North American region

Table L.1 – Minimum clearances in air

Rated operational voltage V	Minimum clearances mm	
	Phase to phase	Phase to earth
(150) ^a 125 or less	12,7	12,7
(151) ^a 126-250	19,1	12,7
251-600	25,4	25,4
^a Values in brackets are applicable in Mexico.		

Table L.2 – Minimum creepage distances

Rated operational voltage V	Minimum creepage distances mm	
	Phase to phase	Phase to earth
(150) ^a 125 or less	19,1	12,7
(151) ^a 126-250	31,8	12,7
251-600	50,8	25,4
^a Values in brackets are applicable in Mexico.		

NOTE This is not a complete and exhaustive listing of all regulations that are specific to the North American marketplace.

Annex M

(informative)

North American temperature rise limits

The temperature rise limitation permitted in North America are based upon the allowable rises permitted for the devices connected (wire connectors, cables, circuit breakers, etc.). In order to maintain the proper and safe performance of the entire electrical system, these must be taken into account. These requirements are mandated by the National Electrical Code, NFPA 70, Article 110.14-C, "Temperature Limitations". This document is published by the National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts, USA. In Mexico these requirements are mandated by NOM-001-SEDE.

Table M.1 – North American temperature rise limits

Parts of ASSEMBLIES	Temperature rise K
Unplated busbars	50
Plated busbars	65
Terminals except as covered below	50
Terminals for devices marked for use with 90 °C conductors, based upon 75 °C ampacity (current carrying capacity)	60
Terminals for devices rated 110 A and less, if marked for use with 75 °C conductors	65

Annex N (normative)

Operating current and power loss of bare copper bars

The following tables provide values for conductor operating currents and power losses under ideal conditions within an ASSEMBLY (see 10.10.2.2.3, 10.10.4.2.1 and 10.10.4.3.1). This annex does not apply to conductors verified by test.

The calculation methods used to establish these values are given to enable values to be calculated for other conditions.

Table N.1 – Operating current and power loss of bare copper bars with rectangular cross-section, run horizontally and arranged with their largest face vertical, frequency 50 Hz to 60 Hz (ambient temperature inside the ASSEMBLY: 55 °C, temperature of the conductor 70 °C)

Height x thickness of bars	Cross-sectional area of bar	One bar per phase 			Two bars per phase (spacing = thickness of bars) 		
		k_3	Operating current	Power-losses per phase conductor P_v	k_3	Operating current	Power-losses per phase conductor P_v
mm × mm	mm ²		A	W/m		A	W/m
12 × 2	23,5	1,00	70	4,5	1,01	118	6,4
15 × 2	29,5	1,00	83	5,0	1,01	138	7,0
15 × 3	44,5	1,01	105	5,4	1,02	183	8,3
20 × 2	39,5	1,01	105	6,1	1,01	172	8,1
20 × 3	59,5	1,01	133	6,4	1,02	226	9,4
20 × 5	99,1	1,02	178	7,0	1,04	325	11,9
20 × 10	199	1,03	278	8,5	1,07	536	16,6
25 × 5	124	1,02	213	8,0	1,05	381	13,2
30 × 5	149	1,03	246	9,0	1,06	437	14,5
30 × 10	299	1,05	372	10,4	1,11	689	18,9
40 × 5	199	1,03	313	10,9	1,07	543	17,0
40 × 10	399	1,07	465	12,4	1,15	839	21,7
50 × 5	249	1,04	379	12,9	1,09	646	19,6
50 × 10	499	1,08	554	14,2	1,18	982	24,4
60 × 5	299	1,05	447	15,0	1,10	748	22,0
60 × 10	599	1,10	640	16,1	1,21	1118	27,1
80 × 5	399	1,07	575	19,0	1,13	943	27,0
80 × 10	799	1,13	806	19,7	1,27	1372	32,0
100 × 5	499	1,10	702	23,3	1,17	1125	31,8
100 × 10	999	1,17	969	23,5	1,33	1612	37,1
120 × 10	1200	1,21	1131	27,6	1,41	1859	43,5

$$P_v = \frac{I^2 \times k_3}{\kappa \times A} \times [1 + \alpha \times (T_c - 20 \text{ °C})]$$

where

P_v is the power loss per metre;

I is the operating current;

k_3 is the current displacement factor;

κ is the conductivity of copper, $\kappa = 56 \frac{\text{m}}{\Omega \times \text{mm}^2}$;

A is the cross-sectional area of bar;

α is the temperature coefficient of resistance, $\alpha = 0,004 \text{ K}^{-1}$;

T_c is the temperature of the conductor.

The operating currents may be converted for other ambient air temperatures inside the ASSEMBLY and/or for a conductor temperature of 90 °C by multiplying the values of Table N.1 by the corresponding factor k_4 from Table N.2. Then the power losses shall be calculated using the formula given above accordingly.

Table N.2 – Factor k_4 for different temperatures of the air inside the ASSEMBLY and/or for the conductors

Air temperature inside the enclosure around the conductors °C	Factor k_4	
	Conductor temperature of 70 °C	Conductor temperature of 90 °C
20	2,08	2,49
25	1,94	2,37
30	1,82	2,26
35	1,69	2,14
40	1,54	2,03
45	1,35	1,91
50	1,18	1,77
55	1,00	1,62
60	0,77	1,48

It shall be considered that, dependent upon the design of the ASSEMBLY, quite different ambient and conductor temperatures can occur, especially with higher operating currents.

Verification of the actual temperature rise under these conditions shall be determined by test. The power losses may then be calculated by the same method as used for this Table N.2.

NOTE At higher currents additional eddy current losses may be significant which are not included in the values of Table N.1.

Annex O (informative)

Guidance on temperature rise verification

O.1 General

All ASSEMBLIES generate heat in service. Assuming the heat dissipation capability of the ASSEMBLY for local areas within the ASSEMBLY and for the ASSEMBLY as a whole, when operating on full load, exceeds the total heat produced then thermal equilibrium will be established; temperature will stabilize at a temperature rise above the ambient temperature surrounding the ASSEMBLY.

The purpose of temperature rise verification is to ensure temperatures stabilize at a value that will not result in:

- a) significant deterioration or ageing of the ASSEMBLY, or
- b) excessive heat being transferred to external conductors, such that the service capability of the external conductors and any equipment to which they are connected, may be impaired, or,
- c) people, operators or animals in the vicinity of an ASSEMBLY being burnt in normal operating circumstances.

O.2 Temperature-rise limits

It is the manufacture's responsibility to select the appropriate method for temperature rise verification. (See Figure O.1).

All the temperature rise limits given in the standard assume that the ASSEMBLY will be located in an environment where the daily average and peak ambient temperatures do not exceed 35 °C and 40 °C, respectively.

The standard also assumes that all outgoing circuits within an ASSEMBLY will not be loaded to their rated current at the same time. This recognition of the practical situation is defined by a 'rated diversity factor'. Subject to the loading of the incoming circuit not exceeding its rated current, diversity is the proportion of the individual rated currents that any combination of outgoing circuits can carry continuously and simultaneously, without the ASSEMBLY overheating. Diversity factor (assumed loading) is usually defined for the ASSEMBLY as a whole, but a manufacturer may choose to specify it for groups of circuits, for example the circuits in a section.

Temperature rise verification confirms two criteria, as follows:

- a) that each type of circuit is capable of carrying its rated current when it is incorporated in the ASSEMBLY. This takes into account the way in which the circuit is connected and enclosed within the ASSEMBLY, but excludes any heating affects that may result from adjacent circuits carrying current.
- b) the ASSEMBLY as a whole will not overheat when the incoming circuit is loaded to its rated current and, subject to the maximum current of the incoming circuit, any combination of outgoing circuits can be simultaneously and continuously loaded to their rated current multiplied by the rated diversity factor for the ASSEMBLY.

Temperature rise limits within the ASSEMBLY are the manufacturers' responsibility, they are essentially determined on the basis of operating temperature not exceeding the long term capability of the materials used within the ASSEMBLY. At interfaces between the ASSEMBLY and

the 'wider world', for example, cable terminals and operating handles, the standard defines temperature rise limits (see Table 6).

Within boundaries defined in the standard, temperature rise verification can be undertaken by test, calculation or design rules. It is permissible to use one or a combination of the verification methods set out in the standard to verify temperature rise performance of an ASSEMBLY. This allows the manufacturer to choose the most appropriate method for the ASSEMBLY, or part of an ASSEMBLY, being considered, taking into consideration volumes, the construction, design flexibility, current rating and size of the ASSEMBLY.

In typical applications involving some adaptation of a standard design it is highly likely more than one method will be used to cover various elements of the ASSEMBLY design.

O.3 Test

O.3.1 General

In order to avoid unnecessary testing the standard provides guidance on selecting groups of comparable functional units. It then details how to select the critical variant from the group for test. Design rules are then applied to assign ratings to other circuits that are 'thermally similar' to the critical variant tested.

Three options for verification by test are offered in this standard.

O.3.2 Method a) – Verification of the complete ASSEMBLY (10.10.2.3.5)

If several or all circuits of an ASSEMBLY are loaded simultaneously then the same circuit is only able to carry its rated current multiplied with the rated diversity factor (see 5.4), due to the thermal influence of the other circuits. Thus to verify the rated currents of all circuits a separate test for each type of circuit is necessary. To verify the rated diversity factor one additional test with simultaneous load on all circuits has to be done (see methods b) and c)).

To avoid the large number of tests that may be necessary 10.10.2.3.5 describes a verification method where only one test is made with simultaneous load on all circuits. Because with only one test the rated currents and the rated diversity factor of the circuits cannot be verified separately, it is assumed that the diversity factor is one. In this case the load currents are equal to the rated currents.

This is a quick and conservative approach to achieving a result for a particular arrangement of ASSEMBLY. It proves the rating of the outgoing circuits and the ASSEMBLY in the same test. The incoming circuit and busbars are loaded to their rated current and as many outgoing circuits in a group as are necessary to distribute the incoming current, are loaded to their individual rated currents when installed in the ASSEMBLY. For most installations this is an unrealistic situation since outgoing circuits are not normally loaded to unity diversity. If the group of functional units tested does not include one of each of the different types of outgoing circuit incorporated in the ASSEMBLY, then further tests are carried out considering different groups of outgoing circuits until one of each type has been tested.

Testing in this manner requires the minimum number of temperature rise tests, but the test arrangement is more onerous than necessary and the result is not applicable to a range of ASSEMBLIES.

O.3.3 Method b) – Verification considering individual functional units separately and the complete ASSEMBLY (10.10.2.3.6)

With this arrangement of testing each critical variant of outgoing circuit is tested separately to confirm its rated current and then the ASSEMBLY as whole is tested with the incoming circuit loaded to its rated current and groups of outgoing circuits, as necessary to distribute the

incoming current, loaded to their rated current multiplied by the diversity factor. The group tested should include one outgoing circuit of each critical variant to be incorporated in the ASSEMBLY. Where this is not practical, further groups are tested until all critical variants of outgoing circuit have been considered.

This test regime takes into account the diversity in the loading of outgoing circuits that is applicable in the majority of applications. However, as in method a) above, the result is only applicable to a specific arrangement of ASSEMBLY tested.

O.3.4 Method c) – Verification considering individual functional units and the main and distribution busbars separately as well as the complete ASSEMBLY (10.10.2.3.7)

This test method enables modular systems to be temperature rise verified without the need to test every conceivable combination of circuits. Temperature rise tests are carried out separately to prove the rating of:

- a) functional units,
- b) main busbars,
- c) distribution busbars,
- d) complete ASSEMBLY.

To verify the performance of the ASSEMBLY as a whole, these tests are then complimented by a test on a representative ASSEMBLY in which the incoming circuit is loaded to its rated current and the outgoing circuits are loaded to their rated current multiplied by the diversity factor.

Whilst this approach requires more testing than methods a) and b) it has the advantage that the modular system rather than a specific arrangement of ASSEMBLY is verified.

O.4 Calculation

O.4.1 General

Two methods of verifying temperature rise performance by calculation are included within the standard.

O.4.2 Single compartment assembly with a rated current not exceeding 630 A

A very simple method of temperature rise verification that requires confirmation that the total power loss of the components and conductors within the ASSEMBLY do not exceed the known power dissipation capability of the enclosure. The scope of this approach is very limited and in order that there are no difficulties with hot spots, all components must be de-rated to 80 % of their free air current rating.

O.4.3 assembly with rated currents not exceeding 1 600 A

Temperature rise verification is by calculation in accordance with IEC 60890 with additional margins. The scope of this approach is limited to 1 600 A, components are de-rated to 80 % of their free air rating or less and any horizontal partitions must have, as a minimum, a 50 % open area.

O.5 Design rules

The standard allows, in clearly defined circumstances, for the derivation of ratings from similar variants that have been verified by test. For example, if the current rating of a double lamination busbar has been established by test, it is acceptable to assign a rating equal to

50 % of the tested arrangement to a busbar comprising a single lamination with the same width and thickness as the tested laminations, when all other considerations are the same.

In addition, the rating of all circuits within a group of comparable functional units (all devices must be of the same frame size and belong to the same series) can be derived from a single temperature rise test on the critical variant within the group. An example of this may be to test a nominal 250 A outgoing circuit breaker and establish a rating for it in the ASSEMBLY. Then, assuming the same frame size breaker is being considered and other specified conditions are met, verify by calculation the rating of a nominal 160 A circuit breaker within the same enclosure.

Lastly, in respect of temperature rise, there are very strict design rules that permit the substitution of a device with a similar device from another series or even another make, without retesting. In this case, in addition to the physical arrangement being essentially the same, the power loss and terminal temperature rise of the substitute device, when it is tested in accordance with its own product standard, must not be higher than those of the original device.

NOTE When considering device substitution all other performance criteria, in particular that dealing with short circuit capability, should be considered and satisfied, in accordance with the standard, before an ASSEMBLY is deemed to be verified.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61439-1 ed 2 (2011)

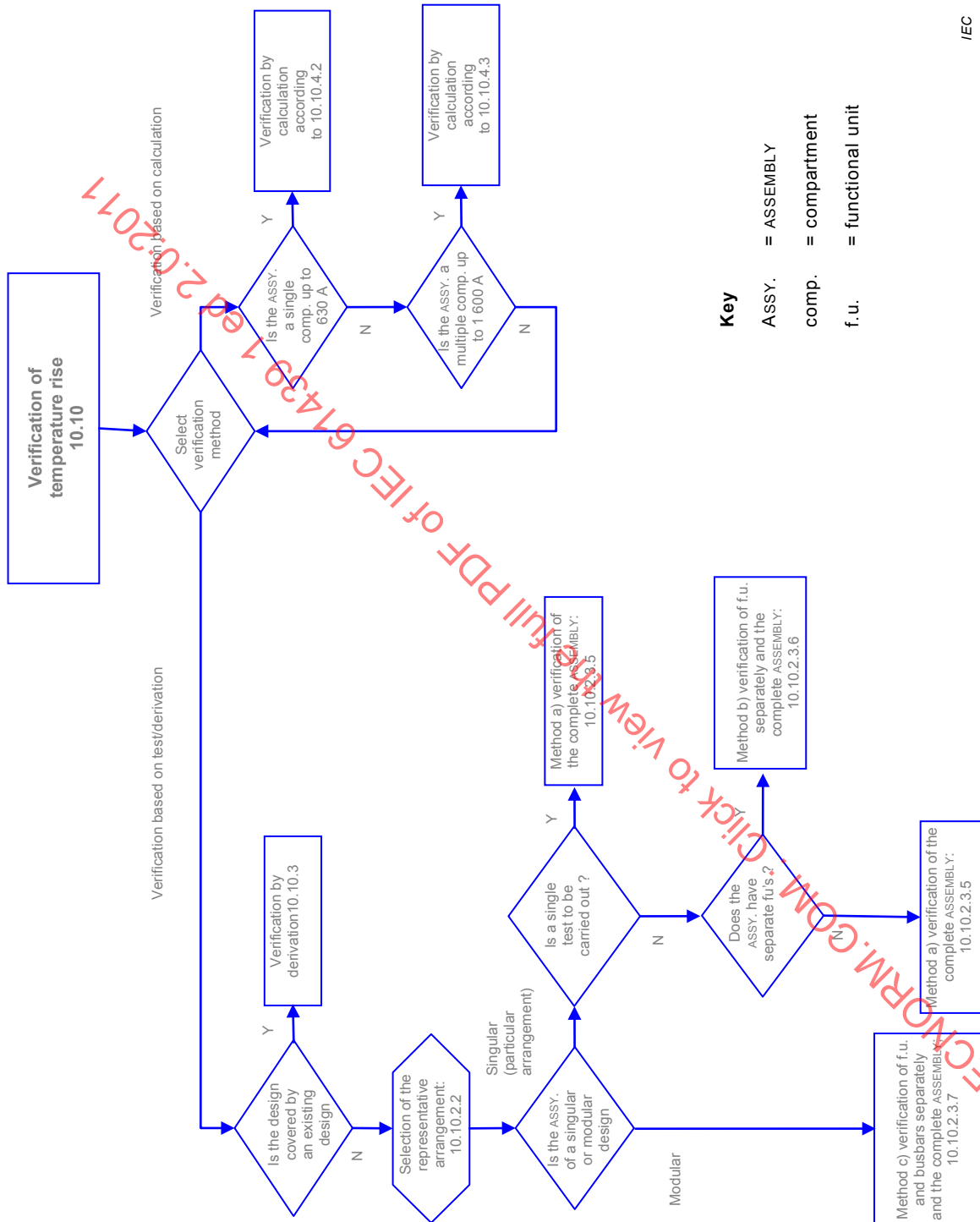


Figure O.1 – Temperature rise verification methods

Annex P (normative)

Verification of the short-circuit withstand strength of busbar structures by comparison with a tested reference design by calculation

P.1 General

This annex describes a method for assessing the short-circuit withstand strength of busbar structures of an ASSEMBLY by a comparison of the ASSEMBLY to be assessed with an ASSEMBLY already verified by test (see 10.11.5).

P.2 Terms and definitions

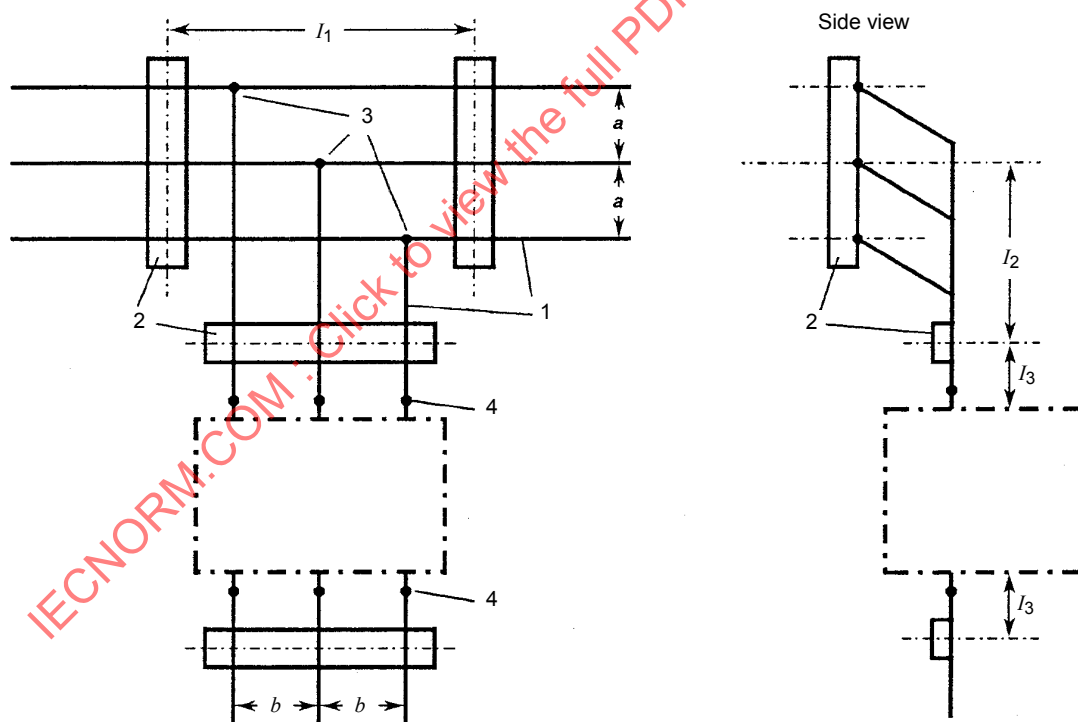
For the purposes of this annex, the following terms and definitions apply.

P.2.1

tested busbar structure

TS

structure whose arrangement and equipment are documented by drawings, parts lists and descriptions in the test certificate (Figure P.1)



IEC 1861/11

Key

- | | |
|-----------|----------------------|
| 1 | busbar |
| 2 | support |
| 3 | busbar connection |
| 4 | equipment connection |
| a, b, I | distances |

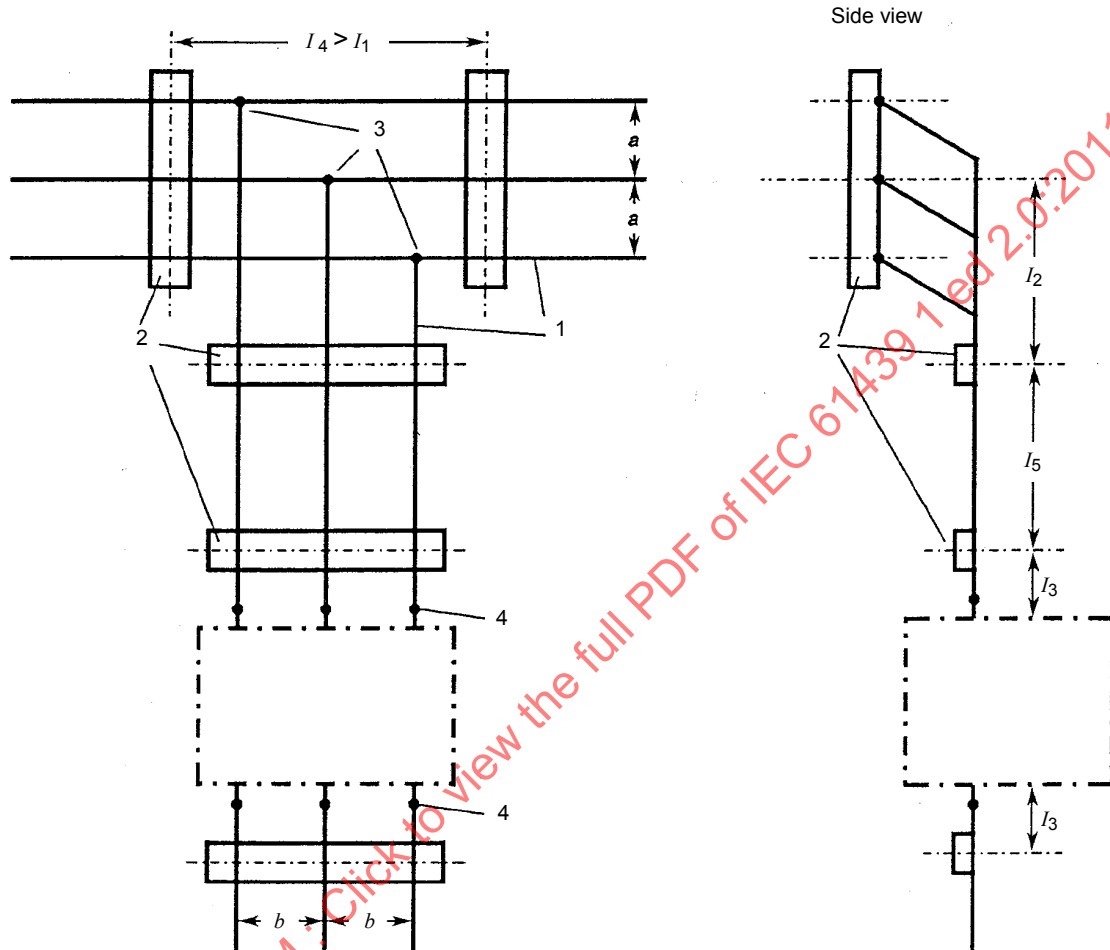
Figure P.1 – Tested busbar structure (TS)

P.2.2

non tested busbar structure

NTS

structure which requires verification of short-circuit withstand strength (Figure P.2)



IEC 1862/11

Key

- 1 busbar
- 2 support
- 3 busbar connection
- 4 equipment connection
- a, b, I distances

Figure P.2 – Non tested busbar structure (NTS)

P.3 Method of verification

The short-circuit withstand strength of a derived structure, i.e. an NTS, is verified from a tested structure (TS) by applying calculations according to IEC 60865-1 to both structures. The short-circuit withstand strength of the NTS is considered verified if the calculations show that the NTS does not have to withstand higher mechanical and thermal stresses than the tested structure.

P.4 Conditions for application

P.4.1 General

Changes of parameters, such as busbar clearances, busbar material, busbar cross-section and busbar configuration shown to be necessary by the calculation in conformity with IEC 60865-1 are permissible only in so far as the following conditions are adhered to.

P.4.2 Peak short-circuit current

The short-circuit current may be changed only to lower values.

P.4.3 Thermal short-circuit strength

The thermal short-circuit strength of an NTS shall be verified by calculations according to IEC 60865-1. The calculated temperature rise of the NTS shall not be higher than that of the TS.

P.4.4 Busbar supports

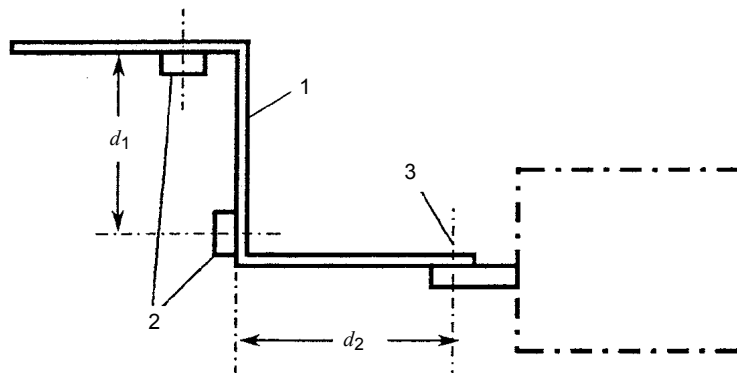
Changes of material or shape of supports taken from an ASSEMBLY verified by test are not permitted. However, other supports may be used but they shall have been previously tested for the required mechanical strength.

P.4.5 Busbar connections, equipment connections

The type of busbar and equipment connections shall have been previously verified by test.

P.4.6 Angular busbar configurations

IEC 60865-1 is applicable only to straight busbar configurations. Angular busbar configurations may be considered as a series of straight configurations when supports are provided at the corners (see Figure P.3).



IEC 1863/11

Key

- 1 busbar
- 2 support
- 3 equipment connection
- d* support distance

Figure P.3 – Angular busbar configuration with supports at the corners

P.4.7 Calculations with special regard to conductor oscillation

For calculations in conformity with IEC 60865-1 on the tested structure (TS), the following values of the factors V_{σ} , $V_{\sigma s}$ and V_F shall be used.

$$V_{\sigma} = V_{\sigma s} = V_F = 1,0$$

where

V_{σ} is the ratio between dynamic and static main conductor stress;

$V_{\sigma s}$ is the ratio between dynamic and static sub-conductor stress;

V_F is the ratio between dynamic and static force on support.

For the NTS,

$$V_{\sigma} = V_{\sigma s} = 1,0 \text{ and}$$

V_F is found from calculations in accordance with IEC 60865-1, but $V_F < 1,0$ is to be replaced by $V_F = 1,0$.

Bibliography

IEC 60038, *IEC standard voltages*

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

IEC 60050-195:1998, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 195: Earthing and protection against electric shock*

IEC 60050-441:1984, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 441: Switchgear, controlgear and fuses*

IEC 60050-471:2007, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 471: Insulators*

IEC 60050-601:1985, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 601: Generation, transmission and distribution of electricity – General*

IEC 60050-604:1987, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 604: Generation, transmission and distribution of electricity – Operation*

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

IEC 60079 (all parts), *Explosive atmospheres*

IEC 60092-302:1997, *Electrical installations in ships – Part 302: Low-voltage switchgear and controlgear assemblies*

IEC 60112:2003, *Method for the determination of the proof and the comparative tracking indices of solid insulating materials*

IEC 60204 (all parts), *Safety of machinery – Electrical equipment of machines*

IEC 60204-1, *Safety of machinery – Electrical equipment of machines – Part 1: General requirements*

IEC 60227-4:1992, *Polyvinyl chloride insulated cables of rated voltages up to and including 450/750 V – Part 4: Sheathed cables for fixed wiring*

IEC 60228:2004, *Conductors of insulated cables*

IEC 60417-SN:2011, *Graphical symbols for use on equipment*

IEC 60502-1:2004, *Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 1 kV ($U_m = 1,2$ kV) up to 30 kV ($U_m = 36$ kV) – Part 1: Cables for rated voltages of 1 kV ($U_m = 1,2$ kV) and 3 kV ($U_m = 3,6$ kV)*

IEC 60947 (all parts), *Low-voltage switchgear and controlgear*

IEC 61000-3-2:2005, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-2: Limits – Limits for harmonic current emissions (equipment input current ≤ 16 A per phase)*

IEC 61000-3-3, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-3: Limits – Limitation of voltage changes, voltage fluctuations and flicker in public low-voltage supply systems, for equipment with rated current ≤ 16 A per phase and not subject to conditional connection*

IEC 61000-3-5, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-5: Limits – Limitation of voltage fluctuations and flicker in low-voltage power supply systems for equipment with rated current greater than 75 A*

IEC 61000-3-11, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-11: Limits – Limitation of voltage changes, voltage fluctuations and flicker in public low-voltage supply systems – Equipment with rated current ≤ 75 A and subject to conditional connection*

IEC 61000-3-12, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-12: Limits – Limits for harmonic currents produced by equipment connected to public low-voltage systems with input current > 16 A and ≤ 75 A per phase*

IEC 61000-6-1, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6-1: Generic standards – Immunity for residential, commercial and light-industrial environments*

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

IEC 61000-6-3, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6-3: Generic standards – Emission standard for residential, commercial and light-industrial environments*

IEC 61082 (all parts), *Preparation of documents used in electrotechnology*

IEC/TR 61117:1992, *A method for assessing the short-circuit withstand strength of partially type-tested assemblies (PTTA)*

IEC 61140:2001, *Protection against electric shock – Common aspects for installation and equipment*

IEC 61241(all parts), *Electrical apparatus for use in the presence of combustible dust*

IEC/TR 61912-1:2007, *Low-voltage switchgear and controlgear – Overcurrent protective devices – Part 1: Application of short-circuit ratings*

IEC/TR 61912-2:2009, *Low-voltage switchgear and controlgear – Over-current protective devices – Part 2: Selectivity under over-current conditions*

DIN 43671:1975, *Copper busbars; design for continuous current*

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61439 1 ed 2.0:2011

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	148
INTRODUCTION.....	151
1 Domaine d'application	152
2 Références normatives	152
3 Termes et définitions	156
3.1 Termes généraux	156
3.2 Unités de construction des ENSEMBLES	157
3.3 Présentation extérieure des ENSEMBLES	158
3.4 Eléments de structure des ENSEMBLES	159
3.5 Conditions d'installation des ENSEMBLES	160
3.6 Caractéristiques d'isolement	161
3.7 Protection contre les chocs électriques	163
3.8 Caractéristiques	165
3.9 Vérification	168
3.10 Constructeur/utilisateur	169
4 Symboles et abréviations.....	169
5 Caractéristiques d'interface	170
5.1 Généralités.....	170
5.2 Caractéristiques assignées de tension	170
5.2.1 Tension assignée (U_n) (de l'ENSEMBLE).....	170
5.2.2 Tension assignée d'emploi (U_e) (d'un circuit d'un ENSEMBLE)	170
5.2.3 Tension assignée d'isolement (U_i) (d'un circuit d'un ENSEMBLE)	170
5.2.4 Tension assignée de tenue aux chocs (U_{imp}) (de l'ENSEMBLE).....	170
5.3 Caractéristiques assignées de courant	170
5.3.1 Courant assigné de l'ENSEMBLE (I_{nA})	170
5.3.2 Courant assigné d'un circuit (I_{nC})	171
5.3.3 Courant assigné de crête admissible (I_{pk})	171
5.3.4 Courant assigné de courte durée admissible (I_{CW}) (d'un circuit d'un ENSEMBLE)	171
5.3.5 Courant assigné de court-circuit conditionnel d'un ENSEMBLE (I_{CC})	171
5.4 Facteur de diversité assigné (RDF)	171
5.5 Fréquence assignée (f_n).....	172
5.6 Autres caractéristiques	172
6 Informations	172
6.1 Marquage pour l'identification des ENSEMBLES	172
6.2 Documentation	173
6.2.1 Renseignements concernant l'ENSEMBLE	173
6.2.2 Instructions de manutention, d'installation, d'exploitation et de maintenance.....	173
6.3 Identification des appareils et/ou des composants	174
7 Conditions d'emploi	174
7.1 Conditions normales d'emploi	174
7.1.1 Température de l'air ambiant	174
7.1.2 Conditions d'humidité	174
7.1.3 Degré de pollution	174
7.1.4 Altitude.....	175

7.2	Conditions spéciales d'emploi	175
7.3	Conditions au cours du transport, du stockage et de l'installation	176
8	Exigences de construction	176
8.1	Résistance des matériaux et des parties	176
8.1.1	Généralités	176
8.1.2	Protection contre la corrosion	176
8.1.3	Propriétés des matériaux isolants	176
8.1.4	Résistance aux rayonnements ultraviolets	177
8.1.5	Résistance mécanique	177
8.1.6	Dispositifs de levage	177
8.2	Degré de protection procuré par l'enveloppe d'un ENSEMBLE	177
8.2.1	Protection contre les impacts mécaniques	177
8.2.2	Protection contre les contacts avec des parties actives, contre la pénétration de corps étrangers solides et d'eau	177
8.2.3	ENSEMBLE avec parties amovibles	178
8.3	Distances d'isolement et lignes de fuite	179
8.3.1	Généralités	179
8.3.2	Distances d'isolement	179
8.3.3	Lignes de fuite	179
8.4	Protection contre les chocs électriques	180
8.4.1	Généralités	180
8.4.2	Protection principale	180
8.4.3	Protection en cas de défaut	182
8.4.4	Protection par isolation totale	184
8.4.5	Limitation du courant de contact permanent et des charges électriques	185
8.4.6	Conditions d'exploitation et d'entretien	185
8.5	Intégration des appareils de connexion et des composants	187
8.5.1	Parties fixes	187
8.5.2	Parties amovibles	187
8.5.3	Choix des appareils de connexion et des composants	187
8.5.4	Installation des appareils de connexion et des composants	188
8.5.5	Accessibilité	188
8.5.6	Barrières	189
8.5.7	Sens de manœuvre et indication des positions de commande	189
8.5.8	Voyants lumineux et boutons-poussoirs	189
8.6	Circuits électriques internes et connexions	189
8.6.1	Circuits principaux	189
8.6.2	Circuits auxiliaires	190
8.6.3	Conducteurs nus et isolés	190
8.6.4	Choix et installation de conducteurs actifs non protégés pour réduire la possibilité de courts-circuits	191
8.6.5	Identification des conducteurs des circuits principaux et auxiliaires	191
8.6.6	Identification du conducteur de protection (PE, PEN) et du conducteur neutre (N) des circuits principaux	191
8.7	Refroidissement	191
8.8	Bornes pour conducteurs externes	191
9	Exigences de performance	193
9.1	Propriétés diélectriques	193
9.1.1	Généralités	193

9.1.2	Tension de tenue à fréquence industrielle	193
9.1.3	Tension de tenue aux chocs	193
9.1.4	Protection des parafoudres	194
9.2	Limites d'échauffement	194
9.3	Protection contre les courts-circuits et tenue aux courts-circuits	194
9.3.1	Généralités	194
9.3.2	Indications concernant la tenue aux courts-circuits	195
9.3.3	Relation entre le courant de crête et le courant de courte durée	195
9.3.4	Coordination des dispositifs de protection	195
9.4	Compatibilité électromagnétique (CEM)	196
10	Vérification de la conception	196
10.1	Généralités	196
10.2	Résistance des matériaux et des parties	197
10.2.1	Généralités	197
10.2.2	Résistance à la corrosion	198
10.2.3	Propriétés des matériaux isolants	199
10.2.4	Résistance aux rayonnements ultraviolets (UV)	200
10.2.5	Levage	201
10.2.6	Impact mécanique	201
10.2.7	Marquage	201
10.3	Degré de protection procuré par les ENSEMBLES	202
10.4	Distances d'isolement et lignes de fuite	202
10.5	Protection contre les chocs électriques et intégrité des circuits de protection	202
10.5.1	Efficacité du circuit de protection	202
10.5.2	Continuité du circuit de terre entre les masses de l'ENSEMBLE et le circuit de protection	203
10.5.3	Tenue aux courts-circuits du circuit de protection	203
10.6	Intégration des appareils de connexion et des composants	204
10.6.1	Généralités	204
10.6.2	Compatibilité électromagnétique	204
10.7	Circuits électriques internes et connexions	204
10.8	Bornes pour conducteurs externes	204
10.9	Propriétés diélectriques	204
10.9.1	Généralités	204
10.9.2	Tension de tenue à fréquence industrielle	204
10.9.3	Tension de tenue aux chocs	205
10.9.4	Essais des enveloppes en matériau isolant	207
10.9.5	Poignées de manœuvre externes en matériau isolant	207
10.10	Vérification de l'échauffement	207
10.10.1	Généralités	207
10.10.2	Vérification par des essais	207
10.10.3	Déduction des caractéristiques assignées pour des variantes similaires	214
10.10.4	Evaluation de vérification	215
10.11	Tenue aux courts-circuits	218
10.11.1	Généralités	218
10.11.2	Circuits des ENSEMBLES exemptés de la vérification de la tenue aux courts-circuits	218
10.11.3	Vérification par comparaison avec une conception de référence – Utilisation d'une liste de contrôle	219

10.11.4 Vérification par comparaison avec une conception de référence – Utilisation de calculs	219
10.11.5 Vérification par essai	219
10.12 Compatibilité électromagnétique (CEM)	224
10.13 Fonctionnement mécanique	224
11 Vérification individuelle de série	225
11.1 Généralités	225
11.2 Degré de protection procuré par les enveloppes	225
11.3 Distances d'isolement et lignes de fuite	225
11.4 Protection contre les chocs électriques et intégrité des circuits de protection	226
11.5 Intégration de composants incorporés	226
11.6 Circuits électriques internes et connexions	226
11.7 Bornes pour conducteurs externes	226
11.8 Fonctionnement mécanique	226
11.9 Propriétés diélectriques	226
11.10 Câblage, fonctionnement électrique et fonction	227
Annexe A (normative) Sections minimale et maximale des conducteurs de cuivre convenant au raccordement aux bornes pour conducteurs externes (voir 8.8)	234
Annexe B (normative) Méthode de calcul de la section des conducteurs de protection par rapport aux contraintes thermiques occasionnées par les courants de courte durée	235
Annexe C (informative) Modèle d'information de l'utilisateur	236
Annexe D (informative) Vérification de conception	240
Annexe E (informative) Facteur de diversité assigné	241
Annexe F (normative) Mesure des distances d'isolement et lignes de fuite	250
Annexe G (normative) Correspondance entre la tension nominale du réseau d'alimentation et la tension assignée de tenue aux chocs des matériels	255
Annexe H (informative) Courant admissible et puissance dissipée des conducteurs en cuivre	257
Annexe I (Vide)	259
Annexe J (normative) Compatibilité électromagnétique (CEM)	260
Annexe K (normative) Protection par séparation électrique	267
Annexe L (informative) Distances d'isolement et lignes de fuite en Amérique du Nord	270
Annexe M (informative) Limites d'échauffement en Amérique du Nord	271
Annexe N (normative) Courant admissible et puissance dissipée des barres en cuivre nues	272
Annexe O (informative) Recommandations concernant la vérification de l'échauffement	274
Annexe P (normative) Vérification de la tenue aux courts-circuits des structures de jeux de barres par comparaison avec une conception de référence soumise à essai par calcul	279
Bibliographie	283
Figure E.1 – ENSEMBLE type	242
Figure E.2 – Exemple 1: Tableau E.1 – Charge d'une unité fonctionnelle pour un ENSEMBLE de facteur de diversité assigné de 0,8	244
Figure E.3 – Exemple 2: Tableau E.1 – Charge d'une unité fonctionnelle pour un ENSEMBLE de facteur de diversité assigné de 0,8	245

Figure E.4 – Exemple 3: Tableau E.1 – Charge d'une unité fonctionnelle pour un ensemble de facteur de diversité assigné de 0,8.....	246
Figure E.5 – Exemple 4: Tableau E.1 – Charge d'une unité fonctionnelle pour un ENSEMBLE de facteur de diversité assigné de 0,8.....	247
Figure E.6 – Exemple de calcul d'effet thermique moyen	248
Figure E.7 – Exemple de relation entre le RDF équivalent et les paramètres en service intermittent pour $t_1 = 0,5$ s, $I_1 = 7 \cdot I_2$ et différentes durées de cycle.....	249
Figure E.8 – Exemple de relation entre le RDF équivalent et les paramètres en service intermittent pour $I_1 = I_2$ (pas de surintensité de démarrage)	249
Figure F.1 – Mesure des nervures	254
Figure J.1 – Exemples d'accès.....	260
Figure O.1 – Méthodes de vérification de l'échauffement	278
Figure P.1 – Structure de jeu de barres vérifiée par essai (SS).....	279
Figure P.2 – Structure de jeu de barres qui n'a pas été vérifiée par essai (NSS).....	280
Figure P.3 – Configuration de jeux de barres coudées avec supports aux coins.....	282
Tableau 1 – Distances minimales d'isolement dans l'air ^a (8.3.2).....	227
Tableau 2 – Lignes de fuite minimales (8.3.3).....	227
Tableau 3 – Section du conducteur de protection en cuivre (8.4.3.2.2)	228
Tableau 4 – Choix des conducteurs et exigences d'installation (8.6.4)	228
Tableau 5 – Capacité minimale des bornes des conducteurs de protection en cuivre (PE, PEN) (8.8).....	229
Tableau 6 – Limites d'échauffement (9.2)	229
Tableau 7 – Valeurs pour le facteur n ^a (9.3.3)	230
Tableau 8 – Tension de tenue à fréquence industrielle pour les circuits principaux (10.9.2).....	231
Tableau 9 – Tension de tenue à fréquence industrielle pour les circuits auxiliaires et de commande (10.9.2).....	231
Tableau 10 – Tensions d'essai de tenue aux chocs (10.9.3).....	231
Tableau 11 – Conducteurs d'essai en cuivre pour courants assignés jusqu'à 400 A inclus (10.10.2.3.2).....	232
Tableau 12 – Conducteurs d'essai en cuivre pour courants assignés de 400 A à 4 000 A (10.10.2.3.2).....	232
Tableau 13 – Vérification de la tenue aux courts-circuits par comparaison avec une conception de référence: liste de contrôle (10.5.3.3, 10.11.3 et 10.11.4).....	233
Tableau 14 – Relation entre le courant de défaut présumé et le diamètre du fil de cuivre	233
Tableau A.1 – Section des conducteurs de cuivre convenant au raccordement aux bornes pour conducteurs externes	234
Tableau B.1 – Valeurs de k pour les conducteurs de protection isolés non incorporés aux câbles, ou pour les conducteurs de protection nus en contact avec le revêtement des câbles	235
Tableau C.1 – Modèle.....	236
Tableau D.1 – Liste des vérifications de conception à effectuer	240
Tableau E.1 – Exemples de charges pour un ENSEMBLE de facteur de diversité assigné de 0,8	243
Tableau E.2 – Exemple de charge d'un groupe de circuits (Colonne B – Figure E.1) avec un facteur de diversité assigné de 0,9	248

Tableau E.3 – Exemple de charge d'un groupe de circuits (Tableau de sous-distribution – Figure E.1) avec un facteur de diversité assigné de 0,9	248
Tableau F.1 – Largeur minimale des rainures	250
Tableau G.1 – Correspondance entre la tension nominale du réseau d'alimentation et la tension assignée de tenue aux chocs du matériel	256
Tableau H.1 – Courant admissible et puissance dissipée des câbles de cuivre mono-conducteur avec une température admissible du conducteur de 70 °C (température ambiante à l'intérieur de l'ENSEMBLE: 55 °C)	257
Tableau H.2 – Facteur de réduction k_1 pour les câbles avec une température admissible du conducteur de 70 °C (extrait de la CEI 60364-5-52:2009, Tableau B.52.14)	258
Tableau J.1 – Essais d'immunité CEM pour l'environnement A (voir J.10.12.1)	264
Tableau J.2 – Essais d'immunité CEM pour l'environnement B (voir J.10.12.1)	265
Tableau J.3 – Critères d'acceptation en présence de perturbations électromagnétiques	266
Tableau K.1 – Temps de coupure maximal pour les schémas TN	269
Tableau L.1 – Distances d'isolement minimales dans l'air	270
Tableau L.2 – Lignes de fuite minimales	270
Tableau M.1 – Limites d'échauffement en Amérique du Nord	271
Tableau N.1 – Courant admissible et puissance dissipée des barres en cuivre nues de section rectangulaire, cheminant horizontalement et disposées avec leur côté le plus grand vertical, fréquence 50 Hz à 60 Hz (température ambiante à l'intérieur de l'ENSEMBLE: 55 °C, température du conducteur 70 °C)	272
Tableau N.2 – Facteur k_4 pour différentes températures de l'air à l'intérieur de l'ENSEMBLE et/ou pour les conducteurs	273

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61439-1 ed.2:2011

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ENSEMBLES D'APPAREILLAGE À BASSE TENSION –

Partie 1: Règles générales

AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale CEI 61439-1 a été établie par le sous-comité 17D: Ensembles d'appareillages à basse tension, du comité d'études 17 de la CEI: Appareillage.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 2009, dont elle constitue une révision technique.

Cette deuxième édition inclut les modifications techniques importantes suivantes par rapport à la dernière édition de la CEI 61439-1:

- révision des conditions de service de l'Article 7;
- de nombreuses modifications apportées aux méthodes de vérification de l'Article 10;
- modification de la vérification individuelle de série concernant les distances d'isolement et les lignes de fuite (voir 11.3);

- adaptation des tableaux de l'Annexe C et de l'Annexe D aux exigences révisées et aux méthodes de vérification;
- révision des exigences CEM de l'Annexe J;
- déplacement des tableaux de l'Annexe H à la nouvelle Annexe N;
- nouvelle Annexe O avec recommandation sur la vérification de l'échauffement;
- nouvelles Annexe P avec une méthode de vérification de la tenue aux courts-circuits (intégration du contenu de la CEI/TR 61117);
- mise à jour des références normatives;
- revue éditoriale générale.

NOTE Il convient de noter que, lorsqu'une référence datée à la CEI 60439-1 apparaît dans une autre partie de la série CEI 60439 de normes d'ensembles qui n'a pas encore été transposée dans la nouvelle série CEI 61439, la norme annulée CEI 60439-1 continue de s'appliquer (voir aussi l'Introduction ci-après).

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
17D/441/FDIS	17D/446/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.

Dans cette norme, les termes figurant en petites capitales sont définis à l'Article 3.

Les commentaires concernant des pratiques nationales différentes («dans certains pays...») sont contenus dans les paragraphes suivants:

5.4
8.2.2
8.3.2
8.3.3
8.4.2.3
8.5.5
8.6.6
8.8
9.2
10.11.5.4
10.11.5.6.1
Annexe L
Annexe M

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

Une liste de toutes les parties de la série CEI 61439, présentées sous le titre général *Ensembles d'appareillage à basse tension*, est disponible sur le site web de la CEI.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de la CEI sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61439-1 ed 2.0 2011

INTRODUCTION

Le but de la présente norme est d'harmoniser autant que la pratique le permet, l'ensemble des règles et des exigences de nature générale qui sont applicables aux ensembles d'appareillage à basse tension (ENSEMBLES) afin d'obtenir l'uniformité des exigences et de la vérification pour les ENSEMBLES et pour éviter toute vérification nécessaire selon d'autres normes. L'ensemble des exigences relatives aux différentes normes applicables aux ENSEMBLES qui peuvent être considérées comme d'ordre général ont ainsi été rassemblées dans la présente norme de base avec des aspects spécifiques dont la portée et l'application sont étendues, par exemple, l'échauffement, les propriétés diélectriques, etc.

Pour chaque type d'ensemble d'appareillage à basse tension, seules deux normes principales sont nécessaires pour déterminer toutes les exigences et toutes les méthodes correspondantes de vérification:

- la présente norme de base désignée sous l'appellation « Partie 1 » dans les normes particulières couvrant les différents types d'ensembles d'appareillage à basse tension;
- la norme particulière applicable à un ENSEMBLE désignée ci-après également sous l'appellation norme d'ENSEMBLE applicable.

Pour qu'une règle générale s'applique à une norme d'ENSEMBLES particulière, il convient que celle-ci soit citée explicitement en indiquant le numéro de l'article ou du paragraphe correspondant dans la présente norme avec la mention « Partie 1 » par exemple, « 9.1.3 de la Partie 1 ».

Une norme d'ENSEMBLE particulière peut ne pas exiger et donc ne pas renvoyer à une règle générale lorsque cette règle n'est pas applicable ou elle peut ajouter des exigences si la règle générale est considérée comme inappropriée dans le cas particulier traité, mais elle ne peut pas introduire de divergences sauf si une justification technique importante est donnée dans la norme d'ENSEMBLE particulière.

Lorsque dans la présente norme des références de mise en correspondance sont faites à un autre article, la référence doit s'appliquer à l'article considéré tel que modifié par la norme d'ENSEMBLES particulière, le cas échéant.

Les exigences de la présente norme qui sont sujettes à un accord entre le constructeur d'ENSEMBLES et l'utilisateur sont rassemblées à l'Annexe C (informative). Cette liste facilite également la fourniture des informations sur les conditions de base et les spécifications supplémentaires de l'utilisateur afin de permettre la conception, la mise en œuvre et l'utilisation correctes de l'ENSEMBLE.

Pour la nouvelle série restructurée CEI 61439, les parties suivantes sont prévues:

- a) CEI 61439-1: Règles générales
- b) CEI 61439-2: ENSEMBLES d'appareillage de puissance (ENSEMBLES EAP)
- c) CEI 61439-3: Tableaux de répartition (en remplacement de la CEI 60439-3)
- d) CEI 61439-4: ENSEMBLES de chantiers (en remplacement de la CEI 60439-4)
- e) CEI 61439-5: ENSEMBLES pour la distribution d'énergie électrique (en remplacement de la CEI 60439-5)
- f) CEI 61439-6: Canalisations préfabriquées (en remplacement de la CEI 60439-2)
- g) IEC/TR 61439-0: Guidance to specifying ASSEMBLIES (disponible en anglais uniquement)

Cette liste n'est pas exhaustive; des parties supplémentaires peuvent être élaborées en fonction des besoins.

ENSEMBLES D'APPAREILLAGE À BASSE TENSION –

Partie 1: Règles générales

1 Domaine d'application

NOTE 1 Dans la présente norme, le terme ENSEMBLE (voir 3.1.1) est utilisé pour désigner un ensemble d'appareillage à basse tension.

La présente partie de la série CEI 61439 formule les définitions et indique les conditions d'emploi, les exigences de construction, les caractéristiques techniques et les exigences de vérification pour les ensembles d'appareillage à basse tension.

La présente norme ne peut pas être utilisée de manière isolée pour spécifier un ENSEMBLE ou dans le but d'établir la conformité. Les ENSEMBLES doivent être conformes à la partie applicable de la série CEI 61439, à partir de la Partie 2.

La présente norme s'applique, uniquement lorsque la norme d'ENSEMBLES applicable l'exige, aux ensembles d'appareillage à basse tension (ENSEMBLES) tels que décrits ci-après:

- ENSEMBLES dont la tension assignée ne dépasse pas 1 000 V en courant alternatif ou 1 500 V en courant continu;
- ENSEMBLES fixes ou mobiles avec ou sans enveloppe;
- ENSEMBLES destinés à être utilisés avec des équipements conçus pour la production, le transport, la distribution et la conversion de l'énergie électrique et la commande des matériels consommant de l'énergie électrique;
- ENSEMBLES conçus pour être utilisés dans des conditions spéciales d'emploi, par exemple, à bord de navires et de véhicules ferroviaires, sous réserve que les autres exigences spécifiques correspondantes soient respectées;

NOTE 2 Les exigences supplémentaires relatives aux ENSEMBLES à bord de navires sont couvertes par la CEI 60092-302.

- ENSEMBLES conçus pour l'équipement électrique des machines sous réserve que les autres exigences spécifiques correspondantes soient respectées.

NOTE 3 Les exigences supplémentaires relatives aux ENSEMBLES faisant partie intégrante d'une machine sont couvertes par la série CEI 60204.

La présente norme s'applique à tous les ENSEMBLES qu'ils soient conçus, fabriqués et vérifiés à l'unité ou qu'ils constituent un modèle type et soient fabriqués en quantité.

La fabrication et/ou l'assemblage peut être réalisé(e) par un tiers qui n'est pas le constructeur d'origine (voir 3.10.1).

La présente norme ne s'applique pas aux appareils considérés individuellement et aux composants indépendants, tels que démarreurs de moteurs, fusibles-interrupteurs, matériels électroniques, etc. qui sont conformes aux normes de produit les concernant.

2 Références normatives

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

CEI 60068-2-2:2007, *Essais fondamentaux climatiques et de robustesse mécanique – Partie 2-2: Essais – Essai B: Chaleur sèche*

CEI 60068-2-11:1981, *Essais d'environnement – Partie 2-11: Essais – Essai Ka: Brouillard salin*

CEI 60068-2-30:2005, *Essais d'environnement – Partie 2-30: Essais – Essai Db: Essai cyclique de chaleur humide (cycle de 12 h + 12 h)*

CEI 60073:2002, *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*

CEI 60085:2007, *Isolation électrique – Evaluation et désignation thermiques*

CEI 60216 (toutes les parties), *Matériaux isolants électriques – Propriétés d'endurance thermique*

CEI 60227-3:1993, *Conducteurs et câbles isolés au polychlorure de vinyle, de tension nominale au plus égale à 450/750 V – Partie 3: Conducteurs pour installations fixes*

CEI 60245-3:1994, *Conducteurs et câbles isolés au caoutchouc – Tension assignée au plus égale à 450/750 V – Partie 3: Conducteurs isolés au silicone, résistant à la chaleur*

CEI 60245-4:1994, *Conducteurs et câbles isolés au caoutchouc – Tension assignée au plus égale à 450/750 V – Partie 4: Câbles souples*

CEI 60364 (toutes les parties), *Installations électriques à basse tension*

CEI 60364-4-41:2005, *Installations électriques à basse tension – Partie 4-41: Protection pour assurer la sécurité – Protection contre les chocs électriques*

CEI 60364-4-44:2007, *Installations électriques à basse tension – Partie 4-44: Protection pour assurer la sécurité – Protection contre les perturbations de tension et les perturbations électromagnétiques*

CEI 60364-5-52:2009, *Installations électriques à basse tension – Partie 5-52: Choix et mise en œuvre des matériels électriques – Canalisations*

CEI 60364-5-53:2001, *Installations électriques des bâtiments – Partie 5-53: Choix et mise en œuvre des matériels électriques – Sectionnement, coupure et commande*

CEI 60364-5-54:2011, *Installations électriques basse-tension – Partie 5-54: Choix et mise en œuvre des matériels électriques – Installations de mise à la terre et conducteurs de protection*

CEI 60439 (toutes les parties), *Ensembles d'appareillage à basse tension*

CEI 60445:2010, *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*

CEI 60447:2004, *Principes fondamentaux et de sécurité pour l'interface homme-machine, le marquage et l'identification – Principes de manœuvre*

CEI 60529:1989, *Degrés de protection procurés par les enveloppes (Code IP)*¹

CEI 60664-1:2007, *Coordination de l'isolement des matériels dans les systèmes (réseaux) à basse tension – Partie 1: Principes, exigences et essais*

CEI 60695-2-10:2000, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 2-10: Essais au fil incandescent/chauffant – Appareillage et méthode commune d'essai*

CEI 60695-2-11:2000, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 2-11: Essais au fil incandescent/chauffant – Méthode d'essai d'inflammabilité pour produits finis*

CEI 60695-11-5:2004, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 11-5: Flammes d'essai – Méthode d'essai au brûleur-aiguille – Appareillage, dispositif d'essai de vérification et lignes directrices*

CEI 60865-1:1993, *Courants de court-circuit – Calcul des effets – Partie 1: Définitions et méthodes de calcul*

CEI 60890:1987, *Méthode de détermination par extrapolation des échauffements pour les ensembles d'appareillage à basse tension dérivés de série (EDS)*

CEI 60947-1:2007, *Appareillage à basse tension – Partie 1: Règles générales*

CEI 61000-4-2:2008, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-2: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité aux décharges électrostatiques*

CEI 61000-4-3:2006, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-3: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité aux champs électromagnétiques rayonnés aux fréquences radioélectriques*²

CEI 61000-4-4:2004, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-4: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité aux transitoires électriques rapides en salves*

CEI 61000-4-5:2005, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-5: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité aux ondes de choc*

CEI 61000-4-6:2008, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-6: Techniques d'essai et de mesure – Immunité aux perturbations conduites, induites par les champs radioélectriques*

CEI 61000-4-8:2009, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-8: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité au champ magnétique à la fréquence du réseau*

CEI 61000-4-11:2004, *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*

CEI 61000-4-13:2002, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-13: Techniques d'essai et de mesure – Essais d'immunité basse fréquence aux harmoniques et inter-harmoniques incluant les signaux transmis sur le réseau électrique alternatif*³

¹ Il existe une édition 1.1 consolidée (2001) qui comprend la CEI 60529 (1989) et son amendement 1 (1999).

² Il existe une édition 3.2 consolidée (2010) qui comprend la CEI 61000-4-3 (2006) et l'amendement 1 (2007) et l'amendement 2 (2010).

³ Il existe une édition 1.1 consolidée (2009) qui comprend la CEI 61000-4-13 (2002) et son amendement 1 (2009).

CEI 61000-6-4:2006, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 6-4: Normes génériques – Norme sur l'émission pour les environnements industriels*⁴

CEI 61082-1, *Etablissement des documents utilisés en électrotechnique – Partie 1 : Règles*

CEI 61180 (toutes les parties), *Techniques des essais à haute tension pour matériels à basse tension*

CEI/TS 61201:2007, *Utilisation des tensions limites conventionnelles de contact – Guide d'application*

CEI 61439 (toutes les parties), *Ensembles d'appareillage à basse tension*

CEI 62208, *Enveloppes vides destinées aux ensembles d'appareillage à basse tension – Règles générales*

CEI 62262:2002, *Degrés de protection procurés par les enveloppes de matériels électriques contre les impacts mécaniques externes (code IK)*

CEI 81346-1, *Systèmes industriels, installations et appareils, et produits industriels – Principes de structuration et désignations de référence – Partie 1: Règles de base*

CEI 81346-2, *Systèmes industriels, installations et appareils, et produits industriels – Principes de structuration et désignations de référence – Partie 2: Classification des objets et codes pour les classes*

CISPR 11:2009, *Appareils industriels, scientifiques et médicaux – Caractéristiques de perturbations radioélectriques – Limites et méthodes de mesure*⁵

CISPR 22, *Appareils de traitement de l'information – Caractéristiques des perturbations radioélectriques – Limites et méthodes de mesure*

ISO 178:2001, *Plastiques – Détermination des propriétés de flexion*

ISO 179 (toutes les parties), *Plastiques – Détermination de la résistance au choc Charpy*

ISO 2409:2007, *Peintures et vernis – Essai de quadrillage*

ISO 4628-3:2003, *Peintures et vernis – Evaluation de la dégradation des revêtements – Désignation de la quantité et de la dimension des défauts, et de l'intensité des changements uniformes d'aspect – Partie 3: Evaluation du degré d'enrouillement*

ISO 4892-2:2006, *Plastiques – Méthodes d'exposition à des sources lumineuses de laboratoire – Partie 2: Lampes à arc au xénon*

⁴ Il existe une édition 2.1 consolidée (2011) qui comprend la CEI 61000-6-4 (2006) et son amendement 1 (2010).

⁵ Il existe une édition 5.1 consolidée (2010) qui comprend la CISPR 11 (2009) et son amendement 1 (2010).

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

3.1 Termes généraux

3.1.1

ensemble d'appareillage à basse tension

ENSEMBLE

combinaison d'un ou de plusieurs appareils de connexion à basse tension avec les matériels associés de commande, de mesure, de signalisation, de protection, de régulation, avec toutes leurs liaisons internes mécaniques et électriques et tous leurs éléments de structures

3.1.2

système d'ENSEMBLE

gamme complète de composants électriques et mécaniques (enveloppes, jeux de barres, unités fonctionnelles, etc.), tels que définis par le constructeur d'origine et pouvant être assemblés selon les instructions du constructeur d'origine en vue de la fabrication de différents ENSEMBLES

3.1.3

circuit principal (d'un ENSEMBLE)

toutes les pièces conductrices d'un ENSEMBLE qui font partie d'un circuit destiné à transporter l'énergie électrique

[CEI 60050-441:1984, 441-13-02]

3.1.4

circuit auxiliaire (d'un ENSEMBLE)

toutes les pièces conductrices d'un ENSEMBLE insérées dans un circuit, autre que le circuit principal, destinées à la commande, la mesure, la signalisation, la régulation et au traitement de données, etc.

NOTE Les circuits auxiliaires d'un ENSEMBLE comprennent les circuits de commande et les circuits auxiliaires des appareils de connexion.

[CEI 60050-441:1984, 441-13-03, modifiée]

3.1.5

jeu de barres

conducteur de faible impédance auquel plusieurs circuits électriques peuvent être raccordés séparément

NOTE Le terme « jeu de barres » ne préjuge pas de la forme géométrique, de la taille ou des dimensions du conducteur.

3.1.6

jeu de barres principal

jeu de barres auquel un ou plusieurs jeux de barres de distribution et/ou des unités d'arrivée et de départ peuvent être raccordés

3.1.7

jeu de barres de distribution

jeu de barres à l'intérieur d'une colonne qui est raccordé à un jeu de barres principal et à partir duquel des unités de départ sont alimentées

NOTE Des conducteurs reliant une unité fonctionnelle et un jeu de barres ne sont pas considérés comme partie intégrante des jeux de barres de distribution.

3.1.8**unité fonctionnelle**

partie d'un ENSEMBLE comprenant tous les éléments mécaniques et électriques, y compris les appareils de connexion, qui concourent à l'exécution d'une seule fonction

NOTE Des conducteurs reliés à une unité fonctionnelle mais extérieurs à son compartiment ou espace protégé clos (par exemple, câbles auxiliaires reliés à un compartiment commun) ne sont pas considérés comme faisant partie de l'unité fonctionnelle.

3.1.9**unité d'arrivée**

unité fonctionnelle à travers laquelle l'énergie électrique est normalement fournie à l'ENSEMBLE

3.1.10**unité de départ**

unité fonctionnelle à travers laquelle l'énergie électrique est normalement fournie à un ou plusieurs circuits externes

3.1.11**dispositif de protection contre les courts-circuits****DPCC**

dispositif destiné à protéger un circuit ou des parties d'un circuit contre les courants de court-circuit par l'interruption de ceux-ci

[2.2.21 de la CEI 60947-1:2007]

3.2 Unités de construction des ENSEMBLES**3.2.1****partie fixe**

partie constituée d'éléments assemblés et câblés entre eux sur un support commun et qui est conçue pour rester fixe

3.2.2**partie amovible**

partie constituée d'éléments assemblés et câblés entre eux sur un support commun et qui est conçue pour être entièrement retirée de l'ENSEMBLE et remise en place même lorsque le circuit auquel elle est raccordée est sous tension

3.2.3**position raccordée**

position d'une partie amovible lorsque celle-ci est entièrement raccordée pour la fonction à laquelle elle est destinée

3.2.4**position retirée**

position d'une partie amovible lorsque celle-ci se trouve à l'extérieur de l'ENSEMBLE et en est séparée mécaniquement et électriquement

3.2.5**verrouillage d'insertion**

dispositif empêchant l'introduction d'une partie amovible dans un emplacement pour lequel elle n'est pas conçue

3.2.6**connexion fixe**

connexion qui est connectée ou déconnectée au moyen d'un outil

3.2.7

colonne

unité de construction d'un ENSEMBLE entre deux séparations verticales successives

3.2.8

élément de colonne

unité de construction d'un ENSEMBLE entre deux séparations horizontales ou verticales successives à l'intérieur d'une colonne

3.2.9

compartiment

colonne ou élément de colonne sous enveloppe à l'exception des ouvertures nécessaires aux raccordements, à la commande ou à la ventilation

3.2.10

unité de transport

partie d'un ENSEMBLE ou ENSEMBLE complet pouvant être transporté sans être démonté

3.2.11

volet

partie qui peut être déplacée entre:

- une position dans laquelle elle permet l'embrochage des contacts d'une partie amovible sur des contacts fixes, et
- une position dans laquelle elle constitue une partie d'un panneau ou d'une cloison protégeant les contacts fixes

[CEI 60050-441:1984, 441-13-07, modifiée]

3.3 Présentation extérieure des ENSEMBLES

3.3.1

ENSEMBLE ouvert

ENSEMBLE constitué d'un châssis qui supporte le matériel électrique, les parties actives du matériel électrique étant accessibles

3.3.2

ENSEMBLE ouvert à protection frontale

ENSEMBLE ouvert avec un panneau avant; les parties actives pouvant être accessibles à partir des autres faces que la face avant

3.3.3

ENSEMBLE sous enveloppe

ENSEMBLE comportant une paroi sur toutes les faces, sauf éventuellement sur la surface de montage, de façon à assurer un degré de protection défini

3.3.4

ENSEMBLE en armoire

ENSEMBLE sous enveloppe reposant sur le sol, pouvant comprendre plusieurs colonnes, éléments de colonnes ou compartiments

3.3.5

ENSEMBLE en armoires multiples

combinaison d'ENSEMBLES en armoires mécaniquement assujettis

3.3.6

ENSEMBLE en pupitre

ENSEMBLE sous enveloppe présentant un pupitre de commande horizontal ou incliné, ou une combinaison des deux et équipé d'appareils de commande, de mesure, de signalisation, etc.

3.3.7**ENSEMBLE en coffret**

ENSEMBLE sous enveloppe, prévu pour être monté sur un plan vertical

3.3.8**ENSEMBLE en coffrets multiples**

combinaison d'ENSEMBLES en coffrets reliés mécaniquement entre eux, avec ou sans charpente commune, les liaisons électriques entre deux coffrets voisins passant par des ouvertures aménagées sur les faces qui leur sont communes

3.3.9**ENSEMBLE pour fixation en saillie sur mur**

ENSEMBLE destiné à être fixé sur la surface d'un mur

3.3.10**ENSEMBLE à encastrer dans un mur**

ENSEMBLE destiné à être installé dans un renforcement de mur, l'enveloppe ne supportant pas la partie de mur située au-dessus

3.4 Éléments de structure des ENSEMBLES**3.4.1****châssis**

structure faisant partie d'un ENSEMBLE et prévue pour supporter divers constituants de l'ENSEMBLE et, le cas échéant, une enveloppe

3.4.2**charpente**

structure ne faisant pas partie d'un ENSEMBLE, prévue pour supporter un ENSEMBLE

3.4.3**plaque de montage**

support plan prévu pour supporter divers constituants et pouvant être installé dans un ENSEMBLE

3.4.4**cadre**

structure prévue pour supporter divers constituants et pouvant être installée dans un ENSEMBLE

3.4.5**enveloppe**

enceinte assurant le type et le degré de protection approprié pour l'application prévue

[CEI 60050-195:1998, 195-02-35]

3.4.6**panneau**

partie extérieure de l'enveloppe d'un ENSEMBLE

3.4.7**porte**

panneau pivotant ou glissant

3.4.8**panneau amovible**

panneau destiné à fermer une ouverture dans l'enveloppe extérieure et qui peut être enlevé pour effectuer certaines opérations d'exploitation et de maintenance

3.4.9

plaque de fermeture

partie d'un ENSEMBLE utilisée pour fermer une ouverture dans l'enveloppe extérieure et conçue pour être fixée par vis ou moyens semblables

NOTE 1 Elle n'est pas normalement enlevée après la mise en service de l'équipement.

NOTE 2 La plaque de fermeture peut être munie d'entrées de câble.

3.4.10

cloison

partie de l'enveloppe d'un compartiment le séparant des autres compartiments

3.4.11

barrière

partie assurant la protection contre les contacts directs dans toute direction habituelle d'accès

[CEI 60050-195:1998, 195-06-15, modifiée]

3.4.12

obstacle

élément empêchant un contact direct fortuit mais ne s'opposant pas à un contact direct par une action délibérée

[CEI 60050-195:1998, 195-06-16, modifiée]

NOTE Les obstacles sont destinés à empêcher tout contact fortuit avec les parties actives mais pas un contact fortuit par contournement délibéré de l'obstacle. Ils sont destinés à protéger les personnes qualifiées ou averties mais pas les personnes ordinaires.

3.4.13

cache-bornes

partie renfermant des bornes et procurant un degré de protection défini contre l'accès aux parties actives par des personnes ou des objets

3.4.14

entrée de câbles

partie comportant des ouvertures permettant le passage de câbles à l'intérieur de l'ENSEMBLE

3.4.15

espace protégé clos

partie d'un ENSEMBLE destinée à enfermer des composants électriques et procurant une protection définie contre les influences externes et les contacts avec les parties actives

3.5 Conditions d'installation des ENSEMBLES

3.5.1

ENSEMBLE pour installation à l'intérieur

ENSEMBLE destiné à être utilisé dans des locaux où les conditions normales d'emploi pour l'intérieur, spécifiées en 7.1, sont satisfaites

3.5.2

ENSEMBLE pour installation à l'extérieur

ENSEMBLE destiné à être utilisé dans des locaux où les conditions normales d'emploi pour l'extérieur, spécifiées en 7.1, sont satisfaites

3.5.3

ENSEMBLE fixe

ENSEMBLE destiné à être fixé à son emplacement d'installation, par exemple au sol ou sur un mur, et à être utilisé à cet emplacement

3.5.4

ENSEMBLE mobile

ENSEMBLE prévu pour pouvoir être facilement déplacé d'un emplacement d'utilisation à un autre

3.6 Caractéristiques d'isolement

3.6.1

distance d'isolement

distance entre deux parties conductrices le long d'un fil tendu suivant le plus court trajet possible entre ces deux parties conductrices

[CEI 60050-441:1984, 441-17-31]

3.6.2

ligne de fuite

distance la plus courte, le long de la surface d'un isolant solide, entre deux parties conductrices

[CEI 60050-151:2001, 151-15-50]

NOTE Un joint entre deux portions d'isolant est considéré comme faisant partie de la surface.

3.6.3

surtension

toute tension ayant une valeur de crête dépassant la valeur de crête correspondante de la tension maximale en régime permanent dans les conditions normales de fonctionnement

[définition 3.7 de la CEI 60664-1:2007]

3.6.4

surtension temporaire

surtension à fréquence industrielle de durée relativement longue (plusieurs secondes)

[définition 3.7.1 de la CEI 60664-1:2007, modifiée]

3.6.5

surtension transitoire

surtension de courte durée, ne dépassant pas quelques millisecondes, oscillatoire ou non, généralement fortement amortie

[CEI 60050-604:1987, 604-03-13]

3.6.6

tension de tenue à fréquence industrielle

valeur efficace d'une tension sinusoïdale à fréquence industrielle qui ne provoque pas de claquage dans des conditions d'essai spécifiées

[définition 2.5.56 de la CEI 60947-1: 2007]

NOTE La tension de tenue à fréquence industrielle est équivalente à la surtension temporaire de courte durée définie dans la CEI 60664-1.

3.6.7

tension de tenue aux chocs

valeur de crête la plus élevée d'une tension de choc, de forme et de polarité prescrites, qui ne provoque pas de claquage dans des conditions d'essai spécifiées

[définition 3.8.1 de la CEI 60664-1: 2007]

3.6.8

pollution

tout apport de matériau étranger solide, liquide ou gazeux, qui peut entraîner une réduction de la rigidité diélectrique ou de la résistivité superficielle de l'isolation

[définition 3.11 de la CEI 60664-1: 2007, modifiée]

3.6.9

degré de pollution (des conditions d'environnement)

nombre conventionnel, basé sur la quantité de poussières conductrices ou hygroscopiques, de gaz ionisés ou de sels et sur l'humidité relative et sa fréquence d'apparition se traduisant par l'absorption ou la condensation d'humidité, ayant pour effet de diminuer la rigidité diélectrique et/ou la résistivité superficielle

NOTE 1 Le degré de pollution auquel les matériaux isolants des dispositifs et des composants sont exposés peut être différent de celui du macro-environnement dans lequel sont situés les appareils et les composants, en raison de la protection assurée par des moyens tels qu'une enveloppe ou un chauffage interne empêchant l'absorption ou la condensation d'humidité.

NOTE 2 Dans le cadre de la présente norme, le degré de pollution est celui du micro-environnement.

[définition 2.5.58 de la CEI 60947-1: 2007]

3.6.10

micro-environnement (d'une distance d'isolement ou d'une ligne de fuite)

environnement immédiat de l'isolation qui a une influence particulière sur le dimensionnement des lignes de fuite

NOTE Le micro-environnement des lignes de fuite ou des distances d'isolement et non l'environnement de l'ENSEMBLE ou des constituants détermine l'effet sur l'isolation. Le micro-environnement peut être meilleur ou pire que l'environnement de l'ENSEMBLE ou des constituants.

[définition 3.12.2 de la CEI 60664-1:2007, modifiée]

3.6.11

catégorie de surtension (d'un circuit ou dans un réseau)

nombre conventionnel, basé sur la limitation (ou la commande) des valeurs de surtensions transitoires présumées apparaissant dans un circuit (ou dans un réseau où existent des sections de tensions nominales différentes) et dépendant des moyens employés pour agir sur ces surtensions

NOTE Dans un réseau, le passage d'une catégorie de surtension à une autre catégorie inférieure est réalisé à l'aide de moyens appropriés répondant aux exigences d'interface, tels qu'un dispositif de protection contre les surtensions ou des impédances disposées en série capables de dissiper, d'absorber ou de détourner l'énergie du courant de surcharge correspondant, afin d'abaisser la valeur des surtensions transitoires à celle qui correspond à la catégorie de surtension inférieure recherchée.

[définition 2.5.60 de la CEI 60947-1: 2007]

3.6.12

parafoudre

SPD⁶

appareil destiné à protéger le matériel électrique contre les surtensions transitoires élevées et à limiter la durée et souvent l'amplitude du courant de suite

[définition 2.2.22 de la CEI 60947-1: 2007]

3.6.13

coordination de l'isolement

correspondance des caractéristiques d'isolement du matériel électrique, d'une part avec les surtensions attendues et avec les caractéristiques des dispositifs de protection contre les

⁶ SPD = Surge Protective Device.

surtensions et, d'autre part, avec le micro-environnement attendu et les moyens de protection contre la pollution

[définition 2.5.61 de la CEI 60947-1: 2007, modifiée]

3.6.14

champ non homogène (non uniforme)

champ électrique dont le gradient de tension entre électrodes n'est pas essentiellement constant

[définition 2.5.63 de la CEI 60947-1: 2007]

3.6.15

cheminement

formation progressive de trajets conducteurs produits à la surface d'un isolant solide sous l'effet combiné des contraintes électriques et de la contamination électrolytique de cette surface

[définition 2.5.64 de la CEI 60947-1: 2007]

3.6.16

indice de résistance au cheminement

IRC

valeur numérique de la tension maximale, exprimée en volts, pour laquelle un matériau supporte sans cheminement le dépôt de 50 gouttes d'une solution d'essai

NOTE Il convient que la valeur de chaque tension d'essai et de l'indice de résistance au cheminement soit divisible par 25.

[définition 2.5.65 de la CEI 60947-1: 2007, modifiée]

3.6.17

décharge disruptive

phénomènes associés à la défaillance de l'isolation sous l'action d'une contrainte électrique et dans lesquels la décharge court-circuite complètement l'isolation en essai, réduisant la tension entre électrodes à une valeur nulle ou presque nulle

NOTE 1 Une décharge disruptive dans un diélectrique solide produit une perte permanente de rigidité diélectrique; dans un diélectrique liquide ou gazeux, cette perte peut n'être que momentanée.

NOTE 2 Le terme « décharge » est utilisé lorsqu'une décharge disruptive se produit dans un diélectrique liquide ou gazeux.

NOTE 3 Le terme « amorçage » est utilisé lorsqu'une décharge disruptive se produit à la surface d'un diélectrique dans un milieu gazeux ou liquide.

NOTE 4 Le terme « perforation » est utilisé lorsqu'une décharge disruptive se produit à travers un diélectrique solide.

3.7 Protection contre les chocs électriques

3.7.1

partie active

conducteur ou partie conductrice destiné à être sous tension en service normal, y compris le conducteur de neutre, mais par convention, excepté le conducteur PEN

NOTE Ce terme n'implique pas nécessairement un risque de choc électrique.

[CEI 60050-195:1998, 195-02-19, modified]

3.7.2

partie active dangereuse

partie active qui peut provoquer, dans certaines conditions, un choc électrique nuisible

[CEI 60050-195:1998, 195-06-05]

3.7.3

partie conductrice accessible, masse (dans une installation électrique)

partie conductrice d'un ENSEMBLE, susceptible d'être touchée et qui n'est pas normalement sous tension, mais qui peut devenir une partie active dangereuse en cas de défaut

[CEI 60050-826:2004, 826-12-10, modifiée]

3.7.4

conducteur de protection

(identification: PE)

conducteur prévu à des fins de sécurité, par exemple protection contre les chocs électriques

[CEI 60050-826:2004, 826-13-22]

NOTE Par exemple, un conducteur de protection peut raccorder électriquement les parties suivantes:

- masses;
- éléments conducteurs étrangers à l'installation;
- borne principale de terre;
- prise de terre;
- point de l'alimentation relié à la terre ou point neutre artificiel.

3.7.5

conducteur (de) neutre

N

conducteur relié électriquement au point neutre et pouvant contribuer à la distribution de l'énergie électrique

[CEI 60050-195:1998, 195-02-06, modifiée]

3.7.6

conducteur PEN

conducteur assurant à la fois les fonctions de conducteur de mise à la terre de protection et de conducteur neutre

[CEI 60050-195:1998, 195-02-12]

3.7.7

courant de défaut

courant résultant d'un défaut de l'isolation, du contournement de l'isolation ou d'un raccordement incorrect dans un circuit électrique

3.7.8

protection principale

protection contre les chocs électriques en l'absence de défaut

[CEI 60050-195:1998, 195-06-01]

NOTE La protection principale est destinée à empêcher tout contact avec les parties actives et elle correspond généralement à la protection contre les contacts directs.

3.7.9

isolation principale

isolation des parties actives dangereuses qui assure la protection principale

[CEI 60050-195:1998, 195-06-06]

NOTE Cette notion n'est pas applicable à l'isolation exclusivement utilisée à des fins fonctionnelles.

3.7.10**protection en cas de défaut**

protection contre les chocs électriques en condition de premier défaut (par exemple, en cas de défaillance de l'isolation principale)

[CEI 60050-195:1998, 195-06-02, modifiée]

NOTE La protection en cas de défaut correspond généralement à la protection contre les contacts indirects, essentiellement en cas de défaillance de l'isolation principale.

3.7.11**très basse tension****TBT**

toute tension ne dépassant pas la limite de tension correspondante spécifiée dans la CEI 61201

3.7.12**personne qualifiée**

personne ayant la formation et l'expérience appropriées pour lui permettre de percevoir les risques et d'éviter les dangers que peut présenter l'électricité

[CEI 60050-826:2004, 826-18-01]

3.7.13**personne avertie**

personne suffisamment informée ou surveillée par des personnes qualifiées en électricité pour lui permettre de percevoir les risques et d'éviter les dangers que peut présenter l'électricité

[CEI 60050-826:2004, 826-18-02]

3.7.14**personne ordinaire**

personne qui n'est ni une personne qualifiée ni une personne avertie

[CEI 60050-826:2004, 826-18-03]

3.7.15**personne autorisée**

personne qualifiée ou avertie qui a reçu l'autorisation de réaliser des travaux définis

3.8 Caractéristiques**3.8.1****valeur nominale****valeur de dénomination**

valeur d'une grandeur, utilisée pour dénommer et identifier un composant, un dispositif, un matériel ou un système

NOTE La valeur nominale est généralement une valeur arrondie.

[CEI 60050-151:2001, 151-16-09]

3.8.2**valeur limite**

dans une spécification d'un composant, dispositif, matériel ou système, la plus grande ou la plus petite valeur admissible d'une grandeur

[CEI 60050-151:2001, 151-16-10: 2001]

3.8.3

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

[CEI 60050-151:2001, 151-16-08]

3.8.4

caractéristiques assignées

ensemble des valeurs assignées et des conditions d'exploitation

[CEI 60050-151:2001, 151-16-11]

3.8.5

tension nominale (d'un réseau électrique)

valeur arrondie de la tension utilisée pour dénommer ou identifier un réseau électrique

[CEI 60050-601:1985, 601-01-21, modifiée]

3.8.6

courant de court-circuit

I_c

surintensité résultant d'un court-circuit dû à un défaut ou à un branchement incorrect dans un circuit électrique

[CEI 60050-441:1984, 441-11-07]

3.8.7

courant de court-circuit présumé

I_{cp}

valeur efficace du courant qui circule lorsque les conducteurs d'alimentation du circuit sont court-circuités par un conducteur d'impédance négligeable placé aussi près que la pratique le permet des bornes d'alimentation de l'ENSEMBLE (voir 10.11.5.4)

3.8.8

courant coupé limité

valeur instantanée maximale du courant atteinte au cours de la coupure effectuée par un appareil de connexion ou un fusible

NOTE Cette notion est d'une importance particulière si l'appareil de connexion ou le fusible fonctionne de telle manière que la valeur de crête du courant présumé du circuit n'est pas atteinte.

[CEI 60050-441:1984, 441-17-12]

3.8.9

caractéristiques assignées de tension

3.8.9.1

tension assignée

U_n

tension nominale la plus élevée du réseau électrique, à courant alternatif (efficace) ou à courant continu, déclarée par le constructeur de l'ENSEMBLE, auquel le(s) circuit(s) principal(aux) de l'ENSEMBLE est prévu pour être relié

NOTE 1 Pour les circuits polyphasés, il s'agit de la tension entre phases.

NOTE 2 Les transitoires sont ignorées.

NOTE 3 La valeur de la tension d'alimentation peut dépasser la tension assignée dans les limites des tolérances admissibles du réseau.

3.8.9.2**tension assignée d'emploi** (d'un circuit d'un ENSEMBLE) U_e

valeur de tension déclarée par le constructeur d'ENSEMBLES qui, combinée au courant assigné détermine son utilisation

NOTE Pour les circuits polyphasés, il s'agit de la tension entre phases.

3.8.9.3**tension assignée d'isolement** U_i

valeur efficace de tension de tenue fixée par le constructeur d'ENSEMBLES aux matériels ou à une partie d'entre eux, caractérisant la capacité de tenue spécifiée (à long terme) de son isolation

[définition 3.9.1 de la CEI 60664-1: 2007, modifiée]

NOTE 1 Pour les circuits polyphasés, il s'agit de la tension entre phases.

NOTE 2 La tension assignée d'isolement n'est pas nécessairement égale à la tension d'emploi assignée des matériels qui est principalement liée aux caractéristiques fonctionnelles.

3.8.9.4**tension assignée de tenue aux chocs** U_{imp}

valeur de tension de tenue aux chocs fixée par le constructeur d'ENSEMBLES caractérisant la capacité de tenue spécifiée de l'isolation contre des surtensions transitoires

[définition 3.9.2 de la CEI 60664-1: 2007, modifiée]

3.8.10**caractéristiques assignées de courant****3.8.10.1****courant assigné**

valeur du courant, déclarée par le constructeur d'ENSEMBLES, qu'un circuit peut conduire sans que l'échauffement des différentes parties de l'ENSEMBLE ne dépasse les limites spécifiées dans des conditions données

NOTE Pour le courant assigné de l'ENSEMBLE (I_{nA}) voir 5.3.1, et pour le courant assigné d'un circuit (I_{nC}) voir 5.3.2.

3.8.10.2**courant assigné de crête admissible** I_{pk}

valeur de crête du courant de court-circuit déclarée par le constructeur d'ENSEMBLES à laquelle le circuit peut résister dans des conditions spécifiées

3.8.10.3**courant assigné de courte durée admissible** I_{cw}

valeur efficace du courant de courte durée, déclarée par le constructeur d'ENSEMBLES, à laquelle le circuit peut résister dans des conditions spécifiées, définies en termes de courant et de durée

3.8.10.4**courant assigné de court-circuit conditionnel** I_{cc}

valeur du courant de court-circuit présumé, déclarée par le constructeur d'ENSEMBLES à laquelle un circuit protégé par un dispositif de protection contre les courts-circuits (DPCC)

peut résister pendant la durée totale de fonctionnement (temps de coupure) de ce dispositif dans des conditions spécifiées

NOTE Le dispositif de protection contre les courts-circuits peut soit former une partie intégrante de l'ENSEMBLE, soit être une unité séparée.

3.8.11

facteur de diversité assigné

RDF⁷

proportion de la valeur du courant assigné, fixée par le constructeur d'ENSEMBLES, à laquelle les circuits de départ d'un ENSEMBLE peuvent être chargés de manière continue et simultanée en tenant compte des influences thermiques mutuelles

3.8.12

fréquence assignée

f_n

valeur de fréquence déclarée par le constructeur d'ENSEMBLES pour laquelle un circuit est conçu et à laquelle se réfèrent les conditions d'emploi

NOTE On peut attribuer à un circuit un certain nombre ou une plage de fréquences assignées, ou le spécifier à la fois en courant alternatif et en courant continu.

3.8.13

compatibilité électromagnétique

CEM

NOTE Pour les termes et définitions liés à la CEM, voir J.3.8.13.1 à J.3.8.13.5 de l'Annexe J.

3.9 Vérification

3.9.1

vérification de la conception

vérification réalisée sur un échantillon d'un ENSEMBLE ou sur des parties d'ENSEMBLES pour montrer que la conception satisfait aux exigences de la norme d'ENSEMBLES applicable

NOTE La vérification de la conception peut inclure une ou plusieurs méthodes équivalentes, voir 3.9.1.1, 3.9.1.2 et 3.9.1.3.

3.9.1.1

essai de vérification

essai réalisé sur un échantillon d'un ENSEMBLE ou sur des parties d'ENSEMBLES pour vérifier que la conception satisfait aux exigences de la norme d'ENSEMBLES applicable

NOTE Les essais de vérification sont équivalents aux essais de type.

3.9.1.2

comparaison de vérification

comparaison structurée d'une proposition de conception d'un ENSEMBLE, ou de parties d'un ENSEMBLE, avec une conception de référence soumise à essai

3.9.1.3

évaluation de vérification

vérification de conception des règles de conception ou des calculs stricts appliqués à un échantillon d'un ENSEMBLE ou à des parties d'ENSEMBLES pour montrer que la conception satisfait aux exigences de la norme d'ENSEMBLES applicable

3.9.2

vérification individuelle de série

vérification de chaque ENSEMBLE réalisée au cours et/ou à l'issue de la fabrication pour s'assurer qu'il est conforme aux exigences de la norme d'ENSEMBLES applicable

⁷ RDF = Rated Diversity Factor.

3.10 Constructeur/utilisateur

3.10.1

constructeur d'origine

organisme qui a réalisé la conception d'origine et la vérification associée d'un ENSEMBLE conformément à la norme d'ENSEMBLES applicable

3.10.2

constructeur d'ENSEMBLES

organisme prenant la responsabilité de l'ENSEMBLE fini

NOTE Le constructeur d'ENSEMBLES peut être un organisme différent du constructeur d'origine.

3.10.3

utilisateur

partie qui spécifie, achète, utilise et/ou exploite l'ENSEMBLE, ou toute personne agissant en son nom

4 Symboles et abréviations

Liste alphabétique des termes avec leurs symboles et abréviations accompagnés de la référence du paragraphe où ils sont utilisés la première fois:

Symbole/Abréviation	Terme	Paragraphe
IRC	indice de résistance au cheminement	3.6.17
TBT	très basse tension	3.7.11
CEM	compatibilité électromagnétique	3.8.13
f_n	fréquence assignée	3.8.12
I_c	courant de court-circuit	3.8.6
I_{cc}	courant assigné de court-circuit conditionnel	3.8.10.4
I_{cp}	courant de court-circuit présumé	3.8.7
I_{cw}	courant assigné de courte durée admissible	3.8.10.3
I_{nA}	courant assigné de l'ENSEMBLE	5.3.1
I_{nc}	courant assigné d'un circuit	5.3.2
I_{pk}	valeur de crête du courant assigné admissible	3.8.10.2
N	conducteur neutre	3.7.5
PE	conducteur de protection	3.7.4
PEN	conducteur PEN	3.7.6
RDF	facteur de diversité assigné	3.8.11
DPCC	dispositif de protection contre les courts-circuits	3.1.11
SPD ⁸	parafoudre	3.6.12
U_e	tension assignée d'emploi	3.8.9.2
U_i	tension assignée d'isolement	3.8.9.3
U_{imp}	tension assignée de tenue aux chocs	3.8.9.4
U_n	tension assignée	3.8.9.1

⁸ SPD = Surge Protective Device.

5 Caractéristiques d'interface

5.1 Généralités

Les caractéristiques de l'ENSEMBLE doivent assurer la compatibilité avec les caractéristiques assignées des circuits auxquels il est raccordé et avec les conditions d'installation, et elles doivent être spécifiées par le constructeur d'ENSEMBLES en utilisant les critères identifiés de 5.2 à 5.6.

5.2 Caractéristiques assignées de tension

5.2.1 Tension assignée (U_n) (de l'ENSEMBLE)

La tension assignée doit être au moins égale à la tension nominale du réseau électrique.

5.2.2 Tension assignée d'emploi (U_e) (d'un circuit d'un ENSEMBLE)

La tension assignée d'emploi de tout circuit ne doit pas être inférieure à la tension nominale du réseau électrique auquel il est prévu pour être raccordé.

Si elle est différente de la tension assignée de l'ENSEMBLE, la tension assignée d'emploi appropriée du circuit doit être spécifiée.

5.2.3 Tension assignée d'isolement (U_i) (d'un circuit d'un ENSEMBLE)

La tension assignée d'isolement d'un circuit d'un ENSEMBLE est la valeur de tension à laquelle on se réfère pour les tensions d'essais diélectriques et pour les lignes de fuite.

La tension assignée d'isolement d'un circuit doit être supérieure ou égale aux valeurs spécifiées pour U_n et pour U_e pour le même circuit.

NOTE Pour les circuits monophasés provenant des schémas IT (voir CEI 60364-5-52), il convient que la tension assignée d'isolement soit au moins égale à la tension entre les phases de l'alimentation.

5.2.4 Tension assignée de tenue aux chocs (U_{imp}) (de l'ENSEMBLE)

La tension assignée de tenue aux chocs doit être supérieure ou égale aux valeurs spécifiées pour les surtensions transitoires qui apparaissent dans le ou les réseau(x) électrique(s) au(x)quel(s) le circuit est conçu pour être raccordé.

NOTE Les valeurs préférentielles de tension assignée de tenue aux chocs sont celles données au Tableau G.1 de l'Annexe G.

5.3 Caractéristiques assignées de courant

5.3.1 Courant assigné de l'ENSEMBLE (I_{nA})

Le courant assigné de l'ENSEMBLE est le plus faible:

- de la somme des courants assignés des circuits d'arrivée de l'ENSEMBLE fonctionnant en parallèle;
- du courant total que le jeu de barres principal est capable de distribuer dans la configuration particulière de l'ENSEMBLE.

Ce courant doit passer sans que l'échauffement des différentes parties ne dépasse les limites spécifiées en 9.2.

NOTE 1 Le courant assigné d'un circuit d'arrivée peut être inférieur au courant assigné de l'appareil d'entrée (selon la norme d'appareil applicable) installé dans l'ENSEMBLE.

NOTE 2 Dans ce contexte, le jeu de barres principal est un jeu de barres simple ou une combinaison de jeux de barres simples qui sont normalement raccordés en service, par exemple, au moyen d'un dispositif de couplage de barres.

NOTE 3 Le courant assigné de l'ENSEMBLE est le courant de charge maximal que l'ENSEMBLE peut distribuer et qui ne peut pas être dépassé en ajoutant des unités de départ supplémentaires.

5.3.2 Courant assigné d'un circuit (I_{nc})

Le courant assigné d'un circuit est la valeur du courant pouvant être transporté par ce circuit chargé seul dans les conditions normales d'emploi. Ce courant doit passer sans que l'échauffement des différentes parties de l'ENSEMBLE ne dépasse les limites spécifiées en 9.2.

NOTE 1 Le courant assigné d'un circuit peut être inférieur aux courants assignés des appareils (selon la norme d'appareil respective) installés dans ce circuit.

NOTE 2 Etant donné la complexité des facteurs qui déterminent les courants assignés, aucune valeur normalisée ne peut être donnée.

5.3.3 Courant assigné de crête admissible (I_{pk})

Le courant assigné de crête admissible doit être supérieure ou égal à la (aux) valeur(s) de crête spécifiée(s) du courant de court-circuit présumé du ou des réseau(x) d'alimentation au(x)quel(s) le(s) circuit(s) est (sont) conçu(s) pour être raccordé(s) (voir aussi 9.3.3).

5.3.4 Courant assigné de courte durée admissible (I_{cw}) (d'un circuit d'un ENSEMBLE)

Le courant assigné de courte durée admissible doit être supérieur ou égal à la valeur efficace du courant de court-circuit présumé (I_{cp}) à chaque point de raccordement du circuit à l'alimentation, (voir aussi 3.8.10.3).

Différentes valeurs de I_{cw} peuvent être attribuées à un ENSEMBLE pour différentes durées (par exemple, 0,2 s; 1 s; 3 s).

En courant alternatif, la valeur du courant est la valeur efficace de la composante alternative.

5.3.5 Courant assigné de court-circuit conditionnel d'un ENSEMBLE (I_{cc})

Le courant assigné de court-circuit conditionnel doit être supérieur ou égal à la valeur efficace du courant de court-circuit présumé (I_{cp}) pendant une durée limitée par le fonctionnement du dispositif de protection contre les courts-circuits qui protège l'ENSEMBLE.

Le pouvoir de coupure et les caractéristiques de limitation du courant (I^2t , I_{pk}) du dispositif de protection contre les courts-circuits spécifié doivent être indiqués par le constructeur d'ENSEMBLES, compte tenu des données fournies par le constructeur des dispositifs.

5.4 Facteur de diversité assigné (RDF)

Le facteur de diversité assigné est la proportion de la valeur du courant assigné fixée par le constructeur d'ENSEMBLES à laquelle les circuits de départ d'un ENSEMBLE peuvent être chargés de manière continue et simultanée en tenant compte des influences thermiques mutuelles.

Le facteur de diversité assigné peut être spécifié:

- pour des groupes de circuits;
- pour l'ENSEMBLE complet.

Le facteur de diversité assigné multiplié par le courant assigné des circuits doit être égal ou supérieur à la charge présumée des circuits de départ. La charge présumée des circuits de départ doit être traitée par la norme d'ENSEMBLES applicable.

NOTE 1 La charge présumée des circuits de départ peut être un courant constant ou l'équivalent thermique d'un courant variable (voir Annexe E).

Le facteur de diversité assigné est applicable lorsque l'ENSEMBLE fonctionne sous le courant assigné (I_{nA}).

NOTE 2 Le facteur de diversité assigné reconnaît qu'en pratique toutes les unités fonctionnelles ne sont pas complètement chargées simultanément ou qu'elles sont chargées de manière intermittente.

Voir l'Annexe E pour plus de précisions.

NOTE 3 En Norvège, la protection contre les surcharges des conducteurs ne doit pas être uniquement fondée sur l'utilisation de facteurs de diversité des circuits en aval.

5.5 Fréquence assignée (f_n)

La fréquence assignée d'un circuit est la valeur de fréquence à laquelle les conditions d'exploitation font référence. Lorsque les circuits d'un ENSEMBLE sont prévus pour différentes valeurs de fréquence, la fréquence assignée de chaque circuit doit être précisée.

NOTE Il convient que la fréquence soit comprise dans les limites spécifiées dans les normes correspondantes de la CEI relatives aux constituants incorporés. Sauf indication contraire du constructeur d'ENSEMBLES, on admet que les limites sont égales à 98 % et 102 % de la fréquence assignée.

5.6 Autres caractéristiques

Les caractéristiques suivantes doivent être fixées:

- exigences complémentaires en fonction des conditions d'emploi spécifiques d'une unité fonctionnelle (par exemple, type de coordination, caractéristiques de surcharge);
- degré de pollution (voir 3.6.9);
- types de mise à la terre du réseau pour lesquels l'ENSEMBLE est conçu;
- installation à l'intérieur et/ou à l'extérieur (voir 3.5.1 et 3.5.2);
- fixe ou mobile (voir 3.5.3 et 3.5.4);
- degré de protection;
- destiné à être utilisé par des personnes qualifiées ou ordinaires (voir 3.7.12 et 3.7.14);
- classification de compatibilité électromagnétique (CEM) (voir Annexe J);
- conditions spéciales d'emploi, le cas échéant (voir 7.2);
- conception extérieure (voir 3.3);
- protection contre les chocs mécaniques, le cas échéant (voir 8.2.1);
- le type de construction – fixe ou à parties amovibles (voir 8.5.1 et 8.5.2).
- la nature du ou des dispositifs de protection contre les courts-circuits (voir 9.3.2);
- les mesures de protection contre les chocs électriques;
- les dimensions hors tout (y compris les saillies, par exemple, poignées, panneaux, portes), si nécessaire;
- la masse, si nécessaire.

6 Informations

6.1 Marquage pour l'identification des ENSEMBLES

Le constructeur d'ENSEMBLES doit pourvoir chaque ENSEMBLE d'une ou plusieurs étiquettes, marquées d'une manière durable et disposées à un emplacement leur permettant d'être visibles et lisibles lorsque l'ENSEMBLE est installé et en exploitation. La conformité est vérifiée selon l'essai de 10.2.7 et par examen.

Les renseignements suivants concernant l'ENSEMBLE doivent être fournis sur l'étiquette ou les étiquettes d'identification:

- a) nom du constructeur d'ENSEMBLES ou sa marque de fabrique (voir 3.10.2);
- b) désignation du type ou un numéro d'identification, ou tout autre moyen d'identification, permettant d'obtenir du constructeur d'ENSEMBLES les renseignements appropriés;
- c) moyens d'identification de la date de fabrication;
- d) CEI 61439-X (la partie particulière "X" doit être identifiée).

NOTE La norme d'ENSEMBLES applicable peut spécifier s'il convient que des renseignements complémentaires soient indiqués sur l'étiquette d'identification.

6.2 Documentation

6.2.1 Renseignements concernant l'ENSEMBLE

Toutes les caractéristiques d'interface conformément à l'Article 5, doivent, le cas échéant, être fournies dans la documentation technique du constructeur d'ENSEMBLES, livrée avec l'ENSEMBLE.

6.2.2 Instructions de manutention, d'installation, d'exploitation et de maintenance

Le constructeur d'ENSEMBLES doit spécifier, dans ses documents ou ses catalogues, les conditions éventuelles de manutention, d'installation, d'exploitation et de maintenance de l'ENSEMBLE et du matériel qu'il contient.

Si nécessaire, les instructions doivent indiquer les mesures qui sont d'une importance particulière pour que le transport, la manutention, l'installation et l'exploitation de l'ENSEMBLE soient corrects et appropriés. La mise à disposition de renseignements détaillés concernant le poids est particulièrement importante en vue du transport et de la manutention des ENSEMBLES.

L'emplacement et l'installation corrects des moyens de levage et la taille des câbles des accessoires de levage, le cas échéant, doivent être donnés dans la documentation du constructeur d'ENSEMBLES ou dans les instructions sur la manière de manutention de l'ENSEMBLE.

Les éventuelles mesures à prendre pendant l'installation, l'exploitation et la maintenance de l'ENSEMBLE en vue de la CEM doivent être spécifiées (voir Annexe J).

Si un ENSEMBLE prévu spécifiquement pour un environnement A doit être utilisé dans un environnement B, l'avertissement suivant doit être inclus dans les instructions d'exploitation:

AVERTISSEMENT

Ce produit a été conçu pour un environnement A. L'utilisation de ce produit dans un environnement B peut engendrer des perturbations électromagnétiques non désirées qui peuvent nécessiter la prise de mesures d'atténuation appropriées de la part de l'utilisateur.

Lorsque cela est nécessaire, les documents mentionnés ci-dessus doivent indiquer la nature de la maintenance et sa périodicité recommandées.

Si le câblage n'apparaît pas nettement du fait de la disposition matérielle des appareils installés, les renseignements appropriés, par exemple, schémas ou tableaux des circuits, doivent être fournis.

6.3 Identification des appareils et/ou des composants

A l'intérieur de l'ENSEMBLE, il doit être possible d'identifier chacun des circuits et leurs dispositifs de protection. Les marquages d'identification doivent être lisibles, permanents et appropriés à l'environnement physique. Toutes les identifications utilisées doivent être conformes à celles de la CEI 81346-1 et de la CEI 81346-2 et identiques à celles des schémas des circuits qui doivent être conformes à la CEI 61082-1.

7 Conditions d'emploi

7.1 Conditions normales d'emploi

Les ENSEMBLES conformes à la présente norme sont prévus pour être utilisés dans les conditions normales d'emploi indiquées ci-dessous.

NOTE Si on utilise des composants, par exemple des relais, des matériels électroniques, qui ne sont pas prévus pour ces conditions, il convient de prendre des mesures appropriées pour assurer un fonctionnement convenable.

7.1.1 Température de l'air ambiant

7.1.1.1 Température de l'air ambiant pour les installations à l'intérieur

La température de l'air ambiant ne dépasse pas +40 °C et la température moyenne pendant une période de 24 h ne dépasse pas +35 °C.

La limite inférieure de la température de l'air ambiant est de –5 °C.

7.1.1.2 Température de l'air ambiant pour les installations à l'extérieur

La température de l'air ambiant ne dépasse pas +40 °C et la température moyenne pendant une période de 24 h ne dépasse pas +35 °C.

La limite inférieure de la température de l'air ambiant est de –25 °C.

7.1.2 Conditions d'humidité

7.1.2.1 Conditions d'humidité pour les installations à l'intérieur

L'humidité relative de l'air ne dépasse pas 50 % à une température maximale de +40 °C. Des degrés d'humidité relative plus élevés peuvent être admis à des températures plus basses, par exemple, 90 % à +20 °C. Il convient de tenir compte d'une condensation modérée qui peut se produire occasionnellement en raison des variations de température.

7.1.2.2 Conditions d'humidité pour les installations à l'extérieur

L'humidité relative peut temporairement atteindre 100 % à une température maximale de +25 °C.

7.1.3 Degré de pollution

Le degré de pollution (voir 3.6.9) se rapporte aux conditions d'environnement pour lesquelles l'ENSEMBLE est prévu.

Pour les appareils de connexion et les composants à l'intérieur d'une enveloppe, le degré de pollution des conditions d'environnement à l'intérieur de l'enveloppe est applicable.

Pour évaluer les distances d'isolement et les lignes de fuite, on distingue les quatre degrés de pollution suivants au niveau du micro-environnement.

Degré de pollution 1:

Pas de pollution ou seulement une pollution sèche non conductrice. La pollution n'a aucune influence.

Degré de pollution 2:

Présence uniquement d'une pollution non conductrice. On peut cependant, occasionnellement, s'attendre à une conductivité temporaire provoquée par la condensation.

Degré de pollution 3:

Présence d'une pollution conductrice ou d'une pollution sèche non conductrice qui devient conductrice par suite de condensation.

Degré de pollution 4:

Il se produit une conductivité persistante causée par de la poussière conductrice, ou par de la pluie ou par d'autres conditions humides.

Le degré de pollution 4 n'est pas applicable pour un micro-environnement à l'intérieur d'un ENSEMBLE conforme à la présente norme.

Sauf spécification contraire, les ENSEMBLES pour les applications industrielles sont, en général, destinés à être utilisés dans un environnement à degré de pollution 3. Toutefois, d'autres degrés de pollution peuvent s'appliquer en fonction du micro-environnement ou d'emplois particuliers.

NOTE Le degré de pollution du micro-environnement de l'équipement peut être influencé par l'installation de celui-ci dans une enveloppe.

7.1.4 Altitude

L'altitude du lieu de l'installation ne dépasse pas 2 000 m.

NOTE Pour les équipements destinés à être utilisés à des altitudes plus élevées, il est nécessaire de tenir compte de la diminution de la rigidité diélectrique, du pouvoir de coupure des appareils et du pouvoir de refroidissement de l'air.

7.2 Conditions spéciales d'emploi

Lorsqu'il existe des conditions spéciales d'emploi, les exigences particulières applicables doivent être respectées ou des conventions particulières doivent intervenir entre l'utilisateur et le constructeur d'ENSEMBLES. L'utilisateur doit informer le constructeur d'ENSEMBLES de l'existence de telles conditions spéciales d'emploi.

Les conditions spéciales d'emploi comprennent, par exemple:

- a) des valeurs de température, d'humidité relative et/ou d'altitude différentes de celles qui sont spécifiées en 7.1;
- b) des utilisations dans lesquelles des variations de température et/ou de pression de l'air se produisent si rapidement qu'une condensation exceptionnelle est susceptible de se produire à l'intérieur de l'ENSEMBLE;
- c) une pollution importante de l'air par des poussières, fumées, particules corrosives ou radioactives, vapeurs ou sel;
- d) une exposition à des champs électriques ou magnétiques élevés;
- e) une exposition à des conditions climatiques extrêmes;

- f) des attaques par des champignons ou de petits animaux;
- g) une installation dans des emplacements exposés à des dangers d'incendie ou d'explosion;
- h) une exposition à des vibrations, des chocs importants, des phénomènes sismiques;
- i) une installation dans des conditions telles que l'aptitude à supporter le courant ou le pouvoir de coupure est affectée, par exemple, les matériels incorporés à des machines ou encastrés dans un mur;
- j) une exposition à des perturbations conduites et rayonnées autres qu'électromagnétiques et aux perturbations électromagnétiques dans des environnements autres que ceux décrits en 9.4;
- k) des conditions de surtension ou des fluctuations de tension exceptionnelles;
- l) des harmoniques excessifs dans la tension d'alimentation ou le courant de charge.

7.3 Conditions au cours du transport, du stockage et de l'installation

Un accord spécial doit être conclu entre l'utilisateur et le constructeur d'ENSEMBLES si les conditions pendant le transport, le stockage et l'installation, par exemple, les conditions de température et d'humidité, diffèrent de celles qui sont définies en 7.1.

8 Exigences de construction

8.1 Résistance des matériaux et des parties

8.1.1 Généralités

Les ENSEMBLES doivent être construits avec des matériaux capables de supporter les contraintes mécaniques, électriques et thermiques ainsi que les contraintes d'environnement susceptibles d'être rencontrées dans les conditions d'emploi spécifiées.

La forme extérieure de l'enveloppe de l'ENSEMBLE peut varier pour s'adapter à la réalisation et à l'utilisation, et plusieurs exemples sont donnés en 3.3. Ces enveloppes peuvent également être construites dans différents matériaux, par exemple, isolants, métalliques ou une combinaison des deux.

8.1.2 Protection contre la corrosion

La protection contre la corrosion doit être assurée par l'utilisation de matériaux appropriés ou par des revêtements de protection des surfaces exposées, en tenant compte des conditions normales d'emploi (voir 7.1). La conformité à cette exigence est vérifiée par l'essai de 10.2.2.

8.1.3 Propriétés des matériaux isolants

8.1.3.1 Stabilité thermique

Pour les enveloppes ou les parties des enveloppes en matériaux isolants, la stabilité thermique doit être vérifiée conformément à 10.2.3.1.

8.1.3.2 Résistance des matériaux isolants à la chaleur et au feu

8.1.3.2.1 Généralités

Les parties des matériaux isolants qui sont susceptibles d'être exposées à des contraintes thermiques résultant d'effets électriques internes, et dont la détérioration peut altérer la sécurité de l'ENSEMBLE, ne doivent pas être affectées défavorablement par la chaleur normale (en exploitation), par une chaleur anormale ou par le feu.

8.1.3.2.2 Résistance des matériaux isolants à la chaleur

Le constructeur d'origine doit sélectionner les matériaux isolants soit par référence à l'indice de température de l'isolation (déterminé par exemple par les méthodes définies dans la CEI 60216), soit par conformité avec la CEI 60085.

8.1.3.2.3 Résistance des matériaux isolants à une chaleur anormale et au feu dus aux effets électriques internes

Les matériaux isolants utilisés pour les parties nécessaires pour maintenir en position les parties transportant le courant et les parties susceptibles d'être exposées à des contraintes thermiques résultant d'effets électriques internes, et dont la détérioration peut altérer la sécurité de l'ENSEMBLE, ne doivent pas être affectés défavorablement par une chaleur anormale ou le feu et doivent être vérifiés au moyen de l'essai au fil incandescent de 10.2.3.2. Pour les besoins de cet essai, un conducteur de protection (PE) n'est pas considéré comme une partie transportant le courant.

Pour les petites parties (ayant des dimensions de surface n'excédant pas 14 mm x 14 mm), un autre essai peut être choisi (par exemple, l'essai au brûleur-aiguille conformément à la CEI 60695-11-5). La même procédure peut être appliquée pour d'autres raisons pratiques lorsque le matériau métallique d'une partie est important par rapport au matériau isolant.

8.1.4 Résistance aux rayonnements ultraviolets

Pour les enveloppes et les parties externes en matériaux isolants qui sont destinées à être utilisées à l'extérieur, la résistance aux rayonnements ultraviolets doit être vérifiée conformément à 10.2.4.

8.1.5 Résistance mécanique

Toutes les enveloppes ou cloisons, y compris les moyens de fermeture et les charnières des portes, doivent avoir une résistance mécanique suffisante pour résister aux contraintes auxquelles elles peuvent être soumises en utilisation normale et en conditions de court-circuit (voir aussi 10.13).

Le fonctionnement mécanique des parties amovibles, y compris tout verrouillage d'insertion, doit être vérifié par essai selon 10.13.

8.1.6 Dispositifs de levage

Lorsque cela est exigé, les ENSEMBLES doivent être équipés d'appareils appropriés de levage. La conformité est vérifiée selon l'essai de 10.2.5.

8.2 Degré de protection procuré par l'enveloppe d'un ENSEMBLE

8.2.1 Protection contre les impacts mécaniques

Le degré de protection procuré par l'enveloppe d'un ENSEMBLE contre les impacts mécaniques doit, si nécessaire, être défini par les normes d'ENSEMBLES applicables et être vérifié conformément à la CEI 62262 (voir 10.2.6).

8.2.2 Protection contre les contacts avec des parties actives, contre la pénétration de corps étrangers solides et d'eau

Le degré de protection procuré par un ENSEMBLE contre les contacts avec des parties actives, contre la pénétration de corps étrangers solides et d'eau est indiqué par le code IP conformément à la CEI 60529 et est vérifié selon 10.3.

NOTE 1 Aux Etats-Unis (USA), au Canada et au Mexique, on utilise des désignations de « type » d'enveloppe pour spécifier le « degré de protection » procuré par l'ENSEMBLE. Pour les réalisations aux USA, il convient d'utiliser la désignation de type d'enveloppe appropriée spécifiée dans la NEMA 250. Pour les réalisations au

Canada, il convient d'utiliser la désignation de type d'enveloppe appropriée spécifiée dans la norme CSA C22.2 No 94.1 et 94.2. Pour les réalisations au Mexique, il convient d'utiliser la désignation de type d'enveloppe appropriée spécifiée dans les normes NMX-J-235/1-ANCE et NMX-J-235/2-ANCE.

Le degré de protection d'un ENSEMBLE sous enveloppe doit être au moins égal à IP 2X, après installation conformément aux instructions du constructeur d'ENSEMBLES. Le degré de protection procuré par la face avant d'un ENSEMBLE ouvert à protection frontale doit être au moins égal à IP XXB.

Pour les ENSEMBLES fixes non soumis à une inclinaison dans des conditions normales d'emploi, le degré de protection IP X2 n'est pas applicable.

Dans le cas des ENSEMBLES pour installation à l'extérieur n'ayant pas de protection supplémentaire, le second chiffre caractéristique doit être au moins égal à 3.

NOTE 2 Pour l'installation à l'extérieur, la protection supplémentaire peut être un toit ou une protection analogue.

Sauf spécification contraire, le degré de protection indiqué par le constructeur d'ENSEMBLES s'applique à l'ENSEMBLE complet lorsqu'il est installé conformément aux instructions du constructeur d'ENSEMBLES, par exemple, avec obturation de la surface de montage de l'ENSEMBLE laissée ouverte, etc.

Lorsqu'un ENSEMBLE n'a pas le même IP partout, le constructeur d'ENSEMBLES doit déclarer l'IP de chacune des parties.

Les différentes caractéristiques assignées IP ne doivent pas affecter l'utilisation prévue de l'ENSEMBLE.

NOTE 3 Les exemples incluent:

- Face de service IP 20, autres parties IP 00.
- Trous de vidange pratiqués dans la base IP XXD, autres parties IP 43.

Aucun code IP ne peut être donné si les vérifications appropriées n'ont pas été réalisées selon 10.3.

Les ENSEMBLES sous enveloppe pour installation à l'extérieur et à l'intérieur, destinés à être utilisés dans des lieux où règnent une humidité élevée et des températures variant avec une grande amplitude, doivent comporter des dispositifs appropriés (ventilation et/ou chauffage intérieur, trous de vidange, etc.) afin d'empêcher toute condensation nuisible à l'intérieur de l'ENSEMBLE. Toutefois, le degré de protection spécifié doit être maintenu en même temps.

8.2.3 ENSEMBLE avec parties amovibles

Le degré de protection indiqué pour les ENSEMBLES s'applique normalement à la position raccordée (voir 3.2.3) des parties amovibles.

Si le degré de protection d'origine n'est pas maintenu après le retrait d'une partie amovible, par exemple par la fermeture d'une porte, un accord doit être recherché entre le constructeur d'ENSEMBLES et l'utilisateur concernant les mesures qui doivent être prises pour assurer la protection adéquate. Les indications fournies par le constructeur d'ENSEMBLES peuvent tenir lieu d'un tel accord.

Lorsque des volets permettent d'assurer une protection adéquate contre l'accès aux parties actives, ils doivent être fixés de manière à ne pas pouvoir être démontés de façon non intentionnelle.

8.3 Distances d'isolement et lignes de fuite

8.3.1 Généralités

Les exigences applicables aux distances d'isolement et aux lignes de fuite sont fondées sur les principes de la CEI 60664-1 et sont destinées à assurer une coordination de l'isolement au sein de l'installation.

Les distances d'isolement et les lignes de fuite des équipements qui font partie de l'ENSEMBLE doivent être conformes aux exigences de la norme de produit applicable.

Lorsqu'on incorpore des équipements dans l'ENSEMBLE, les distances d'isolement et les lignes de fuite spécifiées doivent être maintenues dans les conditions normales d'emploi.

Pour dimensionner des distances d'isolement et des lignes de fuite entre des circuits distincts, on doit utiliser les caractéristiques assignées de tension les plus élevées (tension assignée de tenue aux chocs pour les distances d'isolement et tension assignée d'isolement pour les lignes de fuite).

Les distances d'isolement et les lignes de fuite s'appliquent entre phases, entre phase et neutre et, sauf si un conducteur est directement raccordé à la terre, entre phase et terre et neutre et terre.

Pour les conducteurs actifs nus et les raccordements (par exemple, jeux de barres, connexions entre appareils et cosses de câbles), les distances d'isolement et les lignes de fuite doivent être au moins équivalentes à celles spécifiées pour l'appareil auquel ils sont directement associés.

Un court-circuit inférieur ou égal à la (aux) caractéristique(s) assignée(s) déclarée(s) de l'ENSEMBLE ne doit pas réduire d'une manière permanente les distances d'isolement ou les lignes de fuite entre les jeux de barres et/ou les connexions en dessous des valeurs spécifiées pour l'ENSEMBLE. La déformation des parties de l'enveloppe ou des cloisons, des barrières et des obstacles internes due à un court-circuit ne doit pas réduire de manière permanente les distances d'isolement ou les lignes de fuite en dessous des valeurs spécifiées en 8.3.2 et 8.3.3 (voir aussi 10.11.5.5).

8.3.2 Distances d'isolement

Les distances d'isolement doivent être suffisantes pour satisfaire à la tension assignée de tenue aux chocs (U_{imp}) d'un circuit. Les distances d'isolement doivent être telles que spécifiées au Tableau 1 sauf si un essai de vérification de conception et un essai individuel de série de la tension assignée de tenue aux chocs sont effectués conformément à 10.9.3 et 11.3, respectivement.

La méthode de vérification des distances d'isolement par des mesures est donnée à l'Annexe F.

NOTE Aux Etats-Unis (USA) et au Mexique, les codes électriques nationaux sont utilisés pour spécifier les distances d'isolement minimales. Aux USA, le code électrique national NFPA 70, Article 408.56 s'applique. Au Mexique, le code NOM-001-SEDE s'applique. Pour ces réalisations, il est recommandé que les distances d'isolement soient choisies en utilisant l'Annexe L, Tableau L.1 de la présente norme. Pour les réalisations au Canada, les distances d'isolement électriques minimales sont spécifiées dans le Code Electrique Canadien, Partie 2 Normes de Sécurité des Produits.

8.3.3 Lignes de fuite

Le constructeur d'origine doit choisir une ou des tensions assignées d'isolement (U_i) pour les circuits de l'ENSEMBLE à partir desquelles la ou les lignes de fuite doivent être déterminées. Pour tout circuit donné, la tension assignée d'isolement ne doit pas être inférieure à la tension assignée d'emploi (U_e).

Dans tous les cas, les lignes de fuite ne doivent pas être inférieures aux distances d'isolement minimales associées.

Les lignes de fuite doivent correspondre à un degré de pollution tel que spécifié en 7.1.3 et au groupe de matériaux correspondant à la tension assignée d'isolement donnée au Tableau 2.

La méthode de vérification des lignes de fuite par des mesures est donnée à l'Annexe F.

NOTE 1 Pour les matériaux isolants en matière non organique, par exemple, le verre ou la céramique, qui ne cheminent pas, il n'est pas nécessaire que les lignes de fuite soient supérieures à leurs distances d'isolement associées. Il convient, toutefois, de tenir compte du risque de décharge disruptive.

NOTE 2 Aux Etats-Unis (USA) et au Mexique, les codes électriques nationaux sont utilisés pour spécifier les lignes de fuite minimales. Aux USA, le code électrique national NFPA 70, Article 408.56 s'applique. Au Mexique, le code NOM-001-SEDE s'applique. Pour ces réalisations, il est recommandé que les lignes de fuite soient choisies en utilisant l'Annexe L, Tableau L.2 de la présente norme. Pour les réalisations au Canada, les lignes de fuite minimales sont spécifiées dans le Code Electrique Canadien, Partie 2 Normes de Sécurité des Produits.

En utilisant des nervures de 2 mm de hauteur minimale, la ligne de fuite peut être réduite, mais quel que soit le nombre de nervures, elle ne doit pas être inférieure à 0,8 fois la valeur du Tableau 2, ni inférieure à la distance d'isolement minimale associée. La largeur minimale de la base de la nervure est déterminée par des exigences mécaniques (voir Article F.2).

8.4 Protection contre les chocs électriques

8.4.1 Généralités

Les appareils et les circuits de l'ENSEMBLE doivent être disposés de manière à faciliter leur exploitation et leur maintenance, et en même temps à assurer le degré nécessaire de sécurité.

Les exigences suivantes sont destinées à assurer que les mesures de protection requises sont obtenues après installation d'un ENSEMBLE dans un réseau électrique conforme à la série CEI 60364.

NOTE Pour les mesures de protection généralement acceptées, se reporter à la CEI 61140 et à la CEI 60364-4-41.

Les mesures de protection qui sont particulièrement importantes pour un ENSEMBLE sont reproduites de 8.4.2 à 8.4.6.

8.4.2 Protection principale

8.4.2.1 Généralités

La protection principale est destinée à empêcher tout contact direct avec les parties actives dangereuses.

La protection principale peut être obtenue soit par des mesures appropriées de construction de l'ENSEMBLE lui-même, soit par des dispositions complémentaires à prendre lors de son installation; ceci peut nécessiter que des renseignements soient fournis par le constructeur d'ENSEMBLES.

Un exemple de mesures complémentaires à prendre est l'installation d'un ENSEMBLE ouvert, sans autres dispositions, dans un emplacement dont l'accès est réservé au seul personnel autorisé.

Lorsque la protection principale est obtenue par des mesures de construction, une ou plusieurs des mesures de protection données en 8.4.2.2 et 8.4.2.3 peuvent être choisies. Le

choix de la mesure de protection doit être déclaré par le constructeur d'ENSEMBLES, s'il n'est pas spécifié dans la norme d'ENSEMBLES applicable.

8.4.2.2 Isolation principale assurée par des matériaux isolants

Les parties actives dangereuses doivent être complètement recouvertes d'une isolation qui ne puisse être enlevée que par destruction ou par l'emploi d'un outil.

Cette isolation doit être faite à l'aide de matériaux isolants appropriés capables de résister durablement aux contraintes mécaniques, électriques et thermiques auxquelles l'isolation peut être soumise en service.

NOTE Les composants électriques enrobés dans un isolant et les conducteurs isolés en sont des exemples.

Les peintures, vernis et laques seuls ne sont pas considérés comme satisfaisant aux exigences de l'isolation principale.

8.4.2.3 Barrières ou enveloppes

Les parties actives à isolement dans l'air doivent se trouver à l'intérieur d'enveloppes ou derrière des barrières assurant au moins un degré de protection IP XXB.

Les surfaces supérieures horizontales des enveloppes accessibles ayant une hauteur inférieure ou égale à 1,6 m au-dessus de l'aire de passage doivent fournir un degré de protection d'au moins IP XXD.

Les barrières et les enveloppes doivent être fixées solidement en place et présenter une stabilité et une durabilité suffisantes pour maintenir les degrés de protection exigés et la séparation appropriée avec les parties actives dans les conditions normales d'emploi en tenant compte des influences externes concernées. La distance entre une barrière conductrice ou une enveloppe et les parties actives qu'elles protègent ne doit pas être inférieure aux valeurs spécifiées pour les distances d'isolement et les lignes de fuite en 8.3.

Lorsqu'il est nécessaire de retirer les barrières ou d'ouvrir les enveloppes ou de retirer des parties des enveloppes, cela ne doit être possible que si l'une des conditions a) à c) est satisfaite:

- a) A l'aide d'une clé ou d'un outil, c'est-à-dire d'une aide mécanique pour ouvrir la porte, couvrir ou débloquer un verrouillage.
- b) Après séparation de l'alimentation des parties actives, contre lesquelles les barrières ou les enveloppes assurent la protection principale, le rétablissement de l'alimentation étant possible uniquement après le remplacement ou la fermeture des barrières ou enveloppes. Dans les schémas TN-C, le conducteur PEN ne doit être ni sectionné ni coupé. Dans les schémas TN-S et TN-C-S, il n'est pas nécessaire de sectionner ou de couper les conducteurs neutres (voir CEI 60364-5-53:2001, 536.1.2).

Exemple: En verrouillant la ou les portes avec un sectionneur de telle sorte qu'elles ne puissent être ouvertes que si le sectionneur est ouvert et qu'il ne soit pas possible de fermer le sectionneur si la porte est ouverte, sauf à l'aide d'un outil.

NOTE En Norvège, le conducteur neutre doit être sectionné ou coupé.

- c) Lorsqu'une barrière intermédiaire assurant un degré de protection d'au moins IP XXB empêche le contact avec les parties actives, une telle barrière ne pouvant être retirée qu'à l'aide d'une clé ou d'un outil.

8.4.3 Protection en cas de défaut

8.4.3.1 Conditions d'installation

L'ENSEMBLE doit comprendre des mesures de protection et être adapté aux installations conçues pour être conformes à la CEI 60364-4-41. Des mesures de protection adaptées pour des installations particulières (par exemple, les voies ferrées, les bateaux) doivent faire l'objet d'un accord entre le constructeur d'ENSEMBLES et l'utilisateur.

Lorsque le réseau électrique utilise une installation de mise à la terre TT, une des mesures suivantes doit s'appliquer à l'ENSEMBLE:

- a) isolation double ou renforcée des connexions d'arrivée, ou
- b) protection par dispositif (de coupure) différentiel (DDR) du circuit d'arrivée

Ces dispositions sont soumises à un accord entre l'utilisateur et le constructeur.

8.4.3.2 Exigences pour le conducteur de protection pour faciliter la coupure automatique de l'alimentation

8.4.3.2.1 Généralités

Chaque ENSEMBLE doit posséder un conducteur de protection pour faciliter la coupure automatique de l'alimentation pour:

- a) la protection contre les conséquences des défauts (par exemple, défaillance de l'isolation principale) à l'intérieur de l'ensemble;
- b) la protection contre les conséquences des défauts (par exemple, défaillance de l'isolation principale) dans les circuits externes alimentés par l' ENSEMBLE.

Les exigences à satisfaire sont données dans les paragraphes qui suivent.

Les exigences d'identification du conducteur de protection (PE, PEN) sont données en 8.6.6.

8.4.3.2.2 Exigences pour la continuité à la terre assurant la protection contre les conséquences des défauts à l'intérieur de l'ENSEMBLE

Toutes les masses de l'ENSEMBLE doivent être raccordées entre elles et au conducteur de protection de l'alimentation ou par un conducteur de terre au dispositif de mise à la terre.

Ces raccordements peuvent être effectués soit au moyen de connexions métalliques vissées, soit par soudage, soit par d'autres connexions conductrices, soit par un conducteur de protection séparé.

NOTE Pour les parties métalliques de l'ENSEMBLE ayant un fini de surface résistant à l'abrasion, par exemple, des plaques de presse-étoupe avec un revêtement de poudre polymérisée, la connexion dédiée à la mise à la terre pour des raisons de protection nécessite le retrait ou la pénétration du revêtement.

La méthode de vérification de la continuité à la terre entre les masses de l'ENSEMBLE et le circuit de protection est donnée en 10.5.2.

Pour la continuité de ces connexions, les exigences suivantes doivent s'appliquer:

- a) Lorsqu'une partie de l'ENSEMBLE est retirée, par exemple, pour la maintenance normale, les circuits de protection (continuité à la terre) vers le reste de l'ENSEMBLE ne doivent pas être interrompus.

Les moyens utilisés pour l'assemblage des diverses pièces métalliques d'un ENSEMBLE sont considérés comme suffisants pour assurer la continuité des circuits de protection si les mesures de prévention prises garantissent en permanence une bonne conductivité.

Les conduits métalliques souples ou flexibles ne doivent pas être utilisés comme conducteurs de protection sauf s'ils sont conçus à cet effet.

- b) Pour les couvercles, portes, plaques de fermeture et autres pièces analogues, les connexions métalliques à vis et boulonnées et les charnières métalliques utilisées couramment sont considérées comme suffisantes pour assurer la continuité à condition qu'aucun matériel électrique dépassant les limites de la très basse tension (TBT) n'y soit fixé.

Si des appareils ayant une tension dépassant les limites de la très basse tension sont fixés à des couvercles, portes ou à des plaques de fermeture, des mesures complémentaires doivent être prises pour assurer la continuité à la terre. Ces parties doivent être équipées d'un conducteur de protection (PE) dont la section est conforme au Tableau 3 en fonction du courant assigné d'emploi le plus élevé I_e de l'appareil fixé ou, si le courant assigné d'emploi de cet appareil fixé est inférieur ou égal à 16 A, d'une connexion électrique équivalente spécialement conçue et vérifiée dans ce but (contact glissant, charnières protégées contre la corrosion).

Les masses d'un appareil qui ne peuvent pas être raccordées au circuit de protection par les moyens de fixation de l'appareil doivent être raccordées au circuit de protection de l'ENSEMBLE par un conducteur dont la section est choisie conformément au Tableau 3.

Certaines masses d'un ENSEMBLE qui ne constituent pas un danger

- soit parce qu'elles ne peuvent être touchées sur de grandes surfaces ni être saisies à la main,
- soit parce qu'elles sont de petite dimension (environ 50 mm sur 50 mm) ou disposées de telle sorte que tout risque de contact avec les parties actives est exclu,

n'ont pas besoin d'être reliées à un conducteur de protection. Cela s'applique aux vis, aux rivets et aux plaques signalétiques. Il en est de même pour les électro-aimants de contacteurs ou de relais, les noyaux magnétiques de transformateurs, certaines pièces de déclencheurs, ou équivalents quelles que soient leurs dimensions.

Lorsque les parties amovibles comportent des surfaces portantes métalliques, ces surfaces doivent être considérées comme suffisantes pour assurer la continuité à la terre des circuits de protection sous réserve que la pression exercée sur elles soit suffisamment élevée.

8.4.3.2.3 Exigences pour les conducteurs de protection assurant la protection contre les conséquences de défauts dans les circuits externes alimentés par l'intermédiaire de l'ENSEMBLE

Un conducteur de protection à l'intérieur de l'ENSEMBLE doit être conçu de sorte qu'il soit capable de supporter les contraintes dynamiques et thermiques les plus élevées résultant de défauts dans les circuits externes sur le lieu d'installation et qui sont alimentés à travers l'ENSEMBLE. Les parties conductrices de la structure peuvent être utilisées comme conducteur de protection ou comme partie de celui-ci.

Sauf dans le cas où la vérification de la tenue aux courts-circuits n'est pas exigée conformément à 10.11.2, la vérification doit être réalisée conformément à 10.5.3.

En principe, à l'exception des cas mentionnés ci-dessous, les conducteurs de protection à l'intérieur d'un ENSEMBLE ne doivent pas comprendre de dispositif de sectionnement (interrupteur, sectionneur, etc.).

Dans les circuits des conducteurs de protection, des barrettes pouvant être enlevées à l'aide d'un outil et accessibles seulement au personnel autorisé (ces barrettes peuvent être nécessaires pour certains essais) doivent être autorisées.

Lorsque la continuité peut être interrompue au moyen de connecteurs ou de prises de courant, le circuit de protection ne doit être interrompu qu'après l'interruption des conducteurs actifs et la continuité doit être établie avant que les conducteurs actifs soient de nouveau raccordés.

Dans le cas d'un ENSEMBLE contenant des parties structurelles, des bâtis, des enveloppes, etc., en matériau conducteur, il n'est pas nécessaire qu'un conducteur de protection, s'il est prévu, soit isolé de ces pièces. Les conducteurs des dispositifs de détection de défauts sensibles à la tension, y compris les conducteurs qui les relient à une prise de terre distincte, doivent être isolés lorsque le constructeur le spécifie. Cela peut également s'appliquer à la connexion avec la terre du neutre du transformateur.

La section des conducteurs de protection (PE, PEN) dans un ENSEMBLE auquel des conducteurs externes sont destinés à être raccordés ne doit pas être inférieure à la valeur calculée avec la formule indiquée à l'Annexe B en utilisant le courant de défaut le plus élevé et la durée de défaut qui peuvent apparaître, en tenant compte de la limitation des dispositifs de protection contre les courts-circuits (DPCC) qui protègent les conducteurs actifs correspondants. La tenue aux courts-circuits est vérifiée selon 10.5.3.

Pour les conducteurs PEN, les exigences complémentaires suivantes s'appliquent:

- la section minimale doit être de 10 mm² pour le cuivre ou de 16 mm² pour l'aluminium;
- le conducteur PEN doit avoir une section qui ne soit pas inférieure à celle exigée pour un conducteur neutre (voir 8.6.1);
- il n'est pas nécessaire d'isoler les conducteurs PEN dans un ENSEMBLE;
- les pièces de structure ne doivent pas être utilisées comme conducteur PEN. Cependant, des rails de montage en cuivre ou en aluminium peuvent être utilisés comme conducteurs PEN.

Pour les détails des exigences concernant les bornes pour le raccordement des conducteurs de protection externes, voir 8.8.

8.4.3.3 Séparation électrique

La séparation électrique des différents circuits est destinée à empêcher les chocs électriques par contact avec des masses pouvant être mises sous tension par un défaut de l'isolation principale du circuit.

Pour ce type de protection, voir l'Annexe K.

8.4.4 Protection par isolation totale

NOTE Selon 412.2.1.1 de la CEI 60364-4-41, « l'isolation totale » est équivalente aux appareils de la Classe II.

Pour assurer la protection principale et la protection en cas de défaut, par une isolation totale, les exigences suivantes doivent être satisfaites.

- a) Les appareils doivent être complètement enveloppés dans un matériau isolant équivalent à une isolation double ou renforcée. L'enveloppe doit porter le symbole  qui doit être visible de l'extérieur.
- b) L'enveloppe ne doit être percée en aucun point par des parties conductrices de telle manière qu'il y ait possibilité qu'une tension de défaut soit transmise à l'extérieur de l'enveloppe.

Cela signifie que les parties métalliques, telles que les mécanismes des organes de commande qui doivent traverser l'enveloppe pour des raisons de construction, doivent être isolées des parties actives à l'intérieur ou à l'extérieur de l'enveloppe, pour la tension assignée d'isolement maximale et pour la tension assignée maximale de tenue aux chocs de tous les circuits de l'ENSEMBLE.

Si un organe de commande est réalisé en métal (qu'il soit ou non recouvert d'un matériau isolant), il doit être pourvu d'une isolation conçue pour la tension assignée d'isolement maximale et pour la tension assignée maximale de tenue aux chocs de tous les circuits de l'ENSEMBLE.

Si un organe de commande est principalement réalisé en matériau isolant, toutes ses parties métalliques susceptibles de devenir accessibles en cas de défaut d'isolement doivent aussi être isolées des parties actives, pour la tension assignée d'isolement maximale et pour la tension assignée maximale de tenue aux chocs de tous les circuits de l'ENSEMBLE.

- c) L'enveloppe, lorsque l'ENSEMBLE est prêt à fonctionner et relié à l'alimentation, doit renfermer toutes les parties actives, les masses et toutes les parties appartenant à un circuit de protection de telle sorte qu'elles ne puissent pas être touchées. L'enveloppe doit au moins procurer le degré de protection IP 2XC (voir la CEI 60529).

Si un conducteur de protection, prolongé de manière à atteindre l'équipement électrique raccordé à l'aval de l'ENSEMBLE, doit passer à travers un ENSEMBLE dont les masses sont isolées, les bornes nécessaires pour connecter les conducteurs de protection externes doivent être prévues et être munies de marques d'identification adéquates.

A l'intérieur de l'enveloppe, le conducteur de protection et sa borne doivent être isolés des parties actives et des masses de la même manière que les parties actives.

- d) Les masses, à l'intérieur de l'ENSEMBLE, ne doivent pas être raccordées au circuit de protection, c'est-à-dire qu'elles ne doivent pas faire l'objet d'une mesure de protection impliquant l'usage d'un circuit de protection. Cela s'applique aussi aux appareils incorporés, même s'ils ont une borne de connexion pour un conducteur de protection.
- e) Si les portes ou les panneaux de l'enveloppe peuvent être ouverts sans l'aide d'une clef ou d'un outil, on doit prévoir une barrière en matériau isolant qui fournit une protection contre un contact fortuit non seulement avec les parties actives accessibles, mais également avec les masses qui ne le sont qu'après l'ouverture du panneau; cependant, cette barrière ne doit pas pouvoir être enlevée sans l'aide d'un outil.

8.4.5 Limitation du courant de contact permanent et des charges électriques

Si l'ENSEMBLE contient des matériels qui peuvent présenter un courant de contact permanent et des charges électriques après avoir été mis hors tension (condensateurs, etc.), une plaque d'avertissement est nécessaire.

De petits condensateurs tels que ceux qui sont utilisés pour l'extinction d'arcs, pour temporiser la réponse de relais, etc., ne doivent pas être considérés comme dangereux.

NOTE Un contact fortuit n'est pas considéré comme dangereux si les tensions provenant de charges statiques chutent au-dessous d'une tension de 60 V en courant continu en moins de 5 s après coupure de l'alimentation.

8.4.6 Conditions d'exploitation et d'entretien

8.4.6.1 Appareils pouvant être utilisés ou composants pouvant être remplacés par des personnes ordinaires

La protection contre tout contact avec des parties actives doit être maintenue lorsqu'on utilise des appareils ou que l'on remplace des composants.

Le degré de protection minimal doit être IP XXC. Des ouvertures plus importantes que celles définies par le degré de protection IP XXC sont autorisées au cours du remplacement de certaines lampes ou de certains éléments de remplacement.

8.4.6.2 Exigences relatives à l'accessibilité en service par des personnes autorisées

8.4.6.2.1 Généralités

Pour l'accessibilité en service par des personnes autorisées, une ou plusieurs des exigences suivantes de 8.4.6.2.2 à 8.4.6.2.4 doivent être satisfaites en fonction de l'accord

existant entre le constructeur d'ENSEMBLES et l'utilisateur. Ces exigences doivent s'ajouter à celles concernant la protection principale spécifiées en 8.4.2.

Si les portes ou les panneaux de l'ENSEMBLE peuvent être ouverts par des personnes autorisées par déblocage d'un verrouillage pour pouvoir accéder aux parties actives, le verrouillage doit alors être rétabli automatiquement, au moment où la (les) porte(s) est (sont) refermée(s) ou le (les) panneau(x) est (sont) remis en place.

8.4.6.2.2 Exigences relatives à l'accessibilité en vue d'une inspection ou d'opérations analogues

L'ENSEMBLE doit être construit de sorte que certaines opérations, soumises à un accord entre le constructeur d'ENSEMBLES et l'utilisateur, puissent être effectuées lorsque l'ENSEMBLE est en service et sous tension.

De telles opérations peuvent consister:

- en l'examen visuel
 - des appareils de connexion et autres appareils,
 - des réglages et indicateurs des relais et des déclencheurs,
 - des raccordements des conducteurs et du marquage;
- à régler et à réarmer des relais, déclencheurs et dispositifs électroniques;
- à remplacer les éléments de remplacement de fusible;
- à remplacer les lampes de signalisation;
- certaines opérations visant à localiser les défauts, par exemple, les mesures de tension et de courant avec des dispositifs convenablement conçus et isolés.

8.4.6.2.3 Exigences relatives à l'accessibilité en vue de la maintenance

Pour permettre la maintenance, prévue par un accord entre le constructeur d'ENSEMBLES et l'utilisateur, d'une unité fonctionnelle sectionnée ou d'un groupe sectionné d'unités fonctionnelles de l'ENSEMBLE, alors que des unités ou groupes fonctionnels adjacents sont maintenus sous tension, des mesures nécessaires doivent être prises. Le choix dépend de facteurs tels que les conditions d'emploi, la fréquence de maintenance, la compétence du personnel autorisé ainsi que des règles locales d'installation. De telles mesures peuvent comprendre:

- une distance suffisante entre l'unité ou le groupe fonctionnel considéré et les unités ou les groupes fonctionnels adjacents. Il est recommandé que les parties susceptibles d'être retirées en vue de la maintenance aient, dans toute la mesure du possible, des moyens de fixation imperdables;
- l'utilisation de barrières ou d'obstacles conçus et disposés pour protéger contre tout contact direct avec les équipements dans les unités ou groupes fonctionnels adjacents;
- l'utilisation de cache-bornes;
- l'utilisation de compartiments pour chaque unité ou groupe fonctionnel;
- l'insertion de moyens complémentaires de protection fournis ou spécifiés par le constructeur d'ENSEMBLES.

8.4.6.2.4 Exigences relatives à l'accessibilité en vue d'une extension sous tension

Lorsqu'il est prescrit de permettre une extension future d'un ENSEMBLE avec des unités ou des groupes fonctionnels supplémentaires, alors que le reste de l'ENSEMBLE est maintenu sous tension, les exigences spécifiées en 8.4.6.2.3 doivent s'appliquer, sous réserve d'un accord entre le constructeur d'ENSEMBLES et l'utilisateur. Ces exigences s'appliquent également pour l'insertion et le raccordement de câbles de sortie supplémentaires lorsque les câbles en place sont sous tension.

L'extension des jeux de barres et le raccordement d'unités supplémentaires à leur alimentation d'entrée ne doivent pas être effectués sous tension, sauf si l'ENSEMBLE est conçu à cette fin.

8.4.6.2.5 Obstacles

Les obstacles doivent empêcher:

- toute approche involontaire des parties actives, ou
- tout contact fortuit avec des parties actives pendant l'exploitation des équipements sous tension en conditions normales d'emploi.

Les obstacles peuvent être retirés sans utiliser de clé ou d'outil, mais ils doivent être fixés de manière à empêcher tout retrait involontaire. La distance entre un obstacle conducteur et les parties actives qu'il protège ne doit pas être inférieure aux valeurs spécifiées pour les distances d'isolement et les lignes de fuite en 8.3.

Lorsqu'un obstacle conducteur est séparé des parties actives dangereuses par une protection principale seulement, il constitue une masse et les mesures de protection contre les défauts doivent également être appliquées.

8.5 Intégration des appareils de connexion et des composants

8.5.1 Parties fixes

Dans le cas de parties fixes (voir 3.2.1), les connexions des circuits principaux (voir 3.1.3) ne doivent être connectées ou déconnectées que lorsque l'ENSEMBLE est hors tension. En général, l'enlèvement et l'installation de parties fixes exigent l'utilisation d'un outil.

Le débranchement d'une partie fixe doit nécessiter le sectionnement de l'ENSEMBLE complet ou d'une partie de celui-ci.

Afin d'empêcher une manoeuvre non autorisée, l'appareil de connexion peut être équipé de moyens pour le maintenir dans une ou plusieurs de ses positions.

NOTE Lorsqu'il est permis de travailler sur des circuits sous tension, des mesures de sécurité appropriées peuvent se révéler nécessaires.

8.5.2 Parties amovibles

Les parties amovibles doivent être conçues de sorte que leur matériel électrique puisse être retiré du circuit principal ou raccordé à celui-ci en toute sécurité alors que ce circuit est sous tension. Les parties amovibles peuvent être équipées d'un verrouillage d'insertion (voir 3.2.5).

Les distances d'isolement et les lignes de fuite (voir 8.3) doivent être respectées lors du passage d'une position à une autre.

Une partie amovible doit être munie d'un dispositif qui garantit à l'utilisateur qu'elle ne peut être retirée et insérée qu'après sectionnement de son circuit principal.

Afin d'empêcher une manoeuvre non autorisée, les parties amovibles ou leur emplacement associé dans l'ENSEMBLE peuvent être munis d'un dispositif de verrouillage pour les maintenir dans une ou plusieurs de ses positions.

8.5.3 Choix des appareils de connexion et des composants

Les appareils de connexion et les composants incorporés dans les ENSEMBLES doivent être conformes aux normes correspondantes de la CEI.

Les appareils de connexion et les composants doivent convenir à leur application particulière en ce qui concerne la présentation extérieure de l'ENSEMBLE (par exemple, ouvert ou sous enveloppe), leurs tensions assignées, leurs courants assignés, leur fréquence assignée, leur durée de vie, leurs pouvoirs de fermeture et de coupure, leur tenue aux courts-circuits, etc.

La tension assignée d'isolement et la tension assignée de tenue aux chocs des appareils installés dans le circuit doivent être supérieures ou égales à la valeur de tension correspondante affectée à ce circuit. Dans certains cas, la protection contre les surtensions peut être nécessaire, par exemple, pour les équipements de la catégorie de surtension II (voir 3.6.11). Les appareils de connexion et les composants dont la tenue aux courts-circuits et/ou le pouvoir de coupure sont insuffisants pour résister aux contraintes susceptibles de se produire sur le lieu de l'installation, doivent être protégés au moyen de dispositifs de protection limiteurs de courant, par exemple des coupe-circuit à fusibles ou des disjoncteurs. Lorsqu'on choisit des dispositifs de protection limiteurs de courant comme appareils de connexion incorporés, on doit tenir compte des valeurs maximales admissibles spécifiées par le constructeur de l'appareil, en tenant tout particulièrement compte de la coordination (voir 9.3.4).

La coordination des appareils de connexion et des composants, par exemple, coordination des démarreurs de moteur avec des dispositifs de protection contre les courts-circuits, doit être conforme aux normes correspondantes de la CEI.

NOTE Des recommandations sont fournies dans la CEI/TR 61912-1 et la CEI/TR 61912-2.

8.5.4 Installation des appareils de connexion et des composants

Les appareils de connexion et les composants doivent être installés et câblés dans l'ENSEMBLE conformément aux instructions données par leur constructeur et de telle sorte que leur bon fonctionnement ne soit pas compromis par les influences mutuelles, par exemple, la chaleur, les émissions de coupure, les vibrations, les champs électromagnétiques, qui se produisent en service normal. Dans le cas d'ensembles électroniques, il peut être nécessaire de séparer ou d'isoler par blindage tous les circuits électroniques de traitement des signaux.

Lorsque des fusibles sont installés, le constructeur d'origine doit indiquer le type et les valeurs assignées des éléments de remplacement à utiliser.

8.5.5 Accessibilité

Les dispositifs de réglage et de réarmement qui doivent être manœuvrés à l'intérieur de l'ENSEMBLE doivent être facilement accessibles.

Les unités fonctionnelles montées sur le même support (plaque de montage, cadre), ainsi que leurs bornes pour les conducteurs externes doivent être disposées de manière à être accessibles pour le montage, le câblage, la maintenance et le remplacement.

Sauf accord contraire entre le constructeur d'ENSEMBLES et l'utilisateur, les exigences d'accessibilité suivantes associées aux ENSEMBLES montés sur le sol doivent s'appliquer:

- Les bornes, à l'exception des bornes des conducteurs de protection, doivent être situées au moins à 0,2 m au-dessus de la base des ENSEMBLES et, de plus, elles doivent être placées de façon telle que les câbles puissent leur être facilement raccordés.
- Les appareils indicateurs qui doivent être lus par l'opérateur doivent être placés à une hauteur comprise entre 0,2 m et 2,2 m au-dessus de la base de l'ENSEMBLE.
- Les organes de commande tels que poignées, boutons-poussoirs ou organes analogues doivent être installés à une hauteur telle qu'ils puissent être facilement manœuvrés; cela signifie que leur axe doit se trouver à une hauteur comprise entre 0,2 m et 2 m au-dessus de la base de l'ENSEMBLE. Les appareils utilisés peu souvent, par exemple, moins d'une fois par mois, peuvent être installés à une hauteur jusqu'à 2,2 m.

- Les organes de commande des dispositifs de coupure d'urgence (voir 536.4.2 de la CEI 60364-5-53:2001) doivent être accessibles à l'intérieur d'une zone entre 0,8 m et 1,6 m au-dessus de la base de l'ENSEMBLE.

NOTE Dans certains pays, les codes nationaux ou les réglementations peuvent limiter davantage la hauteur minimale et maximale.

8.5.6 Barrières

Des barrières pour les appareils de connexion à commande manuelle doivent être conçues de telle sorte que les émissions de coupure ne présentent pas de danger pour l'opérateur.

Pour diminuer tout danger lors du remplacement des éléments de remplacement de fusible, des barrières entre phases doivent être installées, à moins que la conception et l'emplacement des coupe-circuit à fusibles ne rendent cette mesure de sécurité inutile.

8.5.7 Sens de manœuvre et indication des positions de commande

Les positions de fonctionnement des composants et des appareils doivent être clairement identifiées. Si le sens de manœuvre n'est pas conforme à la CEI 60447, alors il doit être clairement identifié.

8.5.8 Voyants lumineux et boutons-poussoirs

Sauf spécification contraire dans la norme de produit applicable, les couleurs des voyants lumineux et des boutons poussoirs doivent être conformes à la CEI 60073.

8.6 Circuits électriques internes et connexions

8.6.1 Circuits principaux

Les jeux de barres (nus ou isolés) doivent être disposés de telle sorte qu'un court-circuit interne ne soit pas à craindre. Ils doivent être dimensionnés au moins conformément aux renseignements concernant la tenue aux courts-circuits (voir 9.3) et doivent être conçus pour résister au moins aux contraintes de court-circuit limitées par le ou les dispositifs de protection situés en amont des jeux de barres.

A l'intérieur d'une colonne, les conducteurs (jeux de barres de distribution inclus) entre les jeux de barres principaux et l'amont des unités fonctionnelles ainsi que leurs constituants peuvent être conçus sur la base des contraintes réduites de court-circuit se produisant en aval de chacun des dispositifs de protection contre les courts-circuits de chaque unité, sous réserve que la disposition des conducteurs soit telle qu'en exploitation normale un court-circuit interne entre phases et/ou entre phase et terre ne soit pas à craindre (voir 8.6.4).

Sauf accord contraire entre le constructeur d'ENSEMBLES et l'utilisateur, la section minimale du neutre dans un circuit triphasé plus neutre doit être:

- Pour les circuits avec une section du conducteur de phase jusqu'à 16 mm² inclus, 100 % de celle des phases correspondantes.
- Pour les circuits avec une section du conducteur de phase supérieure à 16 mm², 50 % de celle des phases correspondantes avec une valeur minimale de 16 mm².

On suppose que les courants de neutre n'excèdent pas 50 % des valeurs des courants de phase.

NOTE Pour certaines réalisations qui génèrent des valeurs élevées d'harmoniques homopolaires (par exemple des harmoniques de rang 3), des sections plus importantes du conducteur N peuvent être nécessaires dans la mesure où ces harmoniques des phases s'additionnent dans le conducteur N et génèrent un courant élevé à des fréquences plus élevées. Ces exigences sont soumises à accord particulier entre le constructeur d'ENSEMBLES et l'utilisateur.

Le PEN doit être dimensionné tel que spécifié en 8.4.3.2.3.

8.6.2 Circuits auxiliaires

La conception des circuits auxiliaires doit prendre en compte l'installation de mise à la terre de l'alimentation et assurer qu'un défaut à la terre ou un défaut entre une partie active et une masse ne doit pas provoquer de fonctionnement intempestif dangereux.

En général, les circuits auxiliaires doivent être protégés contre les effets des courts-circuits. Cependant, un dispositif de protection contre les courts-circuits ne doit pas être fourni si son fonctionnement est susceptible de causer un danger. Dans ce type de cas, les conducteurs des circuits auxiliaires doivent être disposés de telle manière qu'un court-circuit ne soit pas à craindre (voir 8.6.4).

8.6.3 Conducteurs nus et isolés

Les connexions des parties transportant le courant ne doivent pas subir d'altérations inadmissibles à la suite d'un échauffement normal, du vieillissement des matériaux isolants et des vibrations qui se produisent en exploitation normale. En particulier, les effets de la dilatation thermique et des couples électrochimiques dans le cas de métaux différents et les effets de la résistance des matériaux aux températures atteintes doivent être pris en considération.

Les connexions entre les parties transportant le courant doivent être établies par des moyens qui assurent une pression de contact suffisante et durable.

Si la vérification de l'échauffement est réalisée sur la base d'essais (voir 10.10.2), le choix des conducteurs et de leurs sections utilisés à l'intérieur de l'ENSEMBLE doit relever de la responsabilité du constructeur d'origine. Si la vérification de l'échauffement est réalisée selon les règles de 10.10.3, les conducteurs doivent avoir une section minimale conforme à la CEI 60364-5-52. Des exemples sur la manière d'adapter cette norme pour les conditions intérieures d'un ENSEMBLE sont indiqués dans les tableaux de l'Annexe H. En plus du courant admissible des conducteurs, le choix tient compte:

- des contraintes mécaniques auxquelles l'ENSEMBLE peut être soumis;
- du mode de pose et de fixation des conducteurs;
- du type d'isolation;
- du type des composants raccordés (par exemple, appareillage conforme à la série CEI 60947; dispositifs ou matériel électroniques).

Dans le cas de conducteurs isolés, à âme massive ou souples:

- Ceux-ci doivent être dimensionnés au moins pour la tension assignée d'isolement (voir 5.2.3) du circuit considéré.
- Les conducteurs entre deux points de raccordement ne doivent pas posséder de raccordement intermédiaire, par exemple épissé ou soudé.
- Les conducteurs qui ne possèdent qu'une isolation principale ne doivent pas reposer sur des parties nues actives à des potentiels différents.
- Tout contact des conducteurs avec des arêtes vives doit être empêché.
- Les conducteurs d'alimentation des appareils et des instruments de mesure montés sur des panneaux ou des portes doivent être installés de telle manière qu'aucun dommage mécanique ne puisse être causé aux conducteurs à la suite d'un mouvement de ces panneaux ou de ces portes.
- Les connexions soudées à des appareils ne doivent être autorisées dans les ENSEMBLES que dans le cas où les appareils sont prévus pour ce type de connexion et où le type spécifié de conducteur est utilisé.
- Pour les appareils autres que ceux mentionnés ci-dessus, des pattes soudées ou des extrémités soudées de conducteurs à âme câblée ne sont pas acceptables dans des conditions de vibrations importantes. Dans les emplacements où de fortes vibrations se

produisent en service normal, par exemple, sur les dragues et les grues, les navires, les équipements de levage et les locomotives, il convient d'accorder une attention toute particulière à la fixation des conducteurs.

- Généralement, il convient qu'un seul conducteur soit raccordé à une borne; le raccordement de deux ou plusieurs conducteurs à une seule borne est admissible uniquement dans les cas où les bornes sont conçues à cet effet.

Les dimensions de l'isolation solide entre des circuits distincts doivent se fonder sur le circuit présentant la tension assignée d'isolement la plus élevée.

8.6.4 Choix et installation de conducteurs actifs non protégés pour réduire la possibilité de courts-circuits

Dans un ENSEMBLE, les conducteurs actifs qui ne sont pas protégés par des dispositifs de protection contre les courts-circuits (voir 8.6.1 et 8.6.2) doivent être choisis et installés dans tout l'ENSEMBLE de façon telle qu'un court-circuit interne entre phases ou entre phase et terre soit très peu probable. Des exemples de types de conducteurs et d'exigences d'installation sont donnés au Tableau 4. Les conducteurs actifs non protégés choisis et installés comme dans le Tableau 4 doivent avoir une longueur totale ne dépassant pas 3 m entre le jeu de barres principal et chaque DPCC.

8.6.5 Identification des conducteurs des circuits principaux et auxiliaires

A l'exception des cas mentionnés en 8.6.6, la méthode et les repères d'identification des conducteurs, par exemple, par disposition, couleurs ou symboles, sur les bornes auxquelles ils sont raccordés ou sur la ou les extrémités des conducteurs eux-mêmes, relèvent de la responsabilité du constructeur d'ENSEMBLES et doivent être conformes aux indications des schémas et plans de câblage. Le cas échéant, l'identification conformément à la CEI 60445 et doit être appliquée.

8.6.6 Identification du conducteur de protection (PE, PEN) et du conducteur neutre (N) des circuits principaux

Le conducteur de protection doit pouvoir être facilement distingué par son emplacement et/ou son marquage ou sa couleur. Si l'identification se fait par la couleur, on ne doit utiliser que le vert et le jaune (double coloration) qui sont strictement réservés au conducteur de protection. Lorsque le conducteur de protection est un câble mono-conducteur isolé, cette identification par la couleur doit être utilisée de préférence sur toute sa longueur.

Tout conducteur neutre du circuit principal doit être facilement repérable par son emplacement et/ou son marquage ou sa couleur (voir CEI 60445 qui exige le bleu).

NOTE Dans certains pays (par exemple, USA, Australie, Afrique du Sud), d'autres couleurs sont exigées pour le conducteur neutre.

8.7 Refroidissement

Les ENSEMBLES peuvent comporter un dispositif de refroidissement naturel et/ou actif (par exemple, refroidissement forcé, climatisation interne, échangeur thermique, etc.). Si des mesures de prévention spéciales sont nécessaires sur le lieu d'installation pour assurer un refroidissement convenable, le constructeur d'ENSEMBLES doit fournir les renseignements nécessaires (par exemple, indication de la nécessité d'un espacement avec les pièces susceptibles d'empêcher la dissipation de chaleur ou de produire elles-mêmes de la chaleur).

8.8 Bornes pour conducteurs externes

Le constructeur d'ENSEMBLES doit indiquer si les bornes conviennent pour des conducteurs en cuivre ou en aluminium, ou pour les deux. Les bornes doivent être telles que les conducteurs externes puissent être raccordés par un moyen (vis, connecteurs, etc.) assurant que la pression de contact nécessaire correspondant à la valeur assignée du courant et à la résistance aux courts-circuits de l'appareil et du circuit est maintenue.

En l'absence d'accord spécial entre le constructeur d'ENSEMBLES et l'utilisateur, les bornes doivent être capables de recevoir des conducteurs en cuivre des plus petites jusqu'aux plus grandes sections correspondant au courant assigné approprié (voir Annexe A).

Lorsqu'on utilise des conducteurs en aluminium, le type, les dimensions et la méthode de raccordement des conducteurs doivent être tels que prévus dans l'accord entre le constructeur d'ENSEMBLES et l'utilisateur.

Dans le cas où des conducteurs externes destinés aux circuits électroniques à bas niveau de courant et de tension (moins de 1 A et moins de 50 V alternatif ou 120 V continu) doivent être raccordés à un ENSEMBLE, le Tableau A.1 ne s'applique pas.

L'espace disponible pour le branchement doit permettre le raccordement correct des conducteurs externes du matériau indiqué et l'épanouissement des conducteurs dans le cas de câbles multipolaires.

NOTE 1 Aux Etats-Unis (USA) et au Mexique, il convient d'utiliser les Codes Electriques Nationaux pour déterminer les exigences de courbure minimale des conducteurs. Aux USA, la norme NFPA 70, Article 312, s'applique. Au Mexique, la norme NOM-001-SEDE s'applique. Au Canada, l'espacement et les courbures des câbles sont prescrits dans le Code Electrique Canadien, Partie 2 Norme C22.2 No. 0.12, Espacement et courbure des câbles dans les enveloppes pour équipements de tension assignée jusqu'à 750 V ou moins.

Les conducteurs ne doivent pas être soumis aux contraintes qui sont susceptibles de réduire leur espérance de vie normale.

Sauf accord contraire entre le constructeur d'ENSEMBLES et l'utilisateur, sur circuits triphasés et neutres, les bornes pour le conducteur neutre doivent permettre le raccordement des conducteurs en cuivre ayant une section minimale:

- égale à la moitié de la section du conducteur de phase, avec un minimum de 16 mm², si la dimension du conducteur de phase dépasse 16 mm²;
- égale à la section entière du conducteur de phase, si la dimension de ce dernier est inférieure ou égale à 16 mm².

NOTE 2 Pour les conducteurs autres que les conducteurs en cuivre, il convient que les sections mentionnées ci-dessus soient remplacées par des sections d'une conductivité équivalente, ce qui peut exiger des bornes plus grandes.

NOTE 3 Pour certaines réalisations qui génèrent des valeurs élevées d'harmoniques homopolaires (par exemple de rang 3), des sections plus importantes du conducteur N peuvent être nécessaires dans la mesure où ces harmoniques des phases s'additionnent dans le conducteur N et génèrent un courant élevé à des fréquences également plus élevées. Ces exigences sont soumises à accord particulier entre le constructeur d'ENSEMBLES et l'utilisateur.

Si des moyens de raccordement sont prévus pour le neutre entrant et sortant pour le conducteur de protection ou pour le PEN ils doivent être disposés à proximité des bornes des conducteurs de phase associés.

NOTE 4 La CEI 60204-1 exige une section minimale du conducteur de protection et ne permet pas le raccordement du PEN à l'équipement électrique des machines.

Les ouvertures pratiquées dans les entrées de câbles, plaques de fermeture, etc., doivent être conçues de telle sorte que, lorsque les câbles sont convenablement installés, les mesures indiquées de protection contre les contacts et le degré de protection sont obtenus. Cela implique le choix de dispositifs d'entrée de câbles adaptés à l'utilisation prévue par le constructeur d'ENSEMBLES.

Les bornes des conducteurs de protection externes doivent être marquées conformément à la CEI 60445. Comme exemple, voir le symbole graphique  N° 5019 de la CEI 60417. Ce symbole n'est pas exigé dans les cas où le conducteur de protection externe est destiné à être connecté à un conducteur de protection intérieur qui est clairement identifié par les couleurs verte et jaune.

Les bornes pour le raccordement des conducteurs de protection externes (PE, PEN) et des gaines métalliques des câbles de connexion (conduit en acier, gaine en plomb, etc.) doivent, lorsque cela est exigé, être nues et, sauf spécification contraire, permettre le branchement de conducteurs en cuivre. Une borne séparée de dimension appropriée doit être fournie pour chaque sortie de conducteur(s) de protection de chaque circuit.

Sauf accord contraire entre le constructeur d'ENSEMBLES et l'utilisateur, les bornes pour conducteurs de protection doivent permettre le raccordement de conducteurs en cuivre qui possèdent une section qui dépend de la section des conducteurs de phase correspondants selon le Tableau 5.

Dans le cas d'enveloppes et de conducteurs en aluminium ou en alliages d'aluminium, une attention particulière doit être accordée au danger de corrosion électrolytique. Les moyens de connexion prévus pour assurer la continuité des parties conductrices avec les conducteurs de protection externes ne doivent avoir aucune autre fonction.

NOTE 5 Des mesures de prévention spéciales peuvent être nécessaires pour les parties métalliques de l'ENSEMBLE, en particulier les plaques de presse-étoupe, lorsqu'un fini de surface résistant à l'abrasion, par exemple un revêtement de poudre polymérisée, est utilisé.

L'identification des bornes doit être conforme à la CEI 60445 sauf indication contraire.

9 Exigences de performance

9.1 Propriétés diélectriques

9.1.1 Généralités

Chaque circuit de l'ENSEMBLE doit être capable de résister:

- aux surtensions temporaires;
- aux surtensions transitoires.

La capacité à résister aux surtensions temporaires et l'intégrité de l'isolation solide sont vérifiées par la tension de tenue à fréquence industrielle tandis que la capacité de l'ENSEMBLE à supporter les surtensions transitoires est vérifiée par la tension de tenue aux chocs.

9.1.2 Tension de tenue à fréquence industrielle

Les circuits de l'ENSEMBLE doivent être capables de supporter les tensions de tenue à fréquence industrielle appropriées données dans les Tableaux 8 et 9 (voir 10.9.2.1). La tension d'isolement assignée de tout circuit de l'ENSEMBLE doit être supérieure ou égale à sa tension maximale d'emploi.

9.1.3 Tension de tenue aux chocs

9.1.3.1 Tensions de tenue aux chocs des circuits principaux

Les distances d'isolement entre les parties actives et les masses, ainsi qu'entre les parties actives de potentiel différent, doivent pouvoir supporter la tension d'essai donnée au Tableau 10 en fonction de la tension assignée de tenue aux chocs.

La tension assignée de tenue aux chocs pour une valeur donnée de la tension assignée d'emploi ne doit pas être inférieure à celle qui correspond, dans l'Annexe G, à la tension nominale du réseau d'alimentation du circuit à l'endroit où l'ENSEMBLE doit être utilisé, et à la catégorie de surtension appropriée.

9.1.3.2 Tensions de tenue aux chocs des circuits auxiliaires

- a) Les circuits auxiliaires qui sont raccordés au circuit principal et qui fonctionnent à la tension assignée d'emploi sans aucun dispositif de réduction de la surtension, doivent être conformes aux exigences de 9.1.3.1.
- b) Les circuits auxiliaires qui ne sont pas raccordés au circuit principal peuvent avoir une tenue aux surtensions différente de celle du circuit principal. Les distances d'isolement de tels circuits, alternatifs ou continus, – doivent pouvoir supporter la tension de tenue aux chocs appropriée, conformément à l'Annexe G.

9.1.4 Protection des parafoudres

Lorsque les conditions de surtension exigent que des parafoudres soient raccordés au circuit principal, ces parafoudres doivent être protégés pour empêcher les conditions de court-circuit non contrôlées tel que spécifié par le constructeur des parafoudres.

9.2 Limites d'échauffement

L'ENSEMBLE et ses circuits doivent pouvoir conduire leurs courants assignés dans les conditions spécifiées (voir 5.3.1, 5.3.2 et 5.4), en tenant compte des caractéristiques assignées des composants, de leur disposition et application, sans dépasser les limites données dans le Tableau 6, lorsqu'ils sont vérifiés conformément à 10.10. Les limites d'échauffement données au Tableau 6 s'appliquent pour les températures moyennes de l'air ambiant inférieures ou égales à 35 °C.

L'échauffement d'un élément ou d'une partie est la différence entre la température de cet élément ou de cette partie mesurée conformément à 10.10.2.3.3 et la température de l'air ambiant à l'extérieur de l'ENSEMBLE. Si la température moyenne de l'air ambiant est supérieure à 35 °C, les limites d'échauffement doivent alors être adaptées à cette condition spéciale d'emploi, de sorte que la somme de la température ambiante et des limites d'échauffement individuelles demeure identique. Si la température moyenne de l'air ambiant est inférieure à 35 °C, la même adaptation des limites d'échauffement est admise sous réserve d'un accord entre l'utilisateur et le constructeur d'ENSEMBLES.

L'échauffement ne doit pas causer de dommage aux parties transportant le courant ou aux pièces adjacentes de l'ENSEMBLE. En particulier, pour les matériaux isolants, le constructeur d'origine doit démontrer la conformité soit par référence à l'indice de température de l'isolation (déterminé par exemple par les méthodes définies dans la CEI 60216), soit par conformité à la CEI 60085.

NOTE 1 Si les limites d'échauffement ont été modifiées pour couvrir une température ambiante différente, il peut se révéler nécessaire de modifier en conséquence le courant assigné de tous les jeux de barres, toutes les unités fonctionnelles, etc. Il convient que le constructeur d'origine indique les mesures à prendre, s'il y a lieu, afin d'assurer la conformité avec les limites de température. Pour les températures ambiantes inférieures ou égales à 50 °C, ceci peut être effectué par calcul, avec pour hypothèse la proportionnalité de la surchauffe de chaque constituant ou appareil à la puissance dissipée effective de ce constituant. Il existe des appareils pour lesquels la puissance dissipée est pratiquement proportionnelle à I^2 et d'autres qui ont des puissances dissipées pratiquement constantes.

NOTE 2 Aux Etats-Unis (USA) et au Mexique, les Codes Electriques Nationaux sont utilisés pour spécifier les échauffements maximum. Aux USA, la norme NFPA 70, Article 110.14C, s'applique. Au Mexique, le code NOM-001-SEDE s'applique. Pour ces réalisations, il convient que les échauffements soient choisis en utilisant l'Annexe M, Tableau M.1 de la présente norme. Au Canada, l'échauffement maximal est prescrit dans le Code Electrique Canadien, Partie 2, Normes de Sécurité des Produits.

9.3 Protection contre les courts-circuits et tenue aux courts-circuits

9.3.1 Généralités

Les ENSEMBLES doivent être capables de résister aux contraintes thermiques et dynamiques résultant de courants de court-circuit ne dépassant pas les valeurs assignées.

NOTE 1 Les contraintes de court-circuit peuvent être réduites par l'utilisation de dispositifs limiteurs de courant, par exemple, inductances, fusibles limiteurs de courant ou autres dispositifs de coupure limiteurs de courant.

Les ENSEMBLES doivent être protégés contre les courants de court-circuit au moyen, par exemple, de disjoncteurs, de coupe-circuit à fusibles ou d'une combinaison des deux, qui peuvent être soit incorporés à l'ENSEMBLE, soit disposés à l'extérieur de celui-ci.

NOTE 2 Pour les ENSEMBLES conçus pour être utilisés dans les schémas IT (voir la CEI 60364-5-52), il convient que le dispositif de protection contre les courts-circuits ait un pouvoir de coupure suffisant sur chaque pôle sous la tension entre phases pour éliminer un double défaut à la terre.

NOTE 3 Sauf spécification contraire dans les instructions d'utilisation et de maintenance du constructeur d'ENSEMBLES, les ENSEMBLES qui ont subi un court-circuit peuvent ne pas être adaptés à une remise en service ultérieure sans un examen et/ou une maintenance par du personnel qualifié.

9.3.2 Indications concernant la tenue aux courts-circuits

Pour les ENSEMBLES où un dispositif de protection contre les courts-circuits (DPCC) est incorporé à l'unité d'arrivée, le constructeur d'ENSEMBLES doit indiquer la valeur maximale admissible du courant de court-circuit présumé aux bornes d'arrivée de l'ENSEMBLE. Cette valeur ne doit pas être supérieure à la (aux) caractéristique(s) assignée(s) appropriées (voir 5.3.3, 5.3.4 et 5.3.5). Le facteur de puissance et les valeurs de crête correspondants doivent être ceux qui sont indiqués en 9.3.3.

Si l'on utilise un disjoncteur à déclenchement temporisé comme dispositif de protection contre les courts-circuits, le constructeur d'ENSEMBLES doit spécifier la temporisation maximale et le réglage correspondant au courant de court-circuit présumé indiqué.

Pour les ENSEMBLES dont le dispositif de protection contre les courts-circuits n'est pas incorporé à l'unité d'arrivée, le constructeur d'ENSEMBLES doit indiquer la tenue aux courts-circuits d'une ou de plusieurs des manières suivantes:

- a) courant assigné de courte durée admissible (I_{cw}) ainsi que la durée correspondante (voir 5.3.4) et la valeur de crête du courant assigné admissible (I_{pk}) (voir 5.3.3);
- b) courant assigné de court-circuit conditionnel (I_{cc}) (voir 5.3.5).

Pour les durées n'excédant pas une durée maximale de 3 s, la relation entre le courant assigné de courte durée et la durée est donnée par la formule $I^2 t = \text{constante}$, sous réserve que la valeur de crête ne dépasse pas la valeur de crête du courant assigné admissible.

Le constructeur d'ENSEMBLES doit indiquer les caractéristiques des dispositifs de protection contre les courts-circuits nécessaires à la protection de l'ENSEMBLE.

Pour un ENSEMBLE ayant plusieurs unités d'arrivée non susceptibles de fonctionner simultanément, la tenue aux courts-circuits peut être indiquée pour chacune des unités d'arrivée conformément à ce qui précède.

Pour un ENSEMBLE ayant plusieurs unités d'arrivée susceptibles de fonctionner simultanément, et pour un ENSEMBLE ayant une unité d'arrivée et une ou plusieurs unités de sortie de grande puissance susceptibles de contribuer au courant de court-circuit, il est nécessaire de déterminer les valeurs du courant de court-circuit présumé dans chaque unité d'arrivée, dans chaque unité de départ et dans les jeux de barres sur la base des données fournies par l'utilisateur.

9.3.3 Relation entre le courant de crête et le courant de courte durée

Pour déterminer les contraintes électrodynamiques, la valeur du courant de crête doit être obtenue en multipliant la valeur efficace du courant de court-circuit par le facteur n . Les valeurs du facteur n et le facteur de puissance correspondant sont donnés au Tableau 7.

9.3.4 Coordination des dispositifs de protection

La coordination des dispositifs de protection à l'intérieur de l'ENSEMBLE avec ceux destinés à être utilisés à l'extérieur de l'ENSEMBLE doit faire l'objet d'un accord entre le constructeur

d'ENSEMBLES et l'utilisateur. Les indications données dans le catalogue du constructeur d'ENSEMBLES peuvent tenir lieu d'un tel accord.

Si les conditions de service exigent une continuité maximale d'alimentation, il convient que les réglages ou le choix des dispositifs de protection contre les courts-circuits à l'intérieur de l'ENSEMBLE soient, si possible, fixés de telle sorte qu'un court-circuit se produisant dans tout circuit de départ soit éliminé par l'appareil de connexion installé dans le circuit sans affecter les autres circuits de départ, assurant ainsi la sélectivité du système de protection.

Lorsque les dispositifs de protection contre les courts-circuits sont raccordés en série et sont prévus pour fonctionner simultanément pour atteindre le pouvoir de coupure en court-circuit spécifié (protection d'accompagnement), le constructeur d'ENSEMBLES doit informer l'utilisateur (par exemple, par une étiquette d'avertissement dans l'ENSEMBLE ou par les instructions d'exploitation, voir 6.2) qu'aucun des dispositifs de protection ne peut être remplacé par un autre appareil sauf si cet appareil est de type et de caractéristiques assignées identiques et s'il a été soumis à essai et validé conjointement à l'appareil d'accompagnement; dans le cas contraire le pouvoir de coupure de la combinaison complète d'appareils serait compromis.

9.4 Compatibilité électromagnétique (CEM)

Pour les exigences de performance liées à la CEM, voir J.9.4 de l'Annexe J.

10 Vérification de la conception

10.1 Généralités

La vérification de la conception est destinée à vérifier la conformité de la conception d'un ENSEMBLE ou d'un système d'ENSEMBLES avec les exigences de la présente série de normes.

Lorsque des essais sur l'ENSEMBLE ont été réalisés conformément à la série CEI 60439, et que les résultats d'essai satisfont aux exigences de la partie appropriée de la CEI 61439, il n'est pas nécessaire de répéter la vérification de ces exigences.

La répétition des vérifications selon les normes des appareils de connexion ou des composants incorporés à l'intérieur de l'ENSEMBLE qui ont été choisis conformément à 8.5.3 et installés selon les instructions de leur constructeur n'est pas exigée. Les essais propres aux appareils selon leurs normes de produit respectives ne constituent pas une alternative aux vérifications de la conception selon la présente norme.

Si des modifications sont apportées à l'ENSEMBLE vérifié, les spécifications de l'Article 10 doivent être utilisées pour vérifier si ces modifications sont de nature à affecter les performances de l'ENSEMBLE. Une nouvelle vérification doit être effectuée si un effet défavorable est probable.

Les différentes méthodes comprennent:

- des essais de vérification;
- une comparaison de vérification avec une conception de référence éprouvée par essai;
- une évaluation de vérification, c'est-à-dire la vérification de l'application correcte des calculs et des règles de conception, y compris l'emploi de marges de sécurité appropriées.

Voir Annexe D.

Lorsqu'il existe plusieurs méthodes pour une même vérification, ces méthodes sont considérées équivalentes et le choix de la méthode appropriée relève de la responsabilité du constructeur d'origine.

Les essais doivent être effectués sur un échantillon représentatif d'un ENSEMBLE, dans un état propre et neuf.

Les performances de l'ENSEMBLE peuvent être affectées par les essais de vérification (par exemple, essai de court-circuit). Il convient de ne pas réaliser ces essais sur un ENSEMBLE qui est destiné à être mis en service.

Un ENSEMBLE qui est vérifié conformément à la présente norme par un constructeur d'origine (voir 3.10.1) et qui est fabriqué ou assemblé par un autre constructeur ne doit pas subir à nouveau les vérifications de conception d'origine si toutes les exigences et instructions spécifiées et fournies par le constructeur d'origine sont satisfaites dans leur intégralité. Lorsque le constructeur d'ENSEMBLES incorpore ses propres dispositions non comprises dans la vérification du constructeur d'origine, il est réputé être le constructeur d'origine en ce qui concerne ces dispositions.

La vérification de conception doit comprendre ce qui suit:

a) Construction:

- 10.2 Résistance des matériaux et des parties;
- 10.3 Degré de protection procuré par les enveloppes;
- 10.4 Distances d'isolement et lignes de fuite;
- 10.5 Protection contre les chocs électriques et intégrité des circuits de protection;
- 10.6 Intégration des appareils de connexion et des composants;
- 10.7 Circuits électriques internes et connexions;
- 10.8 Bornes pour conducteurs externes.

b) Performances:

- 10.9 Propriétés diélectriques;
- 10.10 Vérification de l'échauffement;
- 10.11 Tenue aux courts-circuits;
- 10.12 Compatibilité électromagnétique;
- 10.13 Fonctionnement mécanique.

Les conceptions de référence, le nombre d'ENSEMBLES ou de pièces d'ENSEMBLES utilisés pour la vérification, le choix de la méthode de vérification le cas échéant et l'ordre dans lequel les vérifications sont réalisées doivent être laissés à l'initiative du constructeur d'origine.

Les données utilisées, les calculs effectués et les comparaisons réalisées dans le cadre de la vérification des ENSEMBLES doivent être consignés dans des rapports de vérification.

10.2 Résistance des matériaux et des parties

10.2.1 Généralités

Les capacités mécaniques, électriques et thermiques des matériaux de construction et des pièces de l'ENSEMBLE doivent être réputées prouvées par la vérification des caractéristiques de construction et de performance.

Lorsqu'une enveloppe vide conforme à la CEI 62208 est utilisée et qu'elle n'a pas été modifiée d'une manière pouvant dégrader ses performances, aucun essai supplémentaire de cette dernière selon 10.2 n'est exigé.

10.2.2 Résistance à la corrosion

10.2.2.1 Procédure d'essai

La résistance à la corrosion d'échantillons représentatifs des enveloppes en métal ferreux et des pièces de construction internes et externes en métal ferreux de l'ENSEMBLE doit être vérifiée.

L'essai doit être réalisé sur:

- une enveloppe ou un échantillon d'enveloppe représentatif équipés de pièces internes représentatives dont la (les) porte(s) est (sont) fermée(s) comme en utilisation normale, ou
- des parties d'enveloppe et des parties internes représentatives séparées.

Dans tous les cas, les charnières, les dispositifs de blocage et les moyens de fixation doivent également être soumis aux essais à moins d'avoir subi au préalable un essai équivalent et que leur résistance à la corrosion n'ait pas été affectée par leur mise en œuvre.

Lorsque l'enveloppe est soumise à l'essai, elle doit être montée comme en usage normal selon les instructions du constructeur d'origine.

Les échantillons d'essai doivent être neufs et propres et doivent par ailleurs être soumis à l'essai de sévérité A ou B, tel qu'indiqué en 10.2.2.2 et 10.2.2.3.

NOTE L'essai au brouillard salin fournit une atmosphère qui accélère la corrosion et n'implique pas que l'ENSEMBLE soit adapté à une atmosphère chargée en sel.

10.2.2.2 Essai de sévérité A

Cet essai s'applique:

- aux enveloppes métalliques pour installation à l'intérieur;
- aux parties externes métalliques des ENSEMBLES pour installation à l'intérieur;
- aux parties internes métalliques des ENSEMBLES pour installation à l'intérieur et à l'extérieur dont le fonctionnement mécanique prévu peut dépendre.

L'essai se compose de:

6 cycles de 24 h chacun pour l'essai cyclique de chaleur humide conformément à la CEI 60068-2-30 (Essai Db) à $(40 \pm 3) ^\circ\text{C}$ et avec une humidité relative de 95 %

et

2 cycles de 24 h chacun pour l'essai au brouillard salin conformément à la CEI 60068-2-11; (Essai Ka: brouillard salin), à une température de $(35 \pm 2) ^\circ\text{C}$.

10.2.2.3 Essai de sévérité B

Cet essai s'applique:

- aux enveloppes métalliques pour installation à l'extérieur;
- aux parties externes métalliques des ENSEMBLES pour installation à l'extérieur.

L'essai comprend deux périodes identiques de 12 jours.

Chaque période de 12 jours comprend:

5 cycles de 24 h chacun pour l'essai cyclique de chaleur humide conformément à la CEI 60068-2-30 (Essai Db) à $(40 \pm 3) ^\circ\text{C}$ et avec une humidité relative de 95 %

et

7 cycles de 24 h chacun pour l'essai au brouillard salin conformément à la CEI 60068-2-11; (essai Ka: brouillard salin), à une température de $(35 \pm 2) ^\circ\text{C}$.

10.2.2.4 Résultats à obtenir

A l'issue de l'essai, l'enveloppe ou les échantillons doivent être lavés à l'eau courante sous le robinet pendant 5 min, rincés dans de l'eau distillée ou déminéralisée puis secoués ou soumis à un courant d'air pour éliminer les gouttes d'eau. L'échantillon en essai doit ensuite être stocké dans les conditions normales d'emploi pendant 2 h.

La conformité est vérifiée par un examen visuel pour démontrer:

- qu'il n'y a pas de trace d'oxyde de fer, de fissure ou d'autre détérioration supérieure aux valeurs admises dans l'ISO 4628-3 pour un degré d'enrouillement Ri1. La détérioration de la surface du revêtement de protection est toutefois admise. En cas de doute concernant les peintures et les vernis, on doit se référer à l'ISO 4628-3 pour vérifier que les échantillons sont conformes au spécimen Ri1;
- que l'intégrité mécanique n'est pas affectée;
- que les joints ne sont pas endommagés;
- que les portes, charnières, dispositifs de blocage et de fixation fonctionnent sans effort anormal.

10.2.3 Propriétés des matériaux isolants

10.2.3.1 Vérification de la stabilité thermique des enveloppes

La stabilité thermique des enveloppes fabriquées en matériau isolant doit être vérifiée par l'essai de chaleur sèche. L'essai doit être réalisé conformément à la CEI 60068-2-2 Essai Bb, à une température de $70 ^\circ\text{C}$, avec une circulation naturelle de l'air, pendant une durée de 168 h et avec une durée de reprise de 96 h.

Les parties à usage décoratif qui n'ont pas de rôle technique ne doivent pas être prises en compte pour cet essai.

L'enveloppe, montée comme en usage normal, est soumise à un essai dans une étuve avec une atmosphère ayant la composition et la pression de l'air ambiant et ventilée par circulation naturelle. Si les dimensions de l'enveloppe sont trop grandes pour l'étuve disponible, l'essai peut être effectué sur un échantillon représentatif de l'enveloppe.

Il est recommandé d'utiliser une étuve électrique.

La circulation naturelle peut être assurée par des trous dans les parois de l'étuve.

L'enveloppe ou l'échantillon ne doit pas présenter de craquelure visible avec une vision normale ou corrigée sans grossissement complémentaire et le matériau ne doit pas être devenu collant ou gras, cet aspect étant jugé comme suit:

L'index étant enroulé dans une pièce sèche de tissu brut, on appuie sur l'échantillon avec une force de 5 N.

NOTE La force de 5 N peut être obtenue de la manière suivante: l'enveloppe ou l'échantillon est placé sur un des plateaux d'une balance tandis que l'autre plateau est chargé avec une masse égale à la masse de l'échantillon

plus 500 g. On restaure ensuite l'équilibre de la balance en exerçant une pression verticale sur l'échantillon avec l'index entouré d'une pièce sèche de tissu brut.

Le tissu ne doit laisser aucune trace sur l'échantillon et le matériau de l'enveloppe ou de l'échantillon ne doit pas coller au tissu.

10.2.3.2 Vérification de la résistance des matériaux isolants à la chaleur anormale et au feu dus aux effets électriques internes

Les principes de l'essai au fil incandescent de la CEI 60695-2-10 et les détails donnés dans la CEI 60695-2-11 doivent être utilisés pour vérifier la bonne adaptation des matériaux utilisés:

- a) sur les parties des ENSEMBLES, ou
- b) sur les parties prélevées sur ces parties.

L'essai doit être réalisé sur un matériau ayant l'épaisseur minimale utilisée pour les parties décrites en a) ou b).

Si un matériau identique possède des sections représentatives dont les parties ont déjà satisfait aux exigences de 8.1.3.2.3, il n'est alors pas nécessaire de répéter cet essai. Il en est de même pour toutes les parties qui ont précédemment subi les essais selon les spécifications qui leur sont applicables.

Pour une description de l'essai, voir l'Article 4 de la CEI 60695-2-11:2000. Le dispositif à utiliser doit être tel que décrit à l'Article 5 de la CEI 60695-2-11:2000.

La température de l'extrémité du fil incandescent doit être comme suit:

- 960 °C pour les parties nécessaires pour maintenir en place les pièces transportant le courant;
- 850 °C pour les enveloppes prévues pour être montées dans des parois creuses;
- 650 °C pour toutes les autres parties, y compris les pièces nécessaires pour maintenir en place le conducteur de protection.

En variante, le constructeur d'origine doit fournir des données sur la bonne adaptation des matériaux provenant du fournisseur du matériau isolant pour démontrer la conformité aux exigences de 8.1.3.2.3.

10.2.4 Résistance aux rayonnements ultraviolets (UV)

Cet essai s'applique uniquement aux enveloppes et aux parties externes des ENSEMBLES destinés à être installés à l'extérieur et qui sont construites en matériaux isolants ou avec des métaux entièrement recouverts de matériau synthétique. Des échantillons représentatifs de telles parties doivent être soumis à l'essai suivant:

Essai UV conformément à l'ISO 4892-2, Méthode A, Cycle 1, avec une période d'essai totale de 500 h. Pour les enveloppes en matériaux isolants, la conformité est vérifiée en s'assurant que la résistance à la flexion (selon l'ISO 178) et aux chocs Charpy (selon l'ISO 179) des matériaux isolants présente une rétention minimale de 70 %.

L'essai doit être réalisé sur six échantillons de taille normale conformément à l'ISO 178 et sur six autres échantillons de taille normale conformément à l'ISO 179. Les échantillons doivent être constitués dans les mêmes conditions que celles appliquées pour la fabrication de l'enveloppe concernée.

Pour l'essai réalisé conformément à l'ISO 178, la surface de l'échantillon exposée aux UV doit être tournée face vers le bas et la pression doit être appliquée sur la surface non exposée.

Pour l'essai réalisé conformément à l'ISO 179 pour les matériaux dont la résistance aux chocs ne peut être déterminée avant exposition du fait de l'absence de toute rupture, la rupture d'un maximum de trois des échantillons exposés doit être admise.

Pour être conformes, les enveloppes construites avec des métaux entièrement recouverts de matériaux synthétiques doivent présenter une adhérence du matériau synthétique (conformément à l'ISO 2409) avec une rétention minimale de catégorie 3.

Les échantillons ne doivent pas présenter de fissures ou de détérioration visibles avec une vision normale ou corrigée sans grossissement supplémentaire.

Cet essai ne doit pas être réalisé si le constructeur d'origine peut fournir des données provenant du fournisseur du matériau pour démontrer que le matériau du même type et de la même épaisseur ou moins épais est conforme à cette exigence.

10.2.5 Levage

La conformité des ENSEMBLES comportant un dispositif de levage est vérifiée par les essais suivants.

Le nombre maximal de colonnes que le constructeur d'origine permet de lever ensemble doit être équipé de composants et/ou de lests pour obtenir une masse égale à 1,25 fois sa masse maximale pour le transport. Les portes étant fermées, il doit être levé avec les dispositifs de levage spécifiés et de la manière définie par le constructeur d'origine.

L'ENSEMBLE doit être levé de manière régulière en partant d'une position immobile, sans secousses, dans un plan vertical jusqu'à une hauteur ≥ 1 m puis redescendu de la même manière à une position immobile. Cet essai est répété encore deux fois puis l'ENSEMBLE est levé et suspendu pendant 30 min sans aucun mouvement.

A l'issue de cet essai, l'ENSEMBLE doit être levé de manière régulière et sans secousses en partant d'une position immobile jusqu'à une hauteur ≥ 1 m, puis il est déplacé de $(10 \pm 0,5)$ m horizontalement et redescendu jusqu'à une position immobile. Cette séquence doit être réalisée trois fois à une vitesse uniforme, chaque séquence étant effectuée en 1 min au maximum.

Après l'essai, les masses d'essai étant en place, l'ENSEMBLE ne doit pas présenter de fissures ou de déformations permanentes, visibles avec une vision normale ou corrigée sans agrandissement supplémentaire, susceptibles d'affecter une de ses caractéristiques.

10.2.6 Impact mécanique

Les essais d'impacts mécaniques, lorsqu'ils sont exigés par la norme particulière d'ENSEMBLES, doivent être effectués conformément à la CEI 62262.

10.2.7 Marquage

Le marquage effectué par moulage, estampage, gravage ou procédé analogue, y compris les étiquettes munies d'un revêtement plastique stratifié, ne doit pas être soumis à l'essai suivant.

L'essai est réalisé en frottant manuellement le marquage pendant 15 s à l'aide d'une pièce de tissu préalablement trempée dans l'eau puis pendant 15 s avec une pièce de tissu trempée dans de l'essence minérale.

NOTE L'essence minérale est définie comme un solvant hexane avec une teneur aromatique d'au maximum 0,1 % en volume, un indice de kauributanol de 29, un point d'ébullition initial de 65 °C, un point d'ébullition final de 69 °C et une masse volumique d'environ 0,68 g/cm³.

A l'issue de l'essai, le marquage doit être lisible à la vision normale ou corrigée sans grossissement supplémentaire.

10.3 Degré de protection procuré par les ENSEMBLES

Le degré de protection procuré conformément à 8.2.2, 8.2.3 et 8.4.2.3 doit être vérifié conformément à la CEI 60529; l'essai peut être réalisé sur un ENSEMBLE équipé représentatif dans des conditions indiquées par le constructeur d'origine. Dans les cas où une enveloppe vide conforme à la CEI 62208 est utilisée, une évaluation de la vérification doit être réalisée pour s'assurer qu'aucune modification extérieure ne donne lieu à une détérioration du degré de protection. Dans ce cas, aucun essai supplémentaire n'est requis.

Les essais IP doivent être effectués:

- avec tous les panneaux et toutes les portes en place et fermés comme en service normal;
- hors tension sauf indication contraire du constructeur d'origine.

Les ENSEMBLES qui présentent un degré de protection de IP 5X doivent être soumis aux essais selon la catégorie 2 de 13.4 de la CEI 60529:1989.

Les ENSEMBLES qui présentent un degré de protection de IP 6X doivent être soumis aux essais selon la catégorie 1 de 13.4 de la CEI 60529:1989.

Le dispositif d'essai pour IP X3 et IP X4 ainsi que le type de support pour l'enveloppe au cours de l'essai IP X4 doivent être indiqués dans le rapport d'essai.

L'essai IP X1 peut être réalisé par déplacement de la boîte d'égouttage et non par rotation de l'ENSEMBLE.

Pour les essais IP X1 à IP X6 réalisés sur un ENSEMBLE, la pénétration d'eau est admissible uniquement dans le cas où le point d'entrée est évident et que l'eau n'est en contact qu'avec la structure de l'enveloppe à un endroit où elle n'affecte pas la sécurité

L'essai IP 5X est considéré comme non satisfaisant si une quantité dangereuse de poussière est visible sur le matériel électrique contenu dans l'enveloppe.

10.4 Distances d'isolement et lignes de fuite

Il doit être vérifié que les distances d'isolement et les lignes de fuite sont conformes aux exigences de 8.3.

Les distances d'isolement et les lignes de fuite doivent être mesurées conformément à l'Annexe F.

10.5 Protection contre les chocs électriques et intégrité des circuits de protection

10.5.1 Efficacité du circuit de protection

L'efficacité du circuit de protection est vérifiée pour les fonctions suivantes:

- a) protection contre les conséquences d'un défaut à l'intérieur d'un ENSEMBLE (défaits internes) comme indiqué en 10.5.2, et
- b) protection contre les conséquences de défauts dans les circuits externes alimentés par l'intermédiaire de l'ENSEMBLE (défaits externes) comme indiqué en 10.5.3.

10.5.2 Continuité du circuit de terre entre les masses de l'ENSEMBLE et le circuit de protection

Il doit être vérifié que les différentes masses de l'ENSEMBLE sont effectivement raccordées à la borne du conducteur de protection externe d'arrivée et que la résistance du circuit ne dépasse pas 0,1 Ω .

La vérification doit être effectuée en utilisant un instrument de mesure de la résistance qui soit capable de conduire un courant d'au moins 10 A (en alternatif ou en continu). On fait passer le courant entre chaque masse et la borne pour le conducteur de protection externe. La résistance ne doit pas dépasser 0,1 Ω .

NOTE Il est recommandé de limiter la durée de l'essai lorsque des équipements de faible puissance peuvent être affectés par l'essai.

10.5.3 Tenue aux courts-circuits du circuit de protection

10.5.3.1 Généralités

La tenue assignée aux courants de courts-circuits doit être vérifiée. La vérification peut être effectuée par comparaison avec une conception de référence ou par essai comme détaillé de 10.5.3.3 à 10.5.3.5.

Le constructeur d'origine doit déterminer la ou les conceptions de référence qui sont utilisées en 10.5.3.3 et en 10.5.3.4.

10.5.3.2 Circuits de protection exemptés de la vérification de tenue aux courts-circuits

Lorsqu'un conducteur de protection séparé est prévu conformément à 8.4.3.2.3, les essais de court-circuit ne sont pas exigés si l'une des conditions de 10.11.2 est satisfaite.

10.5.3.3 Vérification par comparaison avec une conception de référence – Utilisation d'une liste de contrôle

La vérification est réalisée lorsque la comparaison de l'ENSEMBLE à vérifier avec une conception ayant déjà été soumise aux essais en utilisant les points 1 à 6 et 8 à 10 de la liste de contrôle du Tableau 13 ne montre aucune divergence.

Pour assurer le même courant admissible pour la partie du courant de défaut qui circule entre les masses, la conception, le nombre et la disposition des parties qui assurent un contact entre le conducteur de protection et les masses, doivent être identiques à ceux observés dans la conception de référence soumise à essai.

10.5.3.4 Vérification par comparaison avec une conception de référence – Utilisation de calculs

La vérification par comparaison avec une conception de référence basée sur le calcul doit être conforme à 10.11.4.

Pour assurer le même courant admissible pour la partie du courant de défaut qui circule entre les masses, la conception, le nombre et la disposition des parties qui assurent un contact entre le conducteur de protection et les masses, doivent être identiques à ceux observés dans la conception de référence soumise à essai.

10.5.3.5 Vérification par essai

Le paragraphe 10.11.5.6 s'applique.

10.6 Intégration des appareils de connexion et des composants

10.6.1 Généralités

La conformité avec les exigences de conception de 8.5 pour l'intégration des appareils de connexion et des composants doit être vérifiée par un examen du constructeur d'origine.

10.6.2 Compatibilité électromagnétique

La bonne application des exigences de performances de J.9.4 en matière de compatibilité électromagnétique doit être vérifiée par un examen ou, si nécessaire, par un essai (voir J.10.12).

10.7 Circuits électriques internes et connexions

La conformité aux exigences de conception de 8.6 pour les circuits électriques internes et les connexions doit être vérifiée par un examen du constructeur d'origine.

10.8 Bornes pour conducteurs externes

La conformité aux exigences de conception de 8.8 pour les bornes pour conducteurs externes doit être vérifiée par un examen du constructeur d'origine.

10.9 Propriétés diélectriques

10.9.1 Généralités

Pour cet essai, tous les matériels électriques de l'ENSEMBLE doivent être raccordés, à l'exception des appareils qui, selon les spécifications applicables, sont conçus pour une tension d'essai inférieure; les appareils qui absorbent du courant (par exemple, enroulements, instruments de mesure, dispositifs pour la suppression des tensions de choc) dans lesquels l'application de la tension d'essai provoquerait le passage d'un courant, doivent être déconnectés. Ces appareils doivent être déconnectés à l'une de leurs bornes à moins qu'ils ne soient pas conçus pour résister à la pleine tension d'essai auquel cas toutes les bornes peuvent être déconnectées.

Pour les tolérances des tensions d'essai et le choix des moyens d'essai, voir la CEI 61180.

10.9.2 Tension de tenue à fréquence industrielle

10.9.2.1 Circuits principaux, auxiliaires et de commande

Les circuits principaux, auxiliaires et de commande connectés au circuit principal doivent être soumis à la tension d'essai selon le Tableau 8.

Les circuits auxiliaires et de commande, qu'ils soient en courant continu ou en courant alternatif, et qui ne sont pas connectés au circuit principal doivent être soumis à la tension d'essai selon le Tableau 9.

10.9.2.2 Tension d'essai

La tension d'essai doit avoir une forme pratiquement sinusoïdale et une fréquence comprise entre 45 Hz et 65 Hz.

Le transformateur à haute tension utilisé pour l'essai doit être conçu de telle sorte que, lorsque les bornes de sortie sont en court-circuit après l'ajustement de la tension de sortie à la tension d'essai appropriée, le courant de sortie soit au moins égal à 200 mA.

Le relais à maximum de courant ne doit pas se déclencher lorsque le courant de sortie est inférieur à 100 mA.

La valeur de la tension d'essai doit être celle spécifiée dans les Tableaux 8 ou 9 le cas échéant avec la tolérance autorisée de $\pm 3 \%$.

10.9.2.3 Application de la tension d'essai

La tension à fréquence industrielle au moment de l'application ne doit pas dépasser 50 % de la pleine valeur d'essai. Elle doit ensuite être augmentée de manière régulière jusqu'à sa pleine valeur et y être maintenue pendant $5 \left(\begin{smallmatrix} +2 \\ 0 \end{smallmatrix} \right)$ s comme suit:

- a) entre toutes les parties actives du circuit principal raccordées entre elles (y compris les circuits de commande et auxiliaires raccordés au circuit principal) et les masses, avec les contacts principaux de tous les appareils de connexion en position fermée ou pontés par une barrette adaptée de résistance faible;
- b) entre chaque partie active de potentiel différent du circuit principal et, les autres parties actives de potentiel différent et les masses raccordées entre elles, avec les contacts principaux de tous les appareils de connexion en position fermée ou pontés par une barrette adaptée de résistance faible;
- c) entre chaque circuit de commande et auxiliaire qui n'est normalement pas raccordé au circuit principal et
 - le circuit principal;
 - les autres circuits;
 - les masses.

10.9.2.4 Critères d'acceptation

Le relais à maximum de courant ne doit pas fonctionner et il ne doit pas se produire de décharge disruptive (voir 3.6.17) au cours des essais.

10.9.3 Tension de tenue aux chocs

10.9.3.1 Généralités

La vérification doit être effectuée par un essai ou par évaluation.

En remplacement de l'essai de tension de tenue aux chocs, le constructeur d'origine peut réaliser, à sa discrétion, un essai sous une tension équivalente en courant continu ou en courant alternatif, conformément à 10.9.3.3 ou 10.9.3.4.

10.9.3.2 Essai de tension de tenue aux chocs

Le générateur de tensions de choc doit être réglé pour la tension de choc prescrite avec l'ENSEMBLE raccordé. La valeur de la tension d'essai doit être celle spécifiée en 9.1.3. La précision de la tension de crête appliquée doit être de $\pm 3 \%$.

Les circuits auxiliaires qui ne sont pas raccordés aux circuits principaux doivent être raccordés à la terre. La tension de choc de 1,2/50 μ s doit être appliquée à l'ENSEMBLE cinq fois pour chaque polarité à des intervalles de 1 s au minimum comme suit:

- a) entre toutes les parties actives de potentiel différent du circuit principal raccordées entre elles (y compris les circuits de commande et auxiliaires raccordés au circuit principal) et les masses, avec les contacts principaux de tous les appareils de connexion en position fermée ou pontés par une barrette adaptée à résistance faible;
- b) entre chaque partie active de potentiel différent du circuit principal et, les autres parties actives de potentiel différent et les masses raccordées entre elles, avec les contacts principaux de tous les appareils de connexion en position fermée ou pontés par une barrette adaptée à résistance faible;

- c) entre chaque circuit de commande et auxiliaire qui n'est normalement pas raccordé au circuit principal et
- le circuit principal;
 - les autres circuits;
 - les masses.

Pour un résultat acceptable, il ne doit pas se produire de décharge disruptive au cours des essais.

10.9.3.3 Essai alternatif sous une tension à fréquence industrielle

La tension d'essai doit avoir une forme d'onde pratiquement sinusoïdale et une fréquence comprise entre 45 Hz et 65 Hz.

Le transformateur à haute tension utilisé pour l'essai doit être conçu de telle sorte que, lorsque les bornes de sortie sont en court-circuit après l'ajustement de la tension de sortie à la tension d'essai appropriée, le courant de sortie doit au moins être égal à 200 mA.

Le relais à maximum de courant ne doit pas se déclencher lorsque le courant de sortie est inférieur à 100 mA.

La valeur de la tension d'essai doit être celle spécifiée en 9.1.3 et au Tableau 10 le cas échéant avec la tolérance autorisée de $\pm 3\%$.

La tension à fréquence industrielle doit être appliquée une fois, à sa pleine valeur, pendant une durée suffisante pour vérifier l'amplitude et qui ne soit pas inférieure à 15 ms.

Elle doit être appliquée à l'ENSEMBLE tel qu'indiqué en 10.9.3.2 a), b) et c) ci-dessus.

Pour un résultat acceptable, le relais à maximum de courant ne doit pas fonctionner et il ne doit pas se produire de décharge disruptive au cours des essais.

10.9.3.4 Essai alternatif sous tension continue

La tension d'essai doit avoir une ondulation négligeable.

La source à haute tension utilisée pour l'essai doit être conçue de telle sorte que, lorsque les bornes de sortie sont en court-circuit après l'ajustement de la tension de sortie à la tension d'essai appropriée, le courant de sortie doit au moins être égal à 200 mA.

Le relais à maximum de courant ne doit pas se déclencher lorsque le courant de sortie est inférieur à 100 mA.

La valeur de la tension d'essai doit être celle spécifiée en 9.1.3 et au Tableau 10 le cas échéant avec la tolérance autorisée de $\pm 3\%$.

La tension continue doit être appliquée une seule fois pour chaque polarité pendant une durée suffisante pour évaluer l'amplitude, mais ne doit être ni inférieure à 15 ms, ni supérieure à 100 ms.

Elle doit être appliquée à l'ENSEMBLE tel qu'indiqué en 10.9.3.2 a) et b) ci-dessus.

Le relais à maximum de courant ne doit pas fonctionner et il ne doit pas se produire de décharge disruptive au cours des essais.

10.9.3.5 Evaluation de vérification

Les distances d'isolement doivent être vérifiées par des mesures ou par la vérification des mesures sur les dessins de conception en utilisant les méthodes de mesure indiquées à l'Annexe F. Les distances d'isolement doivent être au moins égales à 1,5 fois les valeurs spécifiées au Tableau 1.

NOTE Le facteur 1,5 concernant les valeurs du Tableau 1 est appliqué pour éviter les essais de tension de tenue aux chocs pour la vérification de conception. Il s'agit d'un facteur de sécurité qui prend en compte les tolérances de fabrication.

Il doit être vérifié par évaluation des données du constructeur de chaque appareil que tous les appareils incorporés sont adaptés à la tension assignée de tenue aux chocs spécifiée (U_{imp}).

10.9.4 Essais des enveloppes en matériau isolant

Pour les ENSEMBLES avec enveloppes en matériau isolant, un essai diélectrique complémentaire doit être effectué en appliquant une tension d'essai alternative entre une feuille métallique placée sur l'extérieur de l'enveloppe sur les ouvertures et les jonctions et les parties actives interconnectées et les masses à l'intérieur de l'ENSEMBLE situées près des ouvertures et des jonctions. Pour cet essai complémentaire, la tension d'essai doit être égale à 1,5 fois les valeurs indiquées au Tableau 8.

10.9.5 Poignées de manœuvre externes en matériau isolant

Dans le cas de poignées faites ou recouvertes d'un matériau isolant, un essai diélectrique doit être réalisé par application d'une tension d'essai égale à 1,5 fois la tension d'essai indiquée dans le Tableau 8 entre les parties actives et une feuille métallique enroulée tout autour de la poignée. Pendant cet essai, les masses ne doivent pas être mises à la terre ou connectées à tout autre circuit.

10.10 Vérification de l'échauffement

10.10.1 Généralités

On doit vérifier que les limites d'échauffement spécifiées en 9.2 pour les différentes parties de l'ENSEMBLE ou du système d'ENSEMBLES ne sont pas dépassées.

La vérification doit être réalisée en appliquant une ou plusieurs des méthodes suivantes (voir l'Annexe O pour des recommandations):

- a) des essais (10.10.2);
- b) une déduction des caractéristiques assignées des variantes similaires (à partir de la conception soumise à essais) (10.10.3);
- c) des calculs, selon 10.10.4.2 pour les ENSEMBLES à un seul compartiment jusqu'à 630 A, ou selon 10.10.4.3 pour les ENSEMBLES jusqu'à 1 600 A.

Dans le cas d'ENSEMBLES dont la fréquence assignée est supérieure à 60 Hz, la vérification de l'échauffement par un essai (10.10.2) ou par déduction à partir d'une conception similaire déjà soumise à des essais à la même fréquence (10.10.3) est toujours exigée.

Le courant admissible dépend du courant assigné (voir 5.3.2) et du facteur de diversité assigné (voir 5.4).

10.10.2 Vérification par des essais

10.10.2.1 Généralités

La vérification par un essai comprend les étapes suivantes:

- a) Si le système d'ENSEMBLES à vérifier comprend plusieurs variantes, alors la (les) configuration(s) la (les) plus défavorable(s) doit (doivent) être choisie(s) selon 10.10.2.2.
- b) La (les) variante(s) sélectionnée(s) doit (doivent) être vérifiée(s) par une des méthodes suivantes (voir Annexe O):
 - 1) examen collectif de chaque unité fonctionnelle, des jeux de barres principaux et de distribution et de l'ENSEMBLE, selon 10.10.2.3.5;
 - 2) examen séparé de chaque unité fonctionnelle et de l'ENSEMBLE complet y compris les jeux de barres principaux et les jeux de barres de distribution, selon 10.10.2.3.6;
 - 3) examen séparé de chaque unité fonctionnelle, des jeux de barres principaux, des jeux de barres de distribution, et de l'ENSEMBLE complet, selon 10.10.2.3.7.
- c) Lorsque la ou les variante(s) soumise(s) à l'essai est (sont) la (les) variante(s) la (les) plus défavorable(s) d'un système d'ENSEMBLES, alors les résultats d'essai peuvent être utilisés pour établir les caractéristiques assignées de variantes similaires sans autres essais. Les règles concernant ces déductions sont données en 10.10.3

10.10.2.2 Choix de la (des) configuration(s) représentative(s)

10.10.2.2.1 Généralités

L'essai doit être réalisé sur une ou plusieurs configuration(s) représentative(s) alimentant une ou plusieurs combinaisons de charges représentatives, choisies de façon à obtenir avec une précision raisonnable l'échauffement le plus élevé possible.

Le choix des configurations représentatives à soumettre à des essais est donné en 10.10.2.2.2 et 10.10.2.2.3 et relève de la responsabilité du constructeur d'origine. Pour ce choix, le constructeur d'origine doit prendre en considération dans son choix d'essai les variantes qui devront faire l'objet de déductions à partir des configurations soumises aux essais selon 10.10.3.

10.10.2.2.2 Jeux de barres

Dans le cas de systèmes de jeux de barres constitués d'un ou plusieurs conducteur(s) de section rectangulaire, dont les variantes ne diffèrent que par la réduction d'un ou de plusieurs des grandeurs suivantes

- hauteur,
- épaisseur,
- nombre de barres par conducteur,

et qui ont

- la même configuration de barres,
- le même espacement entre les conducteurs,
- la même enveloppe et
- le même compartiment de jeu de barres (le cas échéant),

on doit choisir comme échantillon représentatif pour l'essai au moins le jeu de barres dont la section est la plus élevée. Pour les caractéristiques assignées des variantes de jeux de barres plus petites ou pour d'autres matériaux, voir 10.10.3.3.

10.10.2.2.3 Unités fonctionnelles

a) Choix de groupes d'unités fonctionnelles comparables

Des unités fonctionnelles prévues pour différents courants assignés peuvent être considérées comme ayant un comportement thermique similaire et comme formant un groupe d'unités comparables, si elles remplissent les conditions suivantes:

- 1) la fonction et le schéma de câblage de base du circuit principal sont les mêmes (par exemple, unité d'arrivée, démarreur inverseur, câble d'alimentation);
- 2) les appareils ont un cadre de dimension identique et appartiennent à la même série;
- 3) la structure de montage est du même type;
- 4) la disposition des appareils les uns par rapport aux autres est la même;
- 5) le type et la disposition des conducteurs sont les mêmes;
- 6) la section des conducteurs du circuit principal à l'intérieur d'une unité fonctionnelle doit avoir une caractéristique au moins égale à celle de l'appareil du circuit qui présente les caractéristiques assignées les plus faibles. Les câbles doivent être choisis sur la base d'essais ou conformément à la CEI 60364-5-52. Des exemples sur la façon d'adapter la présente norme aux conditions à l'intérieur d'un ENSEMBLE sont donnés dans les tableaux de l'Annexe H. La section des barres doit être choisie sur la base d'essais ou conformément à l'Annexe N.

b) Choix d'une variante critique dans chaque groupe comme échantillon d'essai

La variante critique soumise aux essais doit comprendre le compartiment (le cas échéant) et l'enveloppe les plus défavorables (en ce qui concerne la forme, la taille, la conception des cloisons et la ventilation).

On définit le courant maximal possible pour chaque variante d'unité fonctionnelle. Pour les unités fonctionnelles contenant un seul appareil, il s'agit du courant assigné de l'appareil. Pour les unités fonctionnelles qui contiennent plusieurs appareils, il s'agit du courant assigné le plus faible. Pour une combinaison d'appareils connectés en série destinée à être utilisée à un courant plus faible (par exemple, combinaison de démarreur de moteurs), il s'agit de ce courant.

Pour chaque unité fonctionnelle, on calcule la puissance dissipée pour le courant maximal possible, en utilisant les données fournies par le constructeur de chaque appareil, ainsi que la puissance dissipées des conducteurs associés.

Pour les unités fonctionnelles dont le courant est inférieur ou égal à 630 A, la variante critique dans chaque groupe est celle qui présente la puissance dissipée totale la plus élevée.

Pour les unités fonctionnelles dont le courant est supérieur à 630 A, la variante critique dans chaque groupe est celle qui présente le courant assigné le plus élevé. Ceci assure que les effets thermiques supplémentaires dus aux courants de Foucault et à l'effet de peau sont pris en compte.

L'unité fonctionnelle critique doit être soumise à l'essai:

- à l'intérieur du plus petit compartiment (le cas échéant) prévu pour cette unité fonctionnelle; et
- avec la variante la plus défavorable de séparation interne (le cas échéant) au regard de la taille des ouvertures de ventilation; et
- avec l'enveloppe ayant la plus grande puissance dissipée volumique installée; et
- avec la variante de ventilation la plus défavorable en ce qui concerne le type de ventilation (convection naturelle ou forcée) et la taille des ouvertures de ventilation.

Si l'unité fonctionnelle peut être orientée de différentes manières (horizontale, verticale), alors l'orientation la plus défavorable doit être soumise à essai.

NOTE Des essais supplémentaires peuvent être réalisés à la discrétion du constructeur d'origine sur des configurations et des variantes d'unités fonctionnelles moins critiques.

10.10.2.3 Méthodes d'essai

10.10.2.3.1 Généralités

Trois méthodes d'essai sont indiquées de 10.10.2.3.5 à 10.10.2.3.7 qui diffèrent par le nombre d'essais nécessaires et l'utilisation possible des résultats d'essai; une explication est fournie à l'Annexe O.

L'essai d'échauffement de chaque circuit doit être effectué avec le type de courant et la fréquence pour lesquels ils sont conçus. Toute valeur pratique de la tension d'essai peut être utilisée pour produire le courant désiré. Les bobines de relais, les contacteurs, les déclencheurs, etc., doivent être alimentés sous la tension assignée d'emploi.

L'ENSEMBLE doit être disposé comme pour l'usage normal avec l'ensemble des panneaux, y compris les plaques inférieures, etc., en place.

Si l'ENSEMBLE comprend des coupe-circuit à fusibles, ceux-ci doivent être équipés pour l'essai d'éléments de remplacement du type spécifié par le constructeur. Les puissances dissipées dans les éléments de remplacement utilisés pour l'essai doivent être indiquées dans le rapport d'essai. La puissance dissipée des éléments de remplacement peut être déterminée par une mesure ou sinon selon les indications de leur constructeur.

La dimension et la disposition des conducteurs externes utilisés pour l'essai doivent figurer dans le rapport d'essai.

L'essai doit avoir une durée suffisante pour que l'échauffement atteigne une valeur constante. Dans la pratique, cette condition est remplie lorsque la variation de tous les points mesurés (y compris la température de l'air ambiant) ne dépasse pas 1 K/h.

Pour réduire la durée de l'essai, si les appareils le permettent, le courant peut être augmenté au cours de la première partie de l'essai puis réduit au courant d'essai spécifié.

Lorsqu'un électro-aimant de commande est alimenté au cours de l'essai, la température est mesurée lorsque l'équilibre thermique est atteint à la fois dans le circuit principal et dans l'électro-aimant de commande.

La valeur moyenne des courants d'essai d'arrivée réels doit être comprise entre –0 % et +3 % de la valeur prévue. Chaque phase doit correspondre à ± 5 % de la valeur prévue.

Des essais peuvent être réalisés séparément sur une colonne de l'ENSEMBLE. Pour que l'essai soit représentatif, les surfaces externes auxquelles des colonnes supplémentaires peuvent être raccordées doivent être isolées thermiquement avec un panneau pour empêcher tout refroidissement indu.

Lors de l'essai séparé d'une unité fonctionnelle à l'intérieur d'une colonne ou d'un ENSEMBLE complet, les unités fonctionnelles adjacentes peuvent être remplacées par des résistances chauffantes si leur courant assigné ne dépasse pas 630 A et s'il n'est pas prévu de vérifier leur courant assigné lors de cet essai.

Dans les ENSEMBLES dans lesquels il est possible d'incorporer des circuits de commande ou des appareils supplémentaires, des résistances chauffantes doivent simuler les pertes de ces éléments supplémentaires.

10.10.2.3.2 Conducteurs d'essai

En l'absence de renseignements détaillés concernant les conducteurs externes et les conditions d'emploi, la section des conducteurs d'essai externes doit être choisie compte tenu du courant assigné de chaque circuit comme suit:

a) Pour les courants assignés jusqu'à 400 A inclus:

- 1) les conducteurs doivent être des câbles en cuivre ou des fils isolés unipolaires de la section indiquée au Tableau 11;
- 2) dans la mesure où la pratique le permet, les conducteurs doivent être à l'air libre;
- 3) la longueur minimale de chaque connexion temporaire entre bornes doit être de:
 - 1 m pour les sections inférieures ou égales à 35 mm²;
 - 2 m pour les sections supérieures à 35 mm².

b) Pour les courants assignés supérieurs à 400 A mais inférieurs à 800 A:

- 1) Les conducteurs doivent être des câbles en cuivre unipolaires de la section indiquée au Tableau 12 ou des barres de cuivre équivalentes selon le Tableau 12, comme spécifié par le constructeur d'origine.
- 2) Les câbles ou les barres en cuivre doivent être espacés d'environ la distance existant entre les bornes. Les câbles multiples en parallèle sur une borne doivent être regroupés et espacés les uns des autres d'environ 10 mm. Les barres multiples en cuivre relatives à une même borne doivent être espacées les unes des autres d'une distance correspondant approximativement à leur épaisseur. Si les dimensions indiquées pour les barres ne conviennent pas aux bornes ou ne sont pas disponibles, il est admis d'utiliser d'autres barres ayant les mêmes sections $\pm 10\%$ et des surfaces de refroidissement de même dimension ou plus petites. Les câbles ou les barres en cuivre ne doivent pas s'intercaler.
- 3) Pour des essais monophasés ou polyphasés, la longueur minimale de toute connexion temporaire à l'alimentation d'essai doit être de 2 m. La longueur minimale jusqu'au point neutre peut être réduite à 1,2 m, sur accord avec le constructeur d'origine.

c) Pour les courants assignés supérieurs à 800 A mais inférieurs à 4 000 A:

- 1) Les conducteurs doivent être des barres de cuivre aux dimensions indiquées au Tableau 12 sauf si l'ENSEMBLE est conçu seulement pour un raccordement de câbles. Dans ce cas, la dimension et la disposition des câbles doivent être celles spécifiées par le constructeur d'origine.
- 2) Les barres de cuivre doivent être espacées d'environ la distance entre bornes. Les barres multiples en cuivre relatives à une même borne doivent être séparées les unes des autres d'une distance approximativement égale à leur épaisseur. Si les dimensions indiquées pour les barres ne conviennent pas aux bornes ou ne sont pas disponibles, il est admis d'utiliser d'autres barres ayant les mêmes sections $\pm 10\%$ et des surfaces de refroidissement de même dimension ou plus petites. Les barres de cuivre ne doivent pas s'intercaler.
- 3) Pour les essais monophasés ou polyphasés, la longueur minimale de toute connexion temporaire à l'alimentation d'essai doit être de 3 m, mais elle peut être réduite à 2 m sous réserve que l'échauffement à l'extrémité de la connexion ne soit pas inférieur de plus de 5 K à celui du milieu de la connexion. La longueur minimale jusqu'au point neutre doit être de 2 m.

d) Pour les courants assignés supérieurs à 4 000 A:

Le constructeur d'origine doit déterminer les conditions d'essai telles que le type d'alimentation, le nombre de phases et la fréquence (le cas échéant), les sections des conducteurs d'essai, etc. Ces informations doivent être notées dans le rapport d'essai.

10.10.2.3.3 Mesure des températures

Des thermocouples ou des thermomètres doivent être utilisés pour les mesures de température. Pour les enroulements, la méthode de mesure de la température par variation de la résistance doit généralement être utilisée.

Les thermomètres ou les thermocouples doivent être protégés contre les courants d'air et les rayonnements de chaleur.

La température doit être mesurée à tous les points où il faut respecter une limite d'échauffement (voir 9.2). Une attention particulière doit être accordée aux jonctions des conducteurs et aux bornes dans les circuits principaux. Pour la mesure de la température de l'air à l'intérieur d'un ENSEMBLE, plusieurs appareils de mesure doivent être disposés à des endroits appropriés.

10.10.2.3.4 Température de l'air ambiant

La température de l'air ambiant doit être mesurée au moyen d'au moins deux thermomètres ou thermocouples également répartis autour de l'ENSEMBLE à environ la moitié de sa hauteur et à une distance d'environ 1 m de l'ENSEMBLE. Les thermomètres ou les thermocouples doivent être protégés contre les courants d'air et les rayonnements de chaleur.

La température ambiante pendant l'essai doit être comprise entre +10 °C et +40 °C.

10.10.2.3.5 Vérification de l'ENSEMBLE complet

Les circuits d'arrivée et les circuits de départ de l'ENSEMBLE doivent être chargés à leurs courants assignés (voir 5.3.2), ce qui équivaut à appliquer un facteur de diversité assigné égal à 1 (voir 5.4 et l'Annexe O).

Si le courant assigné du circuit d'arrivée ou du système de jeux de barres de distribution est inférieur à la somme des courants assignés de tous les circuits de départ, alors les circuits de départ doivent être divisés en groupes correspondant au courant assigné du circuit d'arrivée ou du système de jeux de barres de distribution. Les groupes doivent être formés de manière à atteindre l'échauffement le plus élevé possible. Des groupes doivent être formés et des essais doivent être entrepris en nombre suffisant pour inclure toutes les variantes d'unités fonctionnelles dans au moins un groupe.

Lorsque les circuits entièrement chargés ne distribuent pas exactement le courant total d'arrivée, le courant restant doit être distribué via tout autre circuit approprié. Cet essai doit être répété jusqu'à ce que tous les types de circuit de départ aient été vérifiés à leur courant assigné.

Une modification de la disposition des unités fonctionnelles à l'intérieur d'un ENSEMBLE ou d'une colonne d'un ENSEMBLE vérifié(e) peut nécessiter des essais complémentaires dans la mesure où l'influence thermique des unités adjacentes peut différer de manière significative.

NOTE 10.10.2.3.6 fournit une méthode d'essai d'un ENSEMBLE avec un facteur de diversité inférieur à 1 et moins d'essais que spécifié en 10.10.2.3.7.

10.10.2.3.6 Vérification séparée de chaque unité fonctionnelle et de l'ENSEMBLE complet

Les courants assignés des circuits selon 5.3.2 et le facteur de diversité assigné selon 5.4 doivent être vérifiés en deux étapes.

Le courant assigné de chaque variante critique d'unité fonctionnelle (10.10.2.2.3.b)) doit être vérifié séparément conformément à 10.10.2.3.7 c).

L'ENSEMBLE est vérifié en chargeant le circuit d'arrivée à son courant assigné et toutes les unités fonctionnelles de départ collectivement à leur courant assigné multiplié par le facteur de diversité.

Si le courant assigné du circuit d'arrivée ou du système de jeux de barres de distribution est inférieur à la somme des courants d'essai de tous les circuits de départ (c'est-à-dire les courants assignés multipliés par le facteur de diversité), alors les circuits de départ doivent être divisés en groupes correspondant au courant assigné du circuit d'arrivée ou du système de jeux de barres de distribution. Les groupes doivent être formés de manière à atteindre

l'échauffement le plus élevé possible. Des groupes doivent être formés et des essais doivent être entrepris en nombre suffisant pour inclure toutes les différentes variantes d'unités fonctionnelles dans au moins un groupe.

Lorsque les circuits entièrement chargés ne distribuent pas exactement le courant total d'arrivée, le courant restant doit être distribué via tout autre circuit approprié. Cet essai doit être répété jusqu'à ce que tous les types de circuit de départ aient été vérifiés à leur valeur de courant assigné multiplié par le facteur de diversité assigné.

Une modification de la disposition des unités fonctionnelles à l'intérieur d'un ENSEMBLE ou d'une colonne d'un ENSEMBLE vérifié(e) peut nécessiter des essais complémentaires dans la mesure où l'influence thermique des unités adjacentes peut différer de manière significative.

10.10.2.3.7 Vérification séparée de chaque unité fonctionnelle, des jeux de barres principaux, des jeux de barres de distribution et de l'ENSEMBLE complet

Les ENSEMBLES doivent être vérifiés par une vérification séparée des modules standards a) à c) choisis conformément à 10.10.2.2.2 et à 10.10.2.2.3, et une vérification d'un ENSEMBLE complet d) dans les conditions les plus défavorables détaillées ci-dessous:

- a) Les jeux de barres principaux doivent être soumis à essai séparément. Ils doivent être montés dans l'enveloppe de l'ENSEMBLE comme en utilisation normale avec tous ses panneaux et toutes les cloisons qui séparent les jeux de barres principaux des autres compartiments. Si le jeu de barres principal comporte des jonctions, celles-ci doivent alors être incluses dans l'essai. Cet essai doit être réalisé au courant assigné. Le courant d'essai doit passer sur toute la longueur des jeux de barres. Lorsque la conception de l'ENSEMBLE le permet, et pour réduire l'influence des conducteurs d'essai externes sur l'échauffement, la longueur du jeu de barres principal à l'intérieur de l'enveloppe pour doit être au minimum égale à 2 m et inclure au moins une jonction lorsque les jeux de barres sont extensibles.
- b) Les jeux de barres de distribution doivent être soumis aux essais séparément des unités de départ. Ils doivent être montés dans l'enveloppe comme en utilisation normale avec tous ses panneaux et toutes les cloisons qui séparent le jeu de barres des autres compartiments. Les jeux de barre de distribution doivent être raccordés au jeu de barres principal. Aucun autre conducteur, par exemple, connexions d'unités fonctionnelles, ne doit être raccordé au jeu de barres de distribution. Pour prendre en compte la situation la plus défavorable, l'essai doit être réalisé au courant assigné et le courant d'essai doit passer sur toute la longueur du jeu de barres de distribution. Si le jeu de barres principal est déclaré pour un courant plus élevé, il doit être alimenté par un courant supplémentaire de manière à transporter son courant assigné jusqu'à sa jonction avec le jeu de barres de distribution.
- c) Les unités fonctionnelles doivent être soumises à des essais individuels. L'unité fonctionnelle doit être montée dans l'enveloppe comme en utilisation normale avec tous ses panneaux et toutes ses cloisons intérieures. Si elle peut être montée à différents emplacements, alors l'emplacement le plus défavorable doit être utilisé. Elle doit être raccordée au jeu de barres principal ou au jeu de barres de distribution comme en utilisation normale. Si le jeu de barres principal et/ou le jeu de barres de distribution (le cas échéant) sont déclarés pour un courant plus élevé, ils doivent être alimentés par des courants supplémentaires de manière à transporter leurs courants assignés individuels jusqu'aux points de jonction respectifs. L'essai de l'unité fonctionnelle doit être réalisé à son courant assigné.
- d) L'ENSEMBLE complet doit être vérifié en effectuant l'essai d'échauffement de la (des) configuration(s) la (les) plus défavorable(s) en service et comme défini par le constructeur d'origine. Pour cet essai, le circuit d'arrivée est chargé à son courant assigné et chaque unité fonctionnelle de départ à son courant assigné multiplié par le facteur de diversité assigné. Si le courant assigné du circuit d'arrivée ou du système de jeux de barres de distribution est inférieur à la somme des courants assignés des courants d'essai de tous les circuits de départ (c'est-à-dire les courants assignés multipliés par le facteur de diversité), alors les circuits de départ doivent être divisés en groupes correspondant au courant assigné du circuit d'arrivée ou du système de jeux de barres de distribution. Les

groupes doivent être formés de manière à atteindre l'échauffement le plus élevé possible. Des groupes suffisants doivent être formés et des essais doivent être entrepris pour inclure toutes les variantes d'unités fonctionnelles dans au moins un groupe.

10.10.2.3.8 Résultats à obtenir

A la fin de l'essai, l'échauffement ne doit pas dépasser les valeurs indiquées au Tableau 6. Les appareils doivent fonctionner de manière satisfaisante dans leurs limites spécifiées de tension à la température régnant à l'intérieur de l'ENSEMBLE.

10.10.3 Déduction des caractéristiques assignées pour des variantes similaires

10.10.3.1 Généralités

Les paragraphes suivants définissent comment les courants assignés de variantes peuvent être vérifiés par déduction à partir de configurations similaires vérifiées par des essais.

Les essais d'échauffement sur le ou les circuits réalisés à 50 Hz sont applicables à 60 Hz pour des courants assignés jusqu'à 800 A inclus. En l'absence d'essais à 60 Hz pour les courants supérieurs à 800 A, le courant assigné à 60 Hz doit être réduit à 95 % de celui à 50 Hz. Si l'échauffement maximal à 50 Hz ne dépasse pas 90 % de la valeur admissible, alors la réduction pour 60 Hz n'est pas nécessaire. Les essais réalisés à une fréquence particulière sont valables pour le même courant assigné à des fréquences inférieures, y compris en courant continu.

10.10.3.2 ENSEMBLES

Les ENSEMBLES vérifiés par déduction à partir d'une configuration similaire vérifiée par essai doivent satisfaire aux conditions suivantes:

- a) unités fonctionnelles appartenant aux mêmes groupes respectifs que les unités fonctionnelles choisies pour l'essai (voir 10.10.2.2.3);
- b) même type de construction que celui soumis à l'essai;
- c) des dimensions hors-tout supérieures ou égales à celles de l'essai;
- d) conditions de refroidissement au moins aussi bonnes que celles de l'essai (convection forcée ou naturelle, ouvertures de ventilation identiques ou plus larges);
- e) le cas échéant, compartimentage interne identique ou moindre que pour l'essai;
- f) puissance identique ou dissipée dans une même colonne pas plus élevée que pour l'essai.

L'ENSEMBLE à vérifier peut comprendre la totalité ou seulement une partie des circuits électriques de l'ENSEMBLE vérifié précédemment. Par rapport à la variante soumise aux essais, on peut changer l'emplacement d'une ou plusieurs unités fonctionnelles dans l'ENSEMBLE ou dans une colonne, tant que les influences thermiques des unités adjacentes ne sont pas plus sévères.

Les essais thermiques réalisés sur des ENSEMBLES triphasés 3 conducteurs sont considérés comme représentatifs des ENSEMBLES triphasés 4 conducteurs et monophasés 2 ou 3 conducteurs sous réserve que le conducteur neutre soit d'une taille supérieure ou égale aux conducteurs de phase et disposés de la même façon.

10.10.3.3 Jeux de barres

Les caractéristiques assignées établies pour des jeux de barres en aluminium sont valables pour des jeux de barres en cuivre avec la même section et la même configuration. Toutefois, les caractéristiques assignées établies pour des jeux de barres en cuivre ne doivent pas être utilisées pour établir les caractéristiques assignées de jeux de barres en aluminium.

Les caractéristiques assignées des variantes qui ne sont pas choisies pour les essais selon 10.10.2.2.2 doivent être déterminées en multipliant leur section par la densité de courant d'un jeu de barres de section plus importante de même conception que celle vérifiée par essai.

Par ailleurs, si deux sections satisfaisant aux conditions de 10.10.2.2.2 ont été vérifiées par essai, alors la caractéristique assignée d'une variante intermédiaire peut être interpolée.

10.10.3.4 Unités fonctionnelles

Après avoir soumis la variante critique de chaque groupe d'unités fonctionnelles comparables (voir 10.10.2.2.3 a)) à l'essai de vérification de l'échauffement, les courants assignés réels de des autres unités fonctionnelles du groupe doivent être calculés en utilisant les résultats de ces essais de la manière suivante.

Pour chaque unité fonctionnelle soumise à l'essai, un facteur de réduction doit être calculé (le courant assigné, obtenu en divisant le courant assigné résultant de l'essai par son courant maximal possible de cette unité fonctionnelle, voir 10.10.2.2.3 b)).

Le courant assigné de chacune des autres unités fonctionnelles du même groupe doit être le courant maximal possible de l'unité fonctionnelle multiplié le facteur de réduction établi pour la variante soumise à l'essai dans ce groupe.

10.10.3.5 Unités fonctionnelles – Substitution d'un appareil

Un appareil peut être remplacé par un appareil similaire issu d'une autre série que celle utilisée lors de la vérification d'origine, sous réserve que la puissance qu'il dissipe et l'échauffement de ses bornes lorsqu'il est soumis à l'essai selon sa norme de produit, soient inférieurs ou égaux. De plus, la disposition physique interne de l'unité fonctionnelle et sa caractéristique assignée doivent rester inchangées.

NOTE Outre l'échauffement, d'autres exigences sont examinées, y compris les exigences de tenue aux courts-circuits, voir Tableau 13.

10.10.4 Evaluation de vérification

10.10.4.1 Généralités

Deux méthodes de calcul sont fournies. Les deux méthodes déterminent l'échauffement approximatif de l'air à l'intérieur de l'enveloppe qui est causé par les puissances dissipées par tous les circuits, et comparent cette température avec les limites pour les équipements incorporés. Ces méthodes ne diffèrent que par la façon dont la relation entre la puissance dissipée et l'échauffement de l'air à l'intérieur de l'enveloppe est déterminée.

Comme les températures ponctuelles réelles des parties transportant le courant ne peuvent pas être calculées par ces méthodes, certaines limites et marges de sécurité sont nécessaires et sont incluses.

10.10.4.2 Ensemble à un seul compartiment ayant un courant assigné inférieur à 630 A

10.10.4.2.1 Méthode de vérification

Une vérification de l'échauffement d'un ENSEMBLE à un seul compartiment ayant un courant total d'entrée ne dépassant pas 630 A et pour des fréquences assignées jusqu'à 60 Hz inclus peut être effectuée par calcul si toutes les conditions suivantes sont satisfaites:

- a) les pertes dissipées par chacun des composants incorporés sont disponibles auprès de leurs constructeurs;
- b) les pertes sont réparties de manière approximativement régulière à l'intérieur de l'enveloppe;

- c) le courant assigné des circuits de l'ENSEMBLE à vérifier (voir 10.10.1) ne doit pas dépasser 80 % du courant thermique conventionnel à l'air libre (I_{th}), lorsqu'il existe, ou du courant assigné (I_n) des appareils de connexion et des composants électriques inclus dans le circuit. Les dispositifs de protection des circuits doivent être choisis pour assurer une protection adéquate des circuits de départ, par exemple, les dispositifs de protection des moteurs thermiques à la température calculée dans l'ENSEMBLE;

NOTE 1 Il n'existe aucune caractéristique commune applicable aux appareils de connexion et composants électriques pour représenter la valeur de courant à utiliser ici. Pour vérifier les limites d'échauffement, on utilise la valeur de courant qui représente le courant d'emploi continu maximal qui peut être transporté sans sur-échauffement. Ce courant est par exemple le courant assigné d'emploi I_e AC1 dans le cas des contacteurs et le courant assigné I_n dans le cas des disjoncteurs.

- d) les parties mécaniques et les équipements installés sont disposés de telle manière que la circulation de l'air n'est pas gênée de manière significative;
- e) les conducteurs transportant des courants supérieurs à 200 A et les éléments de structure adjacents sont disposés de telle manière que les pertes de courant de Foucault et d'hystérésis soient réduites au minimum;
- f) la section minimale de tous les conducteurs doit être basée sur 125 % du courant assigné du circuit associé. Le choix des câbles doit être conforme à la CEI 60364-5-52. Des exemples sur la façon d'adapter la présente norme aux conditions à l'intérieur d'un ENSEMBLE sont donnés dans l'Annexe H. La section des barres doit être donnée par des essais ou conforme à l'Annexe N. Lorsque le constructeur d'appareils spécifie un conducteur de section plus importante, ce dernier conducteur doit être utilisé;
- g) la variation de l'échauffement en fonction des pertes dissipées dans l'enveloppe et des différentes méthodes d'installation (par exemple montage encastré, montage en surface) est:
- disponible auprès du constructeur de l'enveloppe;
 - déterminé conformément à 10.10.4.2.2; ou
 - conforme aux critères de performances et d'installation fournis par le constructeur d'appareils réfrigérants en cas d'intégration d'un refroidissement actif (par exemple, refroidissement forcé, climatisation interne, échangeur thermique, etc.).

Les pertes réellement dissipées par les circuits, y compris les conducteurs d'interconnexion, doivent être calculées sur la base de leurs courants assignés. Les pertes totales dissipées par l'ENSEMBLE sont calculées en ajoutant les pertes dissipées par les circuits tout en tenant compte du fait que le courant de charge total est limité au courant assigné de l'ENSEMBLE. Les pertes dissipées par les conducteurs sont déterminées par calcul (voir Annexe H).

NOTE 2 Pour certains appareils les pertes sont pratiquement proportionnelles à I^2 ; pour d'autres, les pertes sont pratiquement constantes.

NOTE 3 Exemple: Un ENSEMBLE à un seul compartiment ayant un courant assigné de 100 A (limité par le jeu de barres de distribution) est équipé de 20 circuits de départ. Le courant assigné présumé de chaque circuit est de 8 A. Il convient de calculer la puissance dissipée réelle totale pour 12 circuits de départ chargés chacun à 8 A.

L'échauffement de l'ENSEMBLE est ensuite déterminé à partir des pertes totales en utilisant les données mentionnées en g).

10.10.4.2.2 Détermination par essai de la capacité d'une enveloppe à dissiper la chaleur

Les pertes doivent être simulées au moyen de résistances chauffantes qui produisent une chaleur équivalente à la capacité prévue de l'enveloppe à dissiper la chaleur. Les résistances chauffantes doivent être réparties de manière régulière sur la hauteur de l'enveloppe et installées à des emplacements adaptés à l'intérieur de cette enveloppe.

La section des conducteurs raccordés à ces résistances doit être telle qu'une quantité appréciable de chaleur ne s'échappe pas de l'enveloppe.

L'essai doit être réalisé selon 10.10.2.3.1 à 10.10.2.3.4 et l'échauffement de l'air doit être mesuré au sommet de l'enveloppe. La température de l'enveloppe ne doit pas dépasser la valeur indiquée au Tableau 6.

10.10.4.2.3 Résultats à obtenir

L'ENSEMBLE est vérifié si la température de l'air déterminée à partir des pertes calculées ne dépasse pas la température de l'air ambiant admissible en exploitation déclarée par les constructeurs d'appareils. Pour les appareils de connexion ou les composants électriques des circuits principaux, cela signifie que la charge continue ne dépasse ni sa charge admissible à la température calculée de l'air ni 80 % de son courant assigné (voir 10.10.4.2.1 c).

10.10.4.3 ENSEMBLE ayant un courant assigné ne dépassant pas 1 600 A

10.10.4.3.1 Méthode de vérification

La vérification de l'échauffement d'un ENSEMBLE à un ou plusieurs compartiments ayant un courant total d'entrée ne dépassant pas 1 600 A et pour les fréquences assignées jusqu'à 60 Hz inclus peut être effectuée par calcul conformément à la méthode définie dans la CEI 60890 si toutes les conditions suivantes sont satisfaites:

- a) les pertes dissipées par chacun des composants incorporés sont disponibles auprès de leurs constructeurs;
- b) les pertes sont réparties de manière approximativement régulière à l'intérieur de l'enveloppe;
- c) le courant assigné des circuits de l'ENSEMBLE à vérifier (voir 10.10.1) ne doit pas dépasser 80 % du courant thermique à l'air libre conventionnel assigné (I_{th}) s'il existe ou du courant assigné (I_n) des appareils de connexion et des composants électriques inclus dans le circuit. Les dispositifs de protection des circuits doivent être choisis pour assurer une protection adéquate des circuits de départ, par exemple, les dispositifs de protection des moteurs thermiques à la température calculée dans l'ENSEMBLE;

NOTE 1 Il n'existe aucune caractéristique commune applicable aux appareils de connexion et composants électriques pour représenter la valeur de courant à utiliser ici. Pour vérifier les limites d'échauffement on utilise la valeur de courant qui représente le courant d'emploi continu maximal qui peut être transporté sans sur-échauffement. Ce courant est par exemple le courant assigné d'emploi I_e AC1 dans le cas des contacteurs et le courant assigné I_n dans le cas des disjoncteurs.

- d) les parties mécaniques et les équipements installés sont disposés de telle manière que la circulation de l'air n'est pas gênée de manière significative;
- e) les conducteurs transportant des courants supérieurs à 200 A et les éléments de structure adjacents sont disposés de telle manière que les pertes de courant de Foucault et d'hystérésis soient réduites au minimum;
- f) la section minimale de tous les conducteurs doit être basée sur 125 % du courant assigné du circuit associé. Le choix des câbles doit être conforme à la CEI 60364-5-52. Des exemples sur la façon d'adapter la présente norme aux conditions à l'intérieur d'un ENSEMBLE sont donnés à l'Annexe H. La section des barres doit être donnée par des essais ou conforme à l'Annexe N. Lorsque le constructeur d'appareils spécifie un conducteur de section plus importante, ce dernier conducteur doit être utilisé;
- g) pour les enveloppes ayant une ventilation naturelle, la section des ouvertures de sortie d'air correspond à au moins 1,1 fois la section des ouvertures d'entrée d'air;
- h) il n'existe pas plus de trois cloisons horizontales dans l'ENSEMBLE ou dans une colonne de l'ENSEMBLE;
- i) pour les enveloppes avec des compartiments ayant une ventilation naturelle, la section des ouvertures de ventilation dans chaque cloison horizontale est au moins égale à 50 % de la section horizontale du compartiment.

Les pertes réellement dissipées par les circuits y compris les conducteurs d'interconnexion doivent être calculées sur la base de leurs courants assignés. Les pertes totales dissipées par l'ENSEMBLE sont calculées en ajoutant les pertes dissipées par les circuits tout en tenant

compte du fait que le courant de charge total est limité au courant assigné de l'ENSEMBLE. Les pertes dissipées par les conducteurs sont déterminées par calcul (voir Annexe H).

NOTE 2 Pour certains appareils les pertes sont pratiquement proportionnelle à I^2 ; pour d'autres, les pertes sont pratiquement constantes.

NOTE 3 Exemple: Un ENSEMBLE à un seul compartiment avec un courant assigné de 100 A (limité par le jeu de barres de distribution) est équipé de 20 circuits de départ. Le courant assigné présumé de chaque circuit est de 8 A. Il convient de calculer la puissance dissipée réelle totale pour 12 circuits de départ chargés chacun à 8 A.

L'échauffement de l'ENSEMBLE est ensuite déterminé à partir des pertes totales en utilisant la méthode de la CEI 60890.

10.10.4.3.2 Résultats à obtenir

L'ENSEMBLE est vérifié si la température calculée de l'air à la hauteur de montage de chaque appareil ne dépasse pas la température de l'air ambiant admissible déclarée par son constructeur.

Pour les appareils de connexion ou les composants électriques des circuits principaux cela signifie que la charge en régime permanent ne dépasse ni sa charge admissible à la température ponctuelle calculée de l'air ni 80 % de son courant assigné (voir 10.10.4.3.1 c).

10.11 Tenue aux courts-circuits

10.11.1 Généralités

La tenue assignée aux courant de court-circuit déclarée doit être vérifiée sauf lorsque cela est exclu, voir 10.11.2. La vérification peut être effectuée par comparaison avec une conception de référence (10.11.3 et 10.11.4) ou par essai (10.11.5). Pour les besoins de la vérification, les exigences suivantes s'appliquent:

- Si le système d'ENSEMBLES à vérifier comprend de nombreuses variantes, la ou les dispositions la ou les plus défavorables de l'ENSEMBLE doivent être choisies, compte tenu des règles énoncées en 10.11.3.
- Les variantes d'ENSEMBLE choisies pour l'essai doivent être vérifiées selon 10.11.5.
- Lorsque les ENSEMBLES soumis à l'essai constituent les variantes les plus défavorables d'une gamme plus large de produits d'un système d'ENSEMBLES, alors les résultats de l'essai peuvent être utilisés pour établir les caractéristiques assignées de ces variantes sans procéder à d'autres essais. Les règles concernant ces déductions sont données en 10.11.3 et en 10.11.4.

10.11.2 Circuits des ENSEMBLES exemptés de la vérification de la tenue aux courts-circuits

Une vérification de la tenue aux courts-circuits n'est pas exigée dans les cas suivants:

- ENSEMBLES dont le courant assigné de courte durée admissible (voir 5.3.4) ou le courant assigné de court-circuit conditionnel (voir 5.3.5) ne dépasse pas 10 kA en valeur efficace ;
- ENSEMBLES ou circuits d'ENSEMBLES protégés par des dispositifs limiteurs de courant ayant un courant coupé limité ne dépassant pas 17 kA au courant de court-circuit présumé maximal admissible aux bornes du circuit d'arrivée de l'ENSEMBLE ;
- circuits auxiliaires d'ENSEMBLES destinés à être reliés à des transformateurs dont la puissance assignée ne dépasse pas 10 kVA pour une tension secondaire assignée qui n'est pas inférieure à 110 V ou 1,6 kVA pour une tension secondaire assignée inférieure à 110 V et dont l'impédance de court-circuit n'est pas inférieure à 4 %.

Tous les autres circuits doivent être vérifiés.

10.11.3 Vérification par comparaison avec une conception de référence – Utilisation d'une liste de contrôle

La vérification est effectuée par une comparaison de l'ENSEMBLE à vérifier avec une conception déjà soumise aux essais en utilisant la liste de contrôle donnée au Tableau 13.

Si une exigence de la liste de contrôle n'est pas satisfaite et doit être notée « NON », une des méthodes de vérification suivantes doit être utilisée (voir 10.11.4 et 10.11.5).

10.11.4 Vérification par comparaison avec une conception de référence – Utilisation de calculs

L'évaluation par calcul du courant assigné de courte durée admissible d'un ENSEMBLE et de ses circuits est effectuée par une comparaison de l'ENSEMBLE à évaluer avec un ENSEMBLE déjà vérifié par essai. L'évaluation de vérification des circuits principaux d'un ENSEMBLE doit être conforme à l'Annexe P. De plus, chacun des circuits de l'ENSEMBLE à évaluer doit satisfaire aux exigences numéros 6, 8, 9 et 10 du Tableau 13.

Les données utilisées, les calculs effectués et les comparaisons effectuées doivent être consignés.

Si au moins une des exigences énumérées Annexe P ou ci-dessus n'est pas satisfaite, alors l'ENSEMBLE et ses circuits doivent être vérifiés par un essai conformément à 10.11.5.

10.11.5 Vérification par essai

10.11.5.1 Montages d'essai

L'ENSEMBLE ou ses parties selon ce qui est nécessaire pour réaliser l'essai doivent être montés comme en utilisation normale. Il suffit de soumettre une seule unité fonctionnelle aux essais si les autres unités fonctionnelles sont construites de la même façon. De même, il suffit de soumettre une seule configuration de jeux de barres aux essais si les autres configurations sont construites de la même façon. Le Tableau 13 précise les éléments qui ne nécessitent pas d'essais complémentaires.

10.11.5.2 Exécution de l'essai – Généralités

Si le circuit d'essai comporte des fusibles, on doit utiliser des éléments de remplacement ayant le courant coupe limité maximal, le cas échéant, du type spécifié par le constructeur d'origine.

Les conducteurs d'alimentation et les connexions de court-circuit prescrites pour soumettre l'ENSEMBLE à l'essai doivent avoir une robustesse suffisante pour supporter les courts-circuits et être disposés de manière à ne pas introduire de contraintes supplémentaires sur l'ENSEMBLE.

Sauf accord contraire, le circuit d'essai doit être raccordé aux bornes d'arrivée de l'ENSEMBLE. Les ENSEMBLES triphasés doivent être raccordés en triphasé.

Toutes les parties de l'équipement destinées à être reliées au conducteur de protection en service, y compris son enveloppe, doivent être raccordées comme suit:

- a) pour des ENSEMBLES pouvant être utilisés dans des réseaux triphasés à quatre conducteurs (voir aussi la CEI 60038) avec un point neutre à la terre et marqués en conséquence, au point neutre de l'alimentation ou à un neutre artificiel essentiellement inductif permettant un courant de défaut présumé d'au moins 1 500 A;
- b) pour les ENSEMBLES pouvant être utilisés dans des réseaux triphasés à trois conducteurs aussi bien qu'à quatre conducteurs et marqués en conséquence, au conducteur de phase le moins susceptible d'amorcer un arc à la terre.

A l'exception des ENSEMBLES selon 8.4.4, le raccordement mentionné en a) et en b) doit comprendre un élément fusible constitué d'un fil de cuivre de 0,8 mm de diamètre et d'au moins 50 mm de longueur, ou un élément fusible équivalent pour la détection du courant de défaut. Le courant de défaut présumé dans le circuit de l'élément fusible doit être de 1 500 A $\pm$ 10 %, à l'exception de ce qui est indiqué dans les Notes 2 et 3. Si nécessaire, une résistance limitant le courant à cette valeur doit être utilisée.

NOTE 1 Un fil de cuivre de 0,8 mm de diamètre fond à 1 500 A, en une demi-période environ, à une fréquence comprise entre 45 Hz et 67 Hz (ou 0,01 s en courant continu).

NOTE 2 Le courant de défaut présumé peut être inférieur à 1 500 A dans le cas de petits matériels, suivant les exigences de la norme de produit correspondante, avec un fil de cuivre de diamètre plus petit (voir Note 4) correspondant à la même durée de fusion que dans la Note 1.

NOTE 3 Dans le cas d'une alimentation à neutre artificiel, un courant de défaut présumé de plus faible valeur peut être admis, sous réserve de l'accord du constructeur d'ENSEMBLES, avec un fil de cuivre de diamètre plus petit (voir Note 4) correspondant à la même durée de fusion que dans la Note 1.

NOTE 4 La relation entre le courant de défaut présumé dans le circuit de l'élément fusible et le diamètre du fil de cuivre est indiquée dans le Tableau 14.

10.11.5.3 Essai des circuits principaux

10.11.5.3.1 Généralités

Les circuits doivent être soumis aux contraintes thermiques et dynamiques les plus élevées provoquées par les courants de court-circuit pouvant atteindre les valeurs assignées, pour une ou plusieurs des conditions suivantes selon les indications du constructeur d'origine.

- a) Un ENSEMBLE indépendant d'un DPCC doit être soumis au courant assigné de crête admissible et au courant assigné de courte durée admissible pendant la durée spécifiée (voir 5.3 et 9.3.2 a)).
- b) Un ENSEMBLE incorporant un DPCC dans son circuit d'arrivée doit être soumis au courant de court-circuit présumé d'arrivée pendant une durée limitée par le DPCC d'arrivée.
- c) Un ENSEMBLE dépendant d'un DPCC en amont doit être soumis au courant coupé limité du DPCC spécifié par le constructeur d'origine.

Lorsqu'un circuit d'arrivée ou un circuit de départ comporte un DPCC qui réduit la crête et/ou la durée du courant de défaut, le circuit doit alors être soumis aux essais en permettant au DPCC de fonctionner et d'interrompre le courant de défaut (voir 5.3.5 courant assigné de court-circuit conditionnel I_{cc}). Si le DPCC contient un déclencheur de court-circuit réglable, celui-ci doit alors être réglé sur la valeur maximale autorisée (voir 9.3.2, deuxième alinéa).

Un circuit de chaque type doit être soumis à l'essai de court-circuit comme décrit de 10.11.5.3.2 à 10.11.5.3.5.

10.11.5.3.2 Circuits de départ

Les bornes de sortie des circuits de départ doivent être pourvues d'une connexion de court-circuit boulonnée. Lorsque le dispositif de protection dans le circuit de départ est un disjoncteur, le circuit d'essai peut inclure une résistance shunt conformément à 8.3.4.1.2 b) de la CEI 60947-1:2007 en parallèle avec la réactance utilisée pour régler le courant de court-circuit.

Pour les disjoncteurs qui ont un courant assigné inférieur ou égal à 630 A, un câble de 0,75 m de longueur ayant une section correspondant au courant assigné (voir Tableaux 11 et 12) doit être inséré dans le circuit d'essai. Une connexion inférieure à 0,75 m peut être utilisée à l'initiative du constructeur d'origine.

L'appareil de connexion doit être fermé et maintenu fermé comme en utilisation normale. La tension d'essai doit alors être appliquée une fois et,

- a) pendant un temps suffisamment long pour permettre au dispositif de protection contre les courts-circuits dans l'unité de départ de fonctionner pour éliminer le défaut et, dans tous les cas, pendant une durée qui ne soit pas inférieure à 10 périodes (durée de la tension d'essai), ou
- b) dans les cas où le circuit de départ ne contient pas de DPCC, avec l'amplitude et la durée spécifiée pour les jeux de barres par le constructeur d'origine. Les essais des circuits de départ peuvent également donner lieu au fonctionnement du DPCC du circuit d'arrivée.

10.11.5.3.3 Circuit d'arrivée et jeux de barres principaux

Les ENSEMBLES contenant des jeux de barres principaux doivent être soumis à l'essai pour vérifier la tenue aux courts-circuits des jeux de barres principaux et du circuit d'arrivée, y compris au moins une jonction lorsque les jeux de barres sont destinés à être extensibles. Le court-circuit doit être placé de façon que la longueur du jeu de barres principal comprise dans l'essai soit de $(2 \pm 0,4)$ m. Pour la vérification du courant assigné de courte durée admissible (voir 5.3.4) et du courant assigné de crête admissible (voir 5.3.3), cette distance peut être augmentée et l'essai réalisé à toute tension convenable sous réserve que le courant d'essai soit égal à la valeur assignée (voir 10.11.5.4 b)). Lorsque la conception de l'ENSEMBLE est telle que la longueur des jeux de barres à soumettre à l'essai est inférieure à 1,6 m et que l'ENSEMBLE n'est pas destiné à recevoir une extension, alors c'est la longueur totale du jeu de barres qui doit être vérifiée par essai, le court-circuit étant réalisé à l'extrémité de ces jeux de barres. Si un système de jeux de barres se compose de différents tronçons (en ce qui concerne les sections, l'espacement entre conducteurs, le type et le nombre de supports par mètre), chaque tronçon doit être soumis à l'essai séparément ou conjointement, sous réserve que les conditions précisées ci-dessus soient satisfaites.

10.11.5.3.4 Connexions en amont des unités de départ

Lorsqu'un ENSEMBLE contient des conducteurs, y compris des jeux de barres de distribution, lorsqu'ils existent, entre un jeu de barres principal et l'amont des unités fonctionnelles de départ qui ne satisfont pas aux exigences de 8.6.4, un circuit de chaque type doit être soumis à un essai supplémentaire.

Un court-circuit est obtenu par des connexions boulonnées sur les conducteurs reliant les jeux de barres à une seule unité de départ, le plus près possible des bornes de l'unité de départ, côté jeu de barres. La valeur et la durée du courant de court-circuit doivent être les mêmes que celles applicables aux jeux de barres principaux.

10.11.5.3.5 Conducteur neutre

S'il existe un conducteur neutre dans un circuit, il doit être soumis à un essai de vérification de sa tenue aux courts-circuits par rapport au conducteur de phase le plus proche du circuit en essai y compris les jonctions éventuelles. Les connexions de court-circuit entre phase et neutre doivent être réalisées conformément aux exigences de 10.11.5.3.3.

Sauf accord contraire entre le constructeur d'origine et l'utilisateur, la valeur du courant d'essai dans le neutre doit au moins être égale à 60 % du courant de phase lors de l'essai en triphasé.

Il n'est pas nécessaire de réaliser l'essai s'il est prévu avec un courant de 60 % du courant de phase et si le conducteur neutre est:

- de la même forme et de la même section que les conducteurs de phase;
- équipé de supports identiques aux conducteurs de phase et pas plus espacés le long du conducteur que ceux des phases;
- au moins aussi espacé de la (des) phase(s) la (les) plus proche(s) que les phases entre elles;
- au moins aussi espacé des parties métalliques reliées à la terre que les conducteurs de phase.

10.11.5.4 Valeur et durée du courant de court-circuit

Pour toutes les caractéristiques assignées de tenue aux courts-circuits, les contraintes dynamiques et thermiques doivent être vérifiées avec, en amont du dispositif de protection spécifié, s'il y a lieu, un courant présumé égal au courant assigné de courte durée admissible, au courant assigné de crête admissible ou au courant assigné de court-circuit conditionnel spécifié par le constructeur d'origine.

Pour la vérification de toutes les caractéristiques assignées de tenue aux courts-circuits (voir 5.3.3 à 5.3.5 inclus), le courant de court-circuit présumé sous une tension d'essai égale à 1,05 fois la tension assignée d'emploi doit être déterminée à partir d'un oscillogramme d'étalonnage établi en court-circuitant les conducteurs d'alimentation de l'ENSEMBLE par une connexion d'impédance négligeable placée aussi près que possible de l'alimentation d'arrivée de l'ENSEMBLE. L'oscillogramme doit montrer qu'il y a un débit de courant constant et mesurable à l'instant correspondant à celui du fonctionnement du dispositif de protection incorporé à l'ENSEMBLE ou pendant la durée spécifiée (voir 9.3.2. a)).

La valeur du courant au cours de l'étalonnage est la moyenne des valeurs efficaces de la composante alternative dans toutes les phases. Lorsque les essais sont effectués à la tension maximale d'emploi, le courant d'étalonnage dans chaque phase doit être égal au courant assigné de court-circuit avec une tolérance de $^{+5}_0$ % et le facteur de puissance doit avoir une

tolérance de $\begin{matrix} 0,00 \\ -0,05 \end{matrix}$.

Tous les essais doivent être effectués à la fréquence assignée de l'ENSEMBLE avec une tolérance de ± 25 % et au facteur de puissance correspondant au courant de court-circuit suivant le Tableau 7.

- a) Pour l'essai de tenue au courant assigné de court-circuit conditionnel I_{cc} , que les dispositifs de protection se trouvent dans le circuit d'arrivée de l'ENSEMBLE ou ailleurs, la tension d'essai doit être appliquée pendant un temps suffisamment long pour permettre aux dispositifs de protection contre les courts-circuits de fonctionner pour éliminer le défaut et, dans tous les cas, pendant une durée qui ne soit pas inférieure à 10 périodes. L'essai doit être réalisé à 1,05 fois la tension assignée d'emploi et avec un courant de court-circuit présumé, du côté amont du dispositif de protection spécifié, égal au courant assigné de court-circuit conditionnel. Des essais à des tensions inférieures ne sont pas autorisés.

NOTE En Afrique du Sud (ZA), le Code Electrique National SANS 10142-1, Paragraphe 6.8, exige que la tension d'alimentation soit égale à 1,1 fois la tension nominale lorsque la tension assignée d'emploi est inférieure ou égale à 500 V.

- b) Pour l'essai de tenue au courant assigné de courte durée admissible et de courant assigné de crête admissible, les contraintes dynamiques et thermiques doivent être vérifiées avec un courant présumé dont la valeur efficace et la valeur crête sont respectivement au moins égale au courant assigné de courte durée admissible et au courant assigné de crête admissible spécifiés. Le courant doit être appliqué pendant une durée spécifiée pendant laquelle la valeur efficace de sa composante alternative doit rester constante.

En cas de difficulté pour un laboratoire d'essai à réaliser les essais de tenue au courant de courte durée ou au courant de crête à la tension maximale d'emploi, il est admis d'effectuer les essais selon 10.11.5.3.3, 10.11.5.3.4 et 10.11.5.3.5 à toute tension convenable, avec l'accord du constructeur d'origine, le courant réel d'essai étant, dans ce cas, égal au courant assigné de courte durée ou au courant de crête admissible. Cela doit être indiqué dans le rapport d'essai. Si cependant, durant l'essai, une séparation momentanée des contacts se produit dans le dispositif de protection éventuel, l'essai doit être répété à la tension maximale d'emploi.

Si nécessaire, en raison des limites des moyens d'essai, une durée d'essai différente est admise; dans ce cas, il convient de modifier le courant d'essai selon la formule $I^2t =$

constante, sous réserve que la valeur de crête ne dépasse pas le courant assigné de crête admissible sans le consentement du constructeur d'origine et que la valeur efficace ne soit pas inférieure au courant assigné de courte durée admissible sur au moins une phase pendant une durée d'au moins 0,1 s après l'apparition du courant.

L'essai de tenue au courant de crête et l'essai de tenue au courant de courte durée peuvent être séparés. Dans ce cas, la durée pendant laquelle le courant de court-circuit est appliqué pour l'essai de tenue au courant de crête doit être telle que la valeur I^2t ne soit pas plus grande que la valeur équivalente pour l'essai de tenue au courant de courte durée, mais soit au moins de trois périodes.

Lorsque le courant d'essai prescrit dans chaque phase ne peut être obtenu, il peut être admis de dépasser la tolérance d'essai positive avec l'accord du constructeur d'origine.

10.11.5.5 Résultats à obtenir

Une déformation des jeux de barres et des conducteurs est admise après l'essai sous réserve que les distances d'isolement et les lignes de fuites spécifiées en 8.3 soient toujours respectées. En cas de doute, les distances d'isolement et les lignes de fuite doivent être mesurées (voir 10.4).

Les caractéristiques d'isolement doivent rester telles que les propriétés mécaniques et diélectriques de l'équipement satisfassent aux exigences de la norme d'ENSEMBLES applicable. Aucun isolateur ou support de jeu de barres ou passage de câble ne s'est cassé en plusieurs morceaux. Aucune fissure ne doit par ailleurs apparaître sur les côtés opposés d'un support, et aucune fissure, y compris de surface, ne doit apparaître sur toute la longueur ou la largeur du support. En cas de doute concernant le maintien des propriétés d'isolation de l'ENSEMBLE, un essai supplémentaire à la fréquence industrielle à deux fois U_e avec un minimum de 1 000 V doit être réalisé conformément à 10.9.2.

Aucun desserrage des parties utilisées pour le raccordement des conducteurs ne doit se produire et les conducteurs ne doivent pas être déconnectés des bornes de sortie.

Une déformation des jeux de barres ou du châssis de l'ENSEMBLE qui compromet son utilisation normale doit être considérée comme un défaut.

Toute déformation des jeux de barres ou du châssis de l'ENSEMBLE qui compromet l'insertion ou le retrait normal des parties amovibles doit être réputée comme étant un défaut.

La déformation de l'enveloppe ou des cloisons, barrières et obstacles internes due au court-circuit est admissible dans la mesure où le degré de protection n'est pas visiblement affecté et où les distances d'isolement ou les lignes de fuite ne sont pas réduites à des valeurs inférieures à celles spécifiées en 8.3. De plus, à l'issue des essais de 10.11.5.3 incorporant des dispositifs de protection contre les courts-circuits, le matériel contrôlé doit être capable de supporter l'essai diélectrique de 10.9.2 à la tension correspondant à la condition "après essai" prescrite pour l'essai de court-circuit approprié dans la norme de DPCC applicable, comme suit:

- a) entre toutes les parties actives et les masses de l'ENSEMBLE, et
- b) entre chaque pôle et tous les autres pôles raccordés aux masses de l'ENSEMBLE.

Si les essais a) et b) ci-dessus sont réalisés, ils doivent être effectués avec, le cas échéant, les fusibles remplacés et les organes de coupure fermés.

L'élément fusible (voir 10.11.5.2), le cas échéant, ne doit pas indiquer un courant de défaut.

En cas de doute, il doit être vérifié que les appareils incorporés dans l'ENSEMBLE sont dans une condition identique à celle qui est prescrite dans les spécifications qui les concernent.

10.11.5.6 Essais du circuit de protection

10.11.5.6.1 Généralités

Cet essai ne s'applique pas aux circuits conformes à 10.11.2.

Une source d'essai monophasée doit être raccordée à la borne d'arrivée d'une phase et à la borne du conducteur de protection d'arrivée. Lorsque l'ENSEMBLE est équipé d'un conducteur de protection séparé, le conducteur de phase le plus proche doit être utilisé. Pour chaque unité de départ représentative, un essai distinct doit être effectué en réalisant, par une connexion boulonnée, un court-circuit entre la borne de phase de départ correspondante de cette unité et la borne du conducteur de protection de départ de ce circuit.

Chaque unité de départ soumise à l'essai doit être munie du dispositif de protection prévu. Lorsque des dispositifs de protection alternatifs peuvent être incorporés dans l'unité de départ, le dispositif de protection qui laisse passer les valeurs maximales du courant de crête et de I^2t doit être utilisé.

Pour cet essai, le châssis de l'ENSEMBLE doit être isolé de la terre. La tension d'essai doit être égale à 1,05 fois la valeur monophasée de la tension assignée d'emploi. Sauf accord contraire entre le constructeur d'origine et l'utilisateur, la valeur du courant d'essai dans le conducteur de protection doit correspondre à au moins 60 % du courant de phase lors de l'essai triphasé de l'ENSEMBLE.

NOTE En Afrique du Sud (ZA), le Code Electrique National SANS 10142-1, Paragraphe 6.8, exige que la tension d'alimentation soit égale à 1,1 fois la tension nominale lorsque la tension assignée d'emploi est inférieure ou égale à 500 V.

Toutes les autres conditions de cet essai doivent être analogues à celles de 10.11.5.2 à 10.11.5.4.

10.11.5.6.2 Résultats à obtenir

La continuité et la tenue aux courts-circuits du circuit de protection ne doivent pas être notablement affectées, que ce circuit soit un conducteur distinct ou le châssis. En plus d'un examen visuel, ce résultat peut être vérifié par des mesures avec un courant de l'ordre du courant assigné de l'unité de départ concernée. La déformation de l'enveloppe ou des cloisons, barrières et obstacles internes due au court-circuit est admissible dans la mesure où le degré de protection n'est pas visiblement affecté et que les distances d'isolement ou les lignes de fuite ne sont pas réduites à des valeurs inférieures à celles spécifiées en 8.3.

NOTE 1 Lorsque le châssis est utilisé comme conducteur de protection, des étincelles et des échauffements localisés sont permis aux jonctions d'assemblage, sous réserve que la continuité électrique ne soit pas compromise et que les parties inflammables adjacentes ne soient pas enflammées.

NOTE 2 La comparaison des résistances, mesurées avant et après l'exécution de l'essai, entre la borne du conducteur de protection d'arrivée et la borne du conducteur de protection de départ correspondante donne une indication de la conformité à cette condition.

10.12 Compatibilité électromagnétique (CEM)

Pour les essais en CEM, voir J.10.12.

10.13 Fonctionnement mécanique

Cet essai de vérification ne doit pas être réalisé sur les appareils (par exemple disjoncteur débouchable) d'un ENSEMBLE ayant subi préalablement des essais de type selon la norme de produit qui leur est applicable sauf si leur fonctionnement mécanique a été modifié par leur montage.

Pour les parties qui nécessitent une vérification par un essai (voir 8.1.5), le fonctionnement mécanique satisfaisant doit être vérifié après installation dans l'ENSEMBLE. Le nombre de cycles de manœuvres doit être égal à 200.

Au même moment, le fonctionnement des verrouillages mécaniques associés à ces mouvements doit être vérifié. L'essai est considéré comme satisfaisant si les appareils et les verrouillages sont toujours en état de bon fonctionnement, si le degré de protection spécifié etc., n'a pas été affecté et si l'effort nécessaire au fonctionnement est pratiquement le même qu'avant l'essai.

11 Vérification individuelle de série

11.1 Généralités

La vérification individuelle de série est destinée à détecter les défauts des matériaux et de la fabrication et de s'assurer du fonctionnement correct de l'ENSEMBLE fabriqué. Elle est réalisée sur chaque ENSEMBLE. Le constructeur d'ENSEMBLES doit déterminer si la vérification individuelle de série est réalisée pendant et/ou après la fabrication. Le cas échéant, la vérification individuelle de série doit s'assurer que la vérification de conception est disponible.

La vérification individuelle de série n'est pas nécessaire sur les appareils spécifiques et les composants indépendants incorporés dans l'ENSEMBLE lorsqu'ils ont été choisis conformément à 8.5.3 et installés conformément aux instructions de leurs constructeurs.

La vérification doit comprendre les catégories suivantes:

- a) Construction (voir 11.2 à 11.8):
 - 1) degré de protection procuré par les enveloppes;
 - 2) distances d'isolement et lignes de fuite;
 - 3) protection contre les chocs électriques et intégrité des circuits de protection;
 - 4) intégration de composants incorporés;
 - 5) circuits électriques internes et connexions;
 - 6) bornes pour conducteurs externes;
 - 7) fonctionnement mécanique.
- b) Performance (voir 11.9 à 11.10):
 - 1) propriétés diélectriques;
 - 2) câblage, fonctionnement électrique et fonction.

11.2 Degré de protection procuré par les enveloppes

Un examen visuel est nécessaire pour s'assurer que les mesures prescrites pour atteindre le degré de protection déclaré sont respectées.

11.3 Distances d'isolement et lignes de fuite

Lorsque les distances d'isolement:

- sont inférieures aux valeurs données dans le Tableau 1, un essai de tension de tenue aux chocs conforme à 10.9.3 doit être effectué;
- ne semblent pas, par un examen visuel, être supérieures aux valeurs données dans le Tableau 1 (voir 10.9.3.5), une vérification doit être effectuée par une mesure physique ou par un essai de tension de tenue aux chocs conformément à 10.9.3.

Les mesures prescrites concernant les lignes de fuite (voir 8.3.3) doivent être soumises à un examen visuel. Lorsqu'un examen visuel n'est pas suffisant, la vérification doit être effectuée par une mesure physique.

11.4 Protection contre les chocs électriques et intégrité des circuits de protection

Les mesures de protection prescrites concernant la protection principale et la protection en cas de défaut (voir 8.4.2 et 8.4.3) doivent être soumises à un examen visuel.

Les circuits de protection doivent être vérifiés par un examen visuel pour s'assurer que les mesures prescrites en 8.4.3 sont satisfaites.

Le serrage des connexions vissées et boulonnées doit être vérifié aléatoirement par sondage.

11.5 Intégration de composants incorporés

L'installation et l'identification des composants incorporés doivent être conformes aux instructions de fabrication de l'ENSEMBLE.

11.6 Circuits électriques internes et connexions

Le serrage des connexions, notamment vissées et boulonnées, doit être vérifié par sondage de manière aléatoire.

Les conducteurs doivent être vérifiés conformément aux instructions de fabrication de l'ENSEMBLE.

11.7 Bornes pour conducteurs externes

Le nombre, le type et l'identification des bornes doivent être vérifiés conformément aux instructions de fabrication de l'ENSEMBLE.

11.8 Fonctionnement mécanique

Le bon fonctionnement des organes de commande mécaniques, des verrouillages et des dispositifs de blocage, y compris ceux associés aux parties amovibles, doit être vérifiée.

11.9 Propriétés diélectriques

Un essai de tenue à la fréquence industrielle doit être réalisé sur tous les circuits conformément à 10.9.1 et 10.9.2 mais pendant une durée de 1 s.

Il n'est pas nécessaire de réaliser cet essai sur les circuits auxiliaires:

- qui sont protégés par un dispositif de protection contre les courts-circuits dont le courant assigné ne dépasse pas 16 A;
- si un essai de fonctionnement électrique a été réalisé auparavant à la tension assignée d'emploi pour laquelle les circuits auxiliaires sont conçus.

En variante, pour les ENSEMBLES ayant une protection d'arrivée de courant assigné inférieur ou égal à 250 A, une mesure de la résistance d'isolement peut être effectuée en utilisant un dispositif de mesure de l'isolement à une tension d'au moins 500 V en courant continu.

Dans ce cas, l'essai est satisfaisant si la résistance d'isolement entre les circuits et les masses est au moins égale à 1 000 Ω/V en se référant à la tension d'alimentation de ces circuits par rapport à la terre.

11.10 Câblage, fonctionnement électrique et fonction

On doit vérifier que les informations et les marquages spécifiés à l'Article 6 sont complets.

En fonction de la complexité de l'ENSEMBLE, il peut être nécessaire d'examiner le câblage et de réaliser un essai de fonctionnement électrique. La procédure d'essai et le nombre d'essais dépendent de la présence ou non dans l'ENSEMBLE de verrouillages, de séquences de commande compliqués, etc.

NOTE Dans certains cas, il peut être nécessaire de réaliser ou de répéter cet essai sur site avant la mise en service de l'installation.

Tableau 1 – Distances minimales d'isolement dans l'air ^a (8.3.2)

Tension assignée de tenue aux chocs U_{imp} kV	Distance minimale d'isolement mm
$\leq 2,5$	1,5
4,0	3,0
6,0	5,5
8,0	8,0
12,0	14,0
^a Sur la base des conditions de champ non homogène et du degré de pollution 3.	

Tableau 2 – Lignes de fuite minimales (8.3.3)

Tension assignée d'isolement U_i	Ligne de fuite minimale mm							
	Degré de pollution							
	1	2			3			
	Groupe de matériaux ^c	Groupe de matériaux ^c			Groupe de matériaux ^c			
	Tous les groupes de matériaux	I	II	IIIa et IIIb	I	II	IIIa	IIIb
32	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
40	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,6	1,8	1,8
50	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,7	1,9	1,9
63	1,5	1,5	1,5	1,5	1,6	1,8	2	2
80	1,5	1,5	1,5	1,5	1,7	1,9	2,1	2,1
100	1,5	1,5	1,5	1,5	1,8	2	2,2	2,2
125	1,5	1,5	1,5	1,5	1,9	2,1	2,4	2,4
160	1,5	1,5	1,5	1,6	2	2,2	2,5	2,5
200	1,5	1,5	1,5	2	2,5	2,8	3,2	3,2
250	1,5	1,5	1,8	2,5	3,2	3,6	4	4
320	1,5	1,6	2,2	3,2	4	4,5	5	5
400	1,5	2	2,8	4	5	5,6	6,3	6,3
500	1,5	2,5	3,6	5	6,3	7,1	8,0	8,0
630	1,8	3,2	4,5	6,3	8	9	10	10
800	2,4	4	5,6	8	10	11	12,5	^a
1 000	3,2	5	7,1	10	12,5	14	16	
1 250	4,2	6,3	9	12,5	16	18	20	
1 600	5,6	8	11	16	20	22	25	

NOTE 1 Les valeurs de l'IRC se réfèrent aux valeurs obtenues suivant la méthode A de la CEI 60112:2003, pour le matériau isolant utilisé.	
NOTE 2 Valeurs issues de la CEI 60664-1 mais assurant une valeur minimale de 1,5 mm.	
a	Une isolation du groupe de matériaux IIIb n'est pas recommandée pour le degré de pollution 3 au-delà de 630 V.
b	A titre exceptionnel, pour les tensions assignées d'isolement 127, 208, 415, 440, 660/690 et 830 V, les lignes de fuite correspondant aux valeurs inférieures 125, 200, 400, 630 et 800 V peuvent être utilisées.
c	Les groupes de matériaux sont classés comme suit, suivant le domaine de valeurs de l'indice de résistance au cheminement (IRC) (voir 3.6.16):
– Groupe de matériaux I	$600 \leq \text{IRC}$
– Groupe de matériaux II	$400 \leq \text{IRC} < 600$
– Groupe de matériaux IIIa	$175 \leq \text{IRC} < 400$
– Groupe de matériaux IIIb	$100 \leq \text{IRC} < 175$

Tableau 3 – Section du conducteur de protection en cuivre (8.4.3.2.2)

Courant assigné d'emploi I_e A	Section minimale d'un conducteur de protection mm ²
$I_e \leq 20$	S^a
$20 < I_e \leq 25$	2,5
$25 < I_e \leq 32$	4
$32 < I_e \leq 63$	6
$63 < I_e$	10
^a S est la section du conducteur de phase (mm ²).	

Tableau 4 – Choix des conducteurs et exigences d'installation (8.6.4)

Type de conducteur	Exigences
Conducteurs nus ou conducteurs à âme unique avec isolation principale, par exemple, câbles selon la CEI 60227-3	Le contact mutuel ou le contact avec les parties conductrices doit être évité, par exemple en utilisant des séparateurs
Conducteurs à âme unique avec isolation principale et une température maximale admissible pour l'utilisation du conducteur égale à au moins 90 °C, par exemple, câbles selon la CEI 60245-3, ou câbles thermoplastiques isolés au PVC, résistant à la chaleur selon la CEI 60227-3	Le contact mutuel ou le contact avec les parties conductrices est permis s'il n'y a pas d'application de pression externe. Le contact avec des arêtes vives doit être évité. Ces conducteurs doivent être chargés de façon que la température de fonctionnement ne soit pas supérieure à 80 % de la température maximale admissible pour l'utilisation du conducteur
Conducteurs à isolation principale, par exemple câbles selon la CEI 60227-3, ayant une isolation secondaire supplémentaire, par exemple, câbles recouverts individuellement de manchons rétractables ou posés individuellement dans des conduits en matière plastique	Pas d'exigences complémentaires
Conducteurs isolés par un matériau ayant une très grande résistance mécanique, par exemple, isolation à l'éthylène-tétrafluoroéthylène (ETFE), ou conducteurs à double isolation avec gaine externe renforcée pour utilisation jusqu'à 3 kV, par exemple câbles selon la CEI 60502	
Câbles sous gaine mono- ou multi-conducteurs, par exemple câbles selon la CEI 60245-4 ou selon la CEI 60227-4	