

INTERNATIONAL
STANDARD

IEC
CEI

NORME
INTERNATIONALE

61800-5-1

Second edition
Deuxième édition
2007-07

**Adjustable speed electrical
power drive systems –**

**Part 5-1:
Safety requirements –
Electrical, thermal and energy**

**Entraînements électriques de
puissance à vitesse variable –**

**Partie 5-1:
Exigences de sécurité –
Électrique, thermique et énergétique**



Reference number
Numéro de référence
IEC/CEI 61800-5-1:2007



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2007 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 It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.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.

- 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.

- 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

**IEC
CEI**

NORME INTERNATIONALE

61800-5-1

Second edition
Deuxième édition
2007-07

**Adjustable speed electrical
power drive systems –**

**Part 5-1:
Safety requirements –
Electrical, thermal and energy**

**Entraînements électriques de
puissance à vitesse variable –**

**Partie 5-1:
Exigences de sécurité –
Électrique, thermique et énergétique**



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

PRICE CODE
CODE PRIX

XE

*For price, see current catalogue
Pour prix, voir catalogue en vigueur*

CONTENTS

FOREWORD.....	5
1 Scope.....	7
2 Normative references.....	7
3 Terms and definitions	10
4 Protection against electric shock, thermal, and energy hazards	16
4.1 General	16
4.2 Fault conditions	17
4.3 Protection against electric shock.....	18
4.4 Protection against thermal hazards	51
4.5 Protection against energy hazards	56
4.6 Protection against environmental stresses	57
5 Test requirements.....	57
5.1 General	57
5.2 Test specifications.....	60
6 Information and marking requirements	82
6.1 General	82
6.2 Information for selection	85
6.3 Information for installation and commissioning	85
6.4 Information for use	89
6.5 Information for maintenance	91
Annex A (informative) Examples of protection in case of direct contact	93
Annex B (informative) Examples of overvoltage category reduction.....	95
Annex C (normative) Measurement of clearance and creepage distances	101
Annex D (informative) Altitude correction for clearances	107
Annex E (informative) Clearance and creepage distance determination for frequencies greater than 30 kHz.....	109
Annex F (informative) Cross-sections of round conductors.....	112
Annex G (informative) Guidelines for RCD compatibility.....	113
Annex H (informative) Symbols referred to in this part of IEC 61800	116
Bibliography	117
Figure 1 – PDS hardware configuration within an <i>installation</i>	16
Figure 2 – Typical waveform for a.c. <i>working voltage</i>	19
Figure 3 – Typical waveform for d.c. <i>working voltage</i>	20
Figure 4 – Typical waveform for pulsating <i>working voltage</i>	20
Figure 5 – Examples for protection against direct contact	22
Figure 6 – Example of <i>protective bonding</i>	26
Figure 7 – Voltage limits under fault conditions	28
Figure 8 – Voltage test procedures	68
Figure 9 – Circuit for high-current arcing test.....	77

Figure 10 – Test fixture for hot-wire ignition test	78
Figure A.1 – Protection by <i>DVC A</i> , with <i>protective separation</i>	93
Figure A.2 – Protection by means of <i>protective impedance</i>	94
Figure A.3 – Protection by using limited voltages	94
Figure B.1 – <i>Basic insulation</i> evaluation for circuits connected directly to the origin of the <i>installation</i> supply mains.....	95
Figure B.2 – <i>Basic insulation</i> evaluation for circuits connected directly to the supply mains.....	96
Figure B.3 – <i>Basic insulation</i> evaluation for equipment not permanently connected to the supply mains	96
Figure B.4 – <i>Basic insulation</i> evaluation for circuits connected directly to the origin of the <i>installation</i> supply mains where internal SPDs are used	96
Figure B.5 – <i>Basic insulation</i> evaluation for circuits connected directly to the supply mains where internal SPDs are used	97
Figure B.6 – Example of <i>protective separation</i> evaluation for circuits connected directly to the supply mains where internal SPDs are used.....	97
Figure B.7 – Example of <i>protective separation</i> evaluation for circuits connected directly to the supply mains where internal SPDs are used.....	97
Figure B.8 Example of <i>protective separation</i> evaluation for circuits connected directly to the supply mains where internal SPDs are used.....	98
Figure B.9 – <i>Basic insulation</i> evaluation for circuits not connected directly to the supply mains.....	98
Figure B.10 – <i>Basic insulation</i> evaluation for circuits not connected directly to the supply mains.....	98
Figure B.11 – <i>Functional insulation</i> evaluation within circuits affected by external transients.....	99
Figure B.12 – <i>Basic insulation</i> evaluation for circuits both connected and not connected directly to the supply mains	99
Figure B.13 – Insulation evaluation for accessible circuit of <i>DVC A</i>	100
Figure G.1 – Flow chart leading to selection of the RCD/RCM type upstream of a <i>PDS</i>	113
Figure G.2 – Fault current waveforms in connections with semiconductor devices.....	114
Table 1 – Alphabetical list of terms	10
Table 2 – Relevance of requirements to <i>PDS/CDM/BDM</i>	17
Table 3 – Summary of the limits of the <i>decisive voltage classes</i>	18
Table 4 – Protection requirements for considered circuit.....	19
Table 5 – <i>Protective earthing conductor</i> cross-section	28
Table 6 – Definitions of pollution degrees	31
Table 7 – Insulation voltage for low voltage circuits.....	33
Table 8 – Insulation voltage for high voltage circuits	33
Table 9 – Clearance distances	37
Table 10 – Creepage distances (mm)	39
Table 11 – Thickness of sheet metal for enclosures: carbon steel or stainless steel.....	45
Table 12 – Thickness of sheet metal for enclosures: aluminium, copper or brass	46
Table 13 – Wire bending space from terminals to enclosure	49
Table 14 – Generic materials for the direct support of uninsulated <i>live parts</i>	52
Table 15 – Maximum measured temperatures for internal materials and components.....	54

Table 16 – Maximum measured temperatures for external parts of the <i>CDM</i>	55
Table 17 – Test overview	59
Table 18 – Impulse voltage test	63
Table 19 – Impulse test voltage for <i>low-voltage PDS</i>	64
Table 20 – Impulse test voltage for <i>high-voltage PDS</i>	64
Table 21 – A.C. or d.c. test voltage for circuits connected directly to low voltage mains	65
Table 22 – A.C. or d.c. test voltage for circuits connected directly to high voltage mains	66
Table 23 – A.C. or d.c. test voltage for circuits not connected directly to the mains	67
Table 24 – Partial discharge test	70
Table 25 – Dry heat test (steady state)	80
Table 26 – Damp heat test (steady state)	81
Table 27 – Vibration test	82
Table 28 – Information requirements	84
Table C.1 – Width of grooves by pollution degree	101
Table D.1 – Correction factor for clearances at altitudes between 2 000 m and 20 000 m (see 4.3.6.4.1)	107
Table D.2 – Test voltages for verifying clearances at different altitudes	107
Table E.1 – Minimum values of clearances in air at atmospheric pressure for inhomogeneous field conditions (Table 1 of IEC 60664-4)	110
Table E.2 – Minimum values of creepage distances for different frequency ranges (Table 2 of IEC 60664-4)	111
Table F.1 – Standard cross-sections of round conductors	112
Table H.1 – Symbols used	116

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

ADJUSTABLE SPEED ELECTRICAL POWER DRIVE SYSTEMS –**Part 5-1: Safety requirements –
Electrical, thermal and energy**

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 provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 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 61800-5-1 has been prepared by subcommittee 22G: Semiconductor power converters for adjustable speed electric drive systems, of IEC technical committee 22: Power electronic systems and equipment.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 2003. It constitutes a technical revision.

The major areas of change in this edition are the following:

- a) addition of alphabetical Table 1 in Clause 3;
- b) addition of Table 2 in 4.1 for relevance to PDS/CDM/BDM;
- c) addition of Table 4 summary of decisive voltage class requirements;
- d) expansion of subclause on protective bonding (4.3.5.3);

- e) clarification of distinction between touch current and protective conductor current;
- f) revision of section on insulation (now 4.3.6) to include solid insulation;
- g) addition of overvoltage categories I and II to HV insulation voltage;
- h) revision of section on Solid insulation (now 4.3.6.8)
- i) addition of high-frequency insulation requirements (4.3.6.9, Annex E);
- j) addition of requirements for liquid-cooled PDS (4.4.5);
- k) addition of climatic and vibration tests (5.2.6);
- l) clarification of voltage test procedure to avoid over-stress of basic insulation (5.2.3.2.3);
- m) revision of short-circuit test requirement for large, high-voltage and one-off PDS (now 5.2.3.6);
- n) addition of informative Annex B for overvoltage category reduction.

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

FDIS	Report on voting
22G/178/FDIS	22G/181/RVD

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

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

A list of all parts of the IEC 61800 series, published under the general title *Adjustable speed electrical power drive systems*, can be found on the IEC website.

Terms in *italics* in the text are defined in Clause 3.

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

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

ADJUSTABLE SPEED ELECTRICAL POWER DRIVE SYSTEMS –

Part 5-1: Safety requirements – Electrical, thermal and energy

1 Scope

This part of IEC 61800 specifies requirements for adjustable speed *power drive systems*, or their elements, with respect to electrical, thermal and energy safety considerations. It does not cover the driven equipment except for interface requirements. It applies to adjustable speed electric drive systems which include the power conversion, drive control, and motor or motors. Excluded are traction and electric vehicle drives. It applies to d.c. drive systems connected to line voltages up to 1 kV a.c., 50 Hz or 60 Hz and a.c. drive systems with converter input voltages up to 35 kV, 50 Hz or 60 Hz and output voltages up to 35 kV.

Other parts of IEC 61800 cover rating specifications, EMC, functional safety, etc.

The scope of this part of IEC 61800 does not include devices used as component parts of a *PDS* if they comply with the safety requirements of a relevant product standard for the same environment. For example, motors used in *PDS* shall comply with the relevant parts of IEC 60034.

Unless specifically stated, the requirements of this International Standard apply to all parts of the *PDS*, including the *CDM/BDM* (see Figure 1).

NOTE In some cases, safety requirements of the *PDS* (for example, protection against direct contact) can necessitate the use of special components and/or additional measures.

2 Normative references

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

NOTE This does not mean that compliance is required with all clauses of the referenced documents, but rather that this international standard makes a reference that cannot be understood in the absence of the referenced document.

IEC 60034 (all parts), *Rotating electrical machines*

IEC 60034-1, *Rotating electrical machines – Part 1: Rating and performance*

IEC 60034-5, *Rotating electrical machines – Part 5: Degrees of protection provided by the integral design of rotating electrical machines (IP code) - Classification*

IEC 60050-111, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 111: Physics and chemistry*

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

IEC 60050-161, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 161: Electromagnetic compatibility*

IEC 60050-191, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 191: Dependability and quality of service*

IEC 60050-441, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 441: Switchgear, controlgear and fuses*

IEC 60050-442, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 442: Electrical accessories*

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

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

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

IEC 60068-2-2:1974, *Environmental testing – Part 2: Tests. Tests B: Dry heat*

IEC 60068-2-6, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test Fc: Vibration (sinusoidal)*

IEC 60068-2-78, *Environmental testing – Part 78: Tests – Test Cab: Damp heat, steady state*

IEC 60112:2003, *Method for the determination of the proof and the comparative tracking indices of solid insulating materials*

IEC 60204-11, *Safety of machinery – Electrical equipment of machines – Part 11: Requirements for HV equipment for voltages above 1 000 V a.c. or 1 500 V d.c. and not exceeding 36 kV*

IEC 60309, *Plugs, socket-outlets and couplers for industrial purposes*

IEC 60364-1, *Low-voltage electrical installations – Part 1: Fundamental principles, assessment of general characteristics, definitions*

IEC 60364-5-54:2002, *Electrical installations of buildings – Part 5-54: Selection and erection of electrical equipment – Earthing arrangements, protective conductors and protective bonding conductors*

IEC 60417, *Graphical symbols for use on equipment*

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

IEC 60617, *Graphical symbols for diagrams*

IEC 60664-1:1992, *Insulation coordination for equipment within low-voltage systems – Part 1: Principles, requirements and tests*¹⁾
Amendment 1 (2000)
Amendment 2 (2002)

IEC 60664-3:2003, *Insulation coordination for equipment within low-voltage systems – Part 3: Use of coating, potting or moulding for protection against pollution*

IEC 60664-4:2005, *Insulation coordination for equipment within low-voltage systems – Part 4: Consideration of high-frequency voltage stress*

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

IEC 60695-2-13, *Fire hazard testing – Part 2-13: Glowing/hot-wire based test methods – Glow-wire ignitability test method for materials*

IEC 60695-11-10, *Fire hazard testing – Part 11-10: Test flames – 50 W horizontal and vertical flame test methods*

IEC 60695-11-20, *Fire hazard testing – Part 11-20: Test flames – 500 W flame test methods*

IEC 60755, *General requirements for residual current operated protective devices*

IEC 60947-7-1:2002, *Low-voltage switchgear and control gear – Part 7-1: Ancillary equipment – Terminal blocks for copper conductors*

IEC 60947-7-2:2002, *Low-voltage switchgear and controlgear – Part 7-2: Ancillary equipment – Protective conductor terminal blocks for copper conductors*

IEC 60990:1999, *Methods of measurement of touch current and protective conductor current*

IEC 61230, *Live working – Portable equipment for earthing or earthing and short-circuiting*

IEC 61800-1, *Adjustable speed electrical power drive systems – Part 1: General requirements – Rating specifications for low voltage adjustable speed d.c. power drive systems*

IEC 61800-2, *Adjustable speed electrical power drive systems – Part 2: General requirements – Rating specifications for low voltage adjustable frequency a.c. power drive systems*

IEC 61800-4, *Adjustable speed electrical power drive systems – Part 4: General requirements – Rating specifications for a.c. power drive systems above 1 000 V a.c. and not exceeding 35 kV*

IEC 62020, *Electrical accessories – Residual current monitors for household and similar uses (RCMs)*

¹ There exists a consolidated edition 1.2 (2002) including IEC 60664-1:1992 and its Amendments 1 and 2.

IEC 62271-102, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 102: Alternating current disconnectors and earthing switches*

ISO 3864 (all parts), *Graphical symbols – Safety colours and safety signs*

ISO 7000:2004, *Graphical symbols for use on equipment – Index and synopsis*

3 Terms and definitions

For the purposes of this international standard, the terms and definitions given in IEC 60050-111, IEC 60050-151, IEC 60050-161, IEC 60050-191, IEC 60050-441, IEC 60050-442, IEC 60050-551, IEC 60050-601, IEC 60664-1, IEC 61800-1, IEC 61800-2, IEC 61800-3 and IEC 61800-4 (some of which are repeated below for convenience), and the following definitions apply.

Table 1 provides an alphabetical cross-reference listing of terms.

Table 1 – Alphabetical list of terms

Term	Term number	Term	Term number	Term	Term number
adjacent circuit	3.1	(earth) leakage current	3.16	protective screening	3.31
basic drive module (BDM)	3.2	live part	3.17	protective separation	3.32
basic insulation	3.3	low-voltage PDS	3.18	reinforced insulation	3.33
CDM (complete drive module)	3.4	open-type (product)	3.19	routine test	3.34
closed electrical operating area	3.5	power drive system (PDS)	3.20	safety ELV (SELV) circuit	3.35
commissioning test	3.6	protective ELV (PELV) circuit	3.21	sample test	3.36
decisive voltage class (DVC)	3.7	prospective short-circuit current	3.22	supplementary insulation	3.37
double insulation	3.8	protective bonding	3.23	system voltage	3.38
extra low voltage (ELV)	3.9	protective class 0	3.24	temporary overvoltage	3.39
electrical breakdown	3.10	protective class I	3.25	touch current	3.40
expected lifetime	3.11	protective class II	3.26	type test	3.41
functional insulation	3.12	protective class III	3.27	user terminal	3.42
high-voltage PDS	3.13	protective earthing (PE)	3.28	working voltage	3.43
installation	3.14	protective earthing conductor	3.29	zone of equipotential bonding	3.44
integrated PDS	3.15	protective impedance	3.30		

3.1

adjacent circuit

circuit having no galvanic connection to the circuit under consideration

NOTE A protective impedance is not considered to be a galvanic connection.

3.2

basic drive module (BDM)

drive module, consisting of a converter section and a control section for speed, torque, current or voltage, etc. (see Figure 1)

3.3

basic insulation

insulation applied to *live parts* to provide basic protection against electrical shock

[IEV 826-12-14, modified]

3.4

complete drive module

CDM

drive system, without the motor and the sensors which are mechanically coupled to the motor shaft, consisting of, but not limited to, the *BDM*, and extensions such as feeding section and auxiliaries (see Figure 1)

3.5

closed electrical operating area

room or location for electrical equipment to which access is restricted to skilled or instructed persons by the opening of a door or the removal of a barrier by the use of a key or tool and which is clearly marked by appropriate warning signs

3.6

commissioning test

test on a device or equipment performed on site, to prove the correctness of installation and operation

[IEV 151-16-24, modified]

3.7

decisive voltage class

DVC

classification of voltage range used to determine the protective measures against electric shock

3.8

double insulation

insulation comprising both *basic insulation* and *supplementary insulation*

[IEV 826-12-16]

NOTE *Basic* and *supplementary insulation* are separate, each designed for basic protection against electric shock.

3.9

extra low voltage

ELV

any voltage not exceeding 50 V a.c. r.m.s. and 120 V d.c.

NOTE 1 R.M.S. ripple voltage of not more than 10 % of the d.c. component.

NOTE 2 In this international standard, protection against electric shock is dependent on the *decisive voltage classification*. DVC A and B are contained in the voltage range of *ELV*.

3.10

electrical breakdown

failure of insulation under electric stress when the discharge completely bridges the insulation, thus reducing the voltage between the electrodes almost to zero

[IEC 60664-1:1992, definition 1.3.20]

3.11

expected lifetime

minimum duration for which the safety performance characteristics are valid at rated conditions of operation

3.12

functional insulation

insulation between conductive parts within a circuit, which is necessary for the proper functioning of the circuit, but which does not provide protection against electric shock

3.13

high-voltage PDS

product with rated supply voltage between 1 kV and 35 kV a.c., 50 Hz or 60 Hz

NOTE These products fall into the scope of IEC 61800-4

3.14

installation

equipment or equipments including at least the *PDS* and the driven equipment (see Figure 1)

NOTE The word “installation” is also used in this international standard to denote the process of installing a *PDS/CDM/BDM*. In these cases, the word does not appear in italics.

3.15

integrated PDS

PDS where motor and *CDM/BDM* are mechanically integrated into a single unit

3.16

(earth) leakage current

current flowing from the *live parts* of the *installation* to earth, in the absence of an insulation fault

[IEV 442-01-24]

3.17

live part

conductor or conductive part intended to be energized in normal use, including a neutral conductor but not a protective earth neutral

3.18

low-voltage PDS

product with rated supply voltage up to 1 000 V a.c., 50 Hz or 60 Hz

NOTE These products fall into the scope of IEC 61800-1 or IEC 61800-2.

3.19

open type (product)

(product) intended for incorporation within enclosure or assembly which will provide access protection

3.20**power drive system****PDS**

system for the speed control of an electric motor, including the *CDM* and motor but not the driven equipment (see Figure 1)

3.21**protective *ELV* (*PELV*) circuit**

electrical circuit with the following characteristics:

- the voltage does not continuously exceed *ELV* under single fault as well as normal conditions;
- *protective separation* from circuits other than *PELV* or *SELV*;
- provisions for earthing of the *PELV circuit*, or its accessible conductive parts, or both

3.22**prospective short-circuit current**

current which flows when the supply conductors to the circuit are short-circuited by a conductor of negligible impedance located as near as possible to the supply terminals of the *PDS/CDM/BDM*

3.23**protective bonding**

electrical connection of conductive parts for safety purposes

3.24**protective class 0**

equipment in which protection against electric shock relies only upon *basic insulation*

NOTE Equipment of this class becomes hazardous in the event of a failure of the *basic insulation*.

3.25**protective class I**

equipment in which protection against electric shock does not rely on *basic insulation* only, but which includes an additional safety precaution in such a way that means are provided for the connection of accessible conductive parts to the *protective (earthing) conductor* in the fixed wiring of the *installation*, so that accessible conductive parts cannot become live in the event of a failure of the *basic insulation*

3.26**protective class II**

equipment in which protection against electric shock does not rely on *basic insulation* only, but in which additional safety precautions such as *supplementary insulation* or *reinforced insulation* are provided, there being no provision for *protective earthing* or reliance upon installation conditions

3.27**protective class III**

equipment in which protection against electric shock relies on supply at *ELV* and in which voltages higher than those of *ELV* are not generated and there is no provision for *protective earthing*

[see IEC 61140, subclause 7.4]

3.28

protective earthing (PE)

earthing of a point in a system, or equipment, for protection against electric shock in case of a fault

3.29

protective earthing conductor

protective conductor provided for *protective earthing*

[IEV 195-02-11]

3.30

protective impedance

impedance connected between *live parts* and accessible conductive parts, of such value that the current, in normal use and under likely fault conditions, is limited to a safe value, and which is so constructed that its reliability is maintained throughout the life of the equipment

[IEV 442-04-24, modified]

3.31

protective screening

separation of circuits from hazardous live-parts by means of an interposed conductive screen, connected to the means of connection for a *protective earthing conductor*

3.32

protective separation

separation between circuits by means of basic and supplementary protection (*basic insulation* plus *supplementary insulation* or *protective screening*) or by an equivalent protective provision (for example, *reinforced insulation*)

3.33

reinforced insulation

single insulation system, applied to *live parts*, which provides a degree of protection against electric shock equivalent to *double insulation* under the conditions specified in the relevant IEC standard

[IEC 60664-1: 1992, definition 1.3.17.5]

3.34

routine test

test to which each individual device is subjected during or after manufacture to ascertain whether it complies with certain criteria

[IEV 151-16-17]

3.35

Safety ELV (SELV) circuit

electrical circuit with the following characteristics:

- the voltage does not exceed *ELV*;
- *protective separation* from circuits other than *SELV* or *PELV*;
- no provisions for earthing of the *SELV circuit*, or its accessible conductive parts;
- *basic insulation* of the *SELV circuit* from earth and from *PELV circuits*

3.36

sample test

test on a number of devices taken at random from a batch

[IEV 151-16-20, modified]

3.37**supplementary insulation**

independent insulation applied in addition to *basic insulation* in order to provide protection against electric shock in the event of a failure of *basic insulation*

[IEC 60664-1: 1992, definition 1.3.17.3]

NOTE *Basic and supplementary insulation* are separate, each designed for basic protection against electric shock.

3.38**system voltage**

voltage used to determine insulation requirements

NOTE See 4.3.6.2.1 for further consideration of *system voltage*.

3.39**temporary overvoltage**

overvoltage at the supply frequency of relatively long duration

[IEC 60664-1:1992, definition 1.3.7.1, modified]

3.40**touch current**

electric current passing through a human body or through an animal body when it touches one or more accessible parts of an electrical installation or electrical equipment

[IEV 826-11-12]

3.41**type test**

test of one or more devices made to a certain design to show that the design meets certain specifications

[IEV 151-16-16, modified]

3.42**user terminal**

terminal provided for external connection to the *PDS/CDM/BDM*

3.43**working voltage**

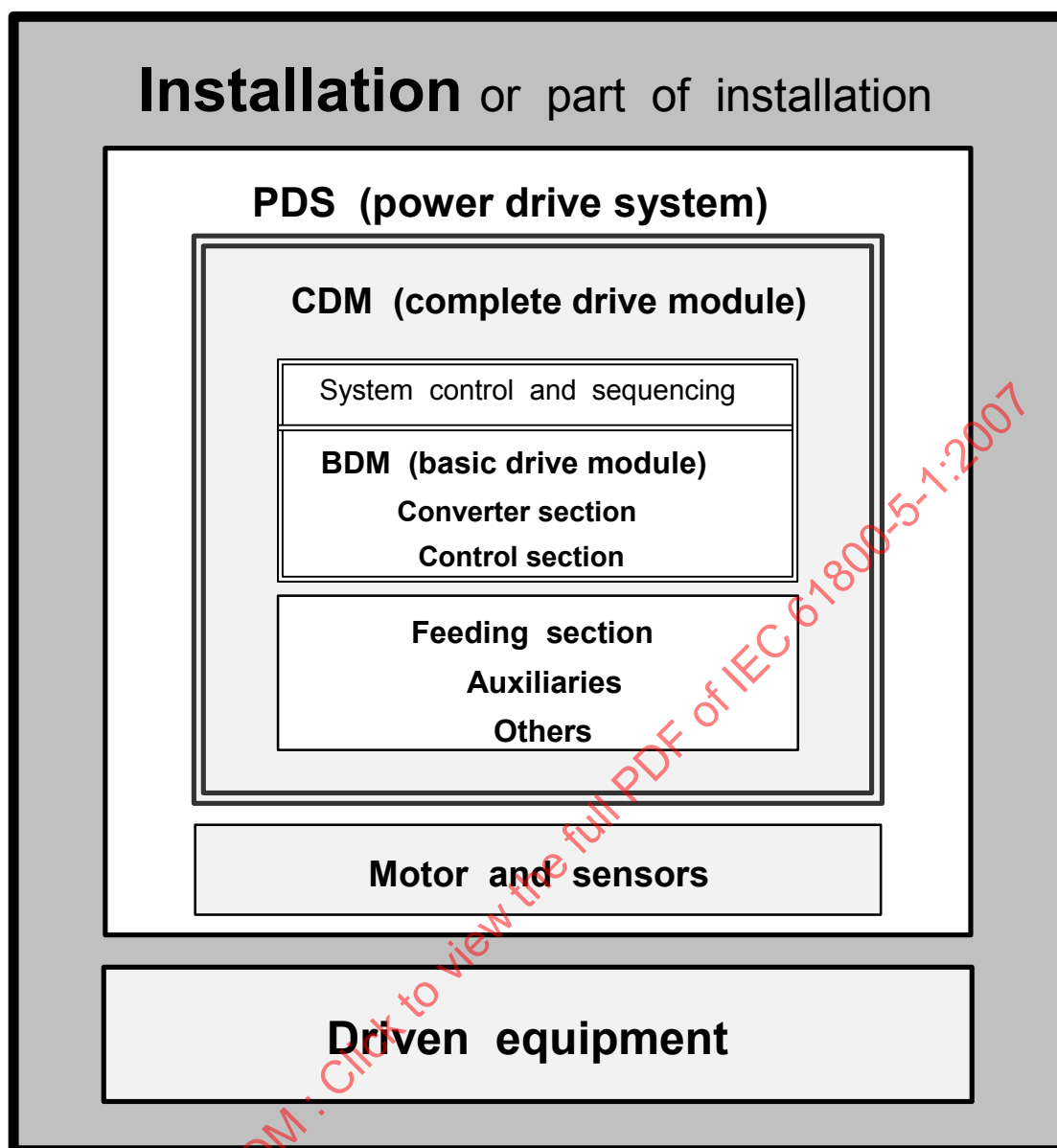
voltage, at rated supply conditions (without tolerances) and worst case operating conditions, which occurs by design in a circuit or across insulation

NOTE The *working voltage* can be d.c. or a.c. Both the r.m.s. and recurring peak values are used.

3.44**zone of equipotential bonding**

zone where all simultaneously accessible conductive parts are electrically connected to prevent hazardous voltages appearing between them

NOTE For equipotential bonding, it is not necessary for the parts to be earthed.



IEC 1197/07

Figure 1 – *PDS* hardware configuration within an *installation*

4 Protection against electric shock, thermal, and energy hazards

4.1 General

This Clause 4 defines the minimum requirements for the design and construction of a *PDS*, to ensure its safety during installation, normal operating conditions and maintenance for the *expected lifetime* of the *PDS*. Consideration is also given to minimising hazards resulting from reasonably foreseeable misuse.

Table 2 shows the application of the requirements of this Clause 4 to *PDS*, *CDM* or *BDM*.

Table 2 – Relevance of requirements to *PDS/CDM/BDM*

Sub-clause	Title	<i>PDS</i> ^a	<i>CDM/BDM</i>
4.2	(Protection against electric shock, thermal, and energy hazards) - Fault conditions	A	A
4.3.1	<i>Decisive voltage classification</i>	A	A
4.3.2	<i>Protective separation</i>	A	A
4.3.3	Protection against direct contact	A	C
4.3.4	Protection in case of direct contact	A	C
4.3.5.1	(Protection against indirect contact) - General	A	A
4.3.5.2	Insulation between <i>live parts</i> and accessible conductive parts	A	C
4.3.5.3	4.1.1.1 <i>Protective bonding circuit</i>	A	C
4.3.5.4	<i>Protective earthing conductor</i>	A	A
4.3.5.5	Means of connection for the <i>protective earthing conductor</i>	A	A
4.3.5.6	Special features in equipment for <i>protective class II</i>	A	C
4.3.6	Insulation	A	A
4.3.7	Enclosures	A	C
4.3.8	Wiring and connections	A	A
4.3.9	Output short-circuit requirements	A	A
4.3.10	Residual current-operated protective (RCD) or monitoring (RCM) device compatibility	A	C
4.3.11	Capacitor discharge	A	A
4.3.12	Access conditions for <i>high-voltage PDS</i>	A	C
4.4	Protection against thermal hazards	A	A
4.4.3	Flammability of enclosure materials	A	C
4.4.5	Specific requirements for liquid cooled <i>PDS</i>	A	A
4.5	Protection against energy hazards	A	A
4.5.2	Mechanical energy hazards	A	C
4.6	Protection against environmental stresses	A	A
A Requirement always relevant.			
C Requirement relevant unless <i>CDM</i> or <i>BDM</i> is incorporated into an assembly that provides the required protection.			
^a <i>Integrated PDS</i> shall meet the requirement for <i>PDS</i> .			

4.2 Fault conditions

PDS shall be designed to avoid operating modes or sequences that can cause a fault condition or component failure leading to a hazard, unless other measures to prevent the hazard are provided by the *installation*.

Protection against thermal hazards and electric shock shall be maintained in single fault conditions as well as under normal conditions.

Circuit analysis shall be performed to identify components (including insulation systems) whose failure would result in a thermal or electric shock hazard. The analysis shall include the effect of short-circuit and open-circuit conditions of the component. The analysis need not include power semiconductor devices if equivalent testing is accomplished during short-circuit tests, or components which have been determined to have an insignificant probability of failure during the *expected lifetime* of the *PDS*. See 5.2.3.6.4 for test.

NOTE It is possible that no critical components will be revealed by the analysis. In this case, no component failure testing is required.

Consideration shall be given to potential safety hazards associated with major component parts of the *PDS*, such as motor rotating parts and flammability of transformer and capacitor oils.

4.3 Protection against electric shock

4.3.1 Decisive voltage classification

4.3.1.1 Use of *decisive voltage class* (DVC)

Protective measures against electric shock depend on the *decisive voltage classification* of the circuit according to Table 3, which correlates the limits of the *working voltage* within the circuit with the *DVC*. The *DVC* in turn determines the minimum required level of protection for the circuit.

4.3.1.2 Limits of *DVC*

Table 3 – Summary of the limits of the *decisive voltage classes*

DVC	Limits of <i>working voltage</i> (V)			Subclause
	a.c. voltage (r.m.s.) U_{ACL}	a.c. voltage (peak) U_{ACPL}	d.c. voltage (mean) U_{DCL}	
A ^a	25	35,4	60	4.3.4.2, 4.3.4.4
B	50	71	120	4.3.5.3.1 a), b)
C	1 000	4 500 ^b	1 500	
D	> 1 000	> 4 500	> 1 500	

^a For equipment having only one *DVC* A circuit, the r.m.s. and peak voltage limits are 30 V and 42,4 V respectively.

^b The value of 4 500 V allows all *low-voltage PDS* to be covered by Table 7 (possible reflections up to $3 \times \sqrt{2} \times 1\,000\text{ V} = 4\,242\text{ V}$).

4.3.1.3 Requirements for protection

Table 4 shows the requirements for the application of *basic insulation* or *protective separation*, dependent on the *DVC* of the circuit under consideration and of *adjacent circuits*.

Table 4 – Protection requirements for considered circuit

DVC of considered circuit	Protection required against direct contact	Insulation to earthed parts	Insulation to accessible conductive parts that are not earthed	Insulation to adjacent circuit of DVC:			
				A	B	C	D
A	No	a *	a	f *	b	p ‡	p
B	Yes	b	p		b	p ‡	p
C	Yes	b	p			b	p
D	Yes	b	p				b

a Insulation is not necessary for safety, but may be required for functional reasons.

* If the considered circuit is designated as a *SELV circuit*, *basic insulation* is required from earth and from *PELV circuits*.

f *Functional insulation* for circuit of higher voltage.

b *Basic insulation* for circuit of higher voltage.

p *Protective separation* for circuit of higher voltage.

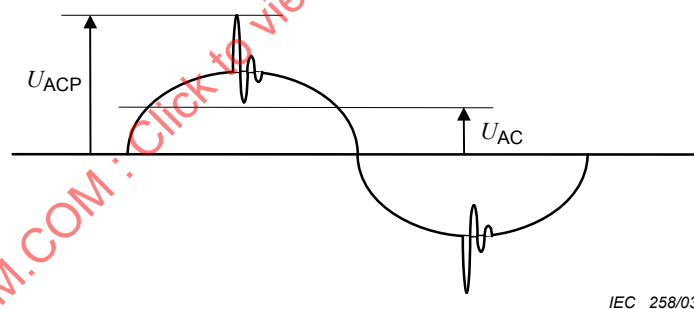
‡ It is permitted to use *basic insulation* for the circuit of higher voltage if protection against direct contact is applied to the considered circuit by *basic* or *supplementary insulation* for the circuit of higher voltage.

4.3.1.4 Circuit evaluation

4.3.1.4.1 General

The *DVC* of a given circuit is evaluated by the method set out below, three cases of waveforms being considered.

4.3.1.4.2 A.C. working voltage (see Figure 2)



Key

U_{AC} r.m.s. voltage

U_{ACP} recurring peak voltage

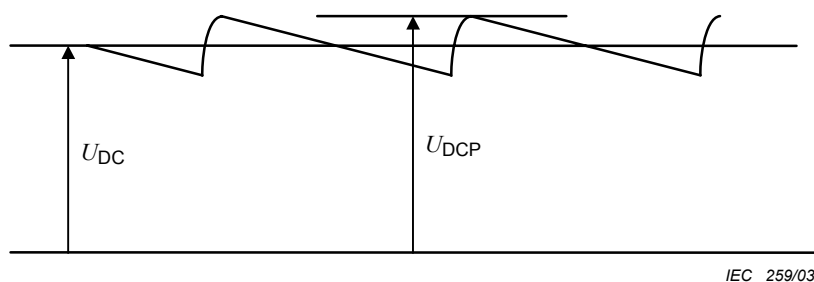
Figure 2 – Typical waveform for a.c. working voltage

The *working voltage* has an r.m.s. value U_{AC} and a recurring peak value U_{ACP} .

The *DVC* is that of the lowest voltage row of Table 3 for which both of the following conditions are satisfied.

- $U_{AC} \leq U_{ACL}$
- $U_{ACP} \leq U_{ACPL}$

4.3.1.4.3 D.C. working voltage (see Figure 3)



Key

U_{DC} mean voltage

U_{DCP} recurring peak voltage

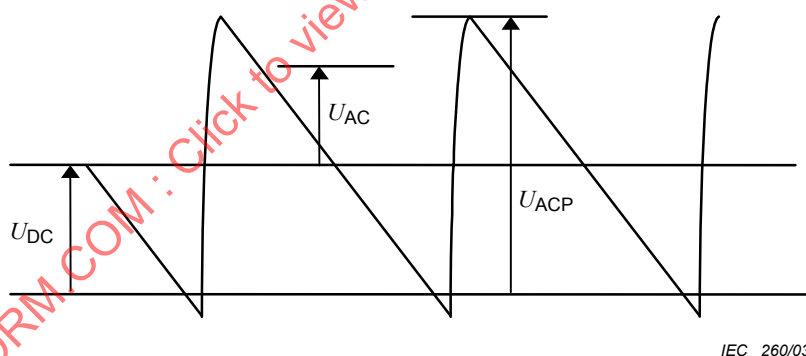
Figure 3 – Typical waveform for d.c. working voltage

The *working voltage* has a mean value U_{DC} and a recurring peak value U_{DCP} , caused by a ripple voltage of r.m.s. value not greater than 10 % of U_{DC} .

The *DVC* is that of the lowest voltage row of Table 3 for which both of the following conditions are satisfied.

- $U_{DC} \leq U_{DCL}$
- $U_{DCP} \leq 1,17 \times U_{DCL}$

4.3.1.4.4 Pulsating working voltage (see Figure 4)



Key

U_{DC} mean voltage

U_{DCP} recurring peak voltage

Figure 4 – Typical waveform for pulsating working voltage

The *working voltage* has a mean value U_{DC} and a recurring peak value U_{ACP} , caused by a ripple voltage of r.m.s. value U_{AC} greater than 10 % of U_{DC} .

The *DVC* is that of the lowest voltage row of Table 3 for which both of the following conditions are satisfied.

- $U_{AC}/U_{ACL} + U_{DC}/U_{DCL} \leq 1$
- $U_{ACP}/U_{ACPL} + U_{DC}/(1,17 \times U_{DCL}) \leq 1$

4.3.2 Protective separation

Protective separation shall be achieved by application of materials resistant to degradation, as well as by special constructive measures; and

- by *double* or *reinforced insulation*,
or
- by *protective screening*, i.e. by a conductive screen connected to earth by *protective bonding* of the *PDS*, or connected to the protective earth conductor itself, whereby the screen is separated from *live parts* by at least *basic insulation*,
or
- by *protective impedance* according to 4.3.4.3 comprising limitation of discharge energy and of current, or by limitation of voltage according to 4.3.4.4.

The *protective separation* shall be fully and effectively maintained under all conditions of intended use of the *PDS*.

4.3.3 Protection against direct contact

4.3.3.1 General

Protection against direct contact is employed to prevent persons from touching *live parts* which do not meet the requirements of 4.3.4. It shall be provided by one or more of the measures given in 4.3.3.2 and 4.3.3.3.

For *integrated PDS* the motor shall meet the requirements of IEC 60034-5. For the *BDM* the protection shall be provided by one or more of the measures given in 4.3.3.2 and 4.3.3.3.

4.3.3.2 Protection by means of insulation of *live parts*

Live parts shall be completely surrounded with insulation if their *working voltage* is greater than the maximum limit of *DVC* A or if they do not have *protective separation* from *adjacent circuits* of *DVC* C or D. The insulation shall be rated according to the impulse voltage, *temporary overvoltage* or *working voltage* (see 4.3.6.2.1), whichever gives the most severe requirement. It shall not be possible to remove the insulation without the use of a tool.

Any conductive part which is not separated from the *live parts* by at least *basic insulation* is considered to be a *live part*. A metallic accessible part is considered to be conductive if its surface is bare or is covered by an insulating layer which does not comply with the requirements of *basic insulation*.

As an alternative to solid or liquid insulation, a clearance according to 4.3.6.4, shown by L_1 and L_2 in Figure 5, may be provided.

The grade of insulation – *basic*, *double* or *reinforced* – depends on:

- the *DVC* of the *live parts* or *adjacent circuits*,
and
- the connection of conductive parts to earth by *protective bonding*.

Examples of insulation configurations are given in Figure 5, which also shows the requirements for apertures.

Type of insulation	Insulation configuration		
	a Accessible parts conductive and connected to earth by <i>protective bonding</i>	b Accessible parts not conductive	c Accessible parts conductive, but NOT connected to earth by <i>protective bonding</i>
1) Solid or liquid			
2) Totally or partially by air clearance			
3) Insulation for adjacent circuits:			
4) Requirements for apertures in enclosures			
A live part	L_1 clearance for <i>basic insulation</i>	T test finger (Clause 12 of IEC 60529)	
B basic insulation for circuit A	L_2 clearance for <i>reinforced insulation</i>	Z supplementary insulation for circuit A	
Bc basic insulation for circuit C	M conductive part	Zc supplementary insulation for circuit C	
C adjacent circuit	R reinforced insulation for circuit A	* also applies to plastic screws	
D double insulation for circuit A	Rc reinforced insulation for circuit C	F functional insulation for circuit A	
I insulation less than B	S surface of equipment		

NOTE 1: In column c a plastic screw is treated like a metal screw because a user could replace it with a metal screw during the life of the equipment.

NOTE 2: In row 4), the insertion of the test finger is considered to represent the first fault.

Figure 5 – Examples for protection against direct contact

Three cases are considered:

Case a): Accessible parts are conductive and are connected to earth by *protective bonding*.

- *Basic insulation* is required between accessible parts and the *live parts*. The relevant voltage is that of the *live parts* (see Figure 5, cells 1)a), 2)a), 3)a)).

Cases b) and c): Accessible parts are non-conductive (case b)) or conductive but not connected to earth by *protective bonding* (case c)). The required insulation is:

- *double or reinforced insulation* between accessible parts and *live parts* of DVC C or D. The relevant voltage is that of the *live parts* (see Figure 5, cells 1)b), 1)c), 2)b), 2)c)).
- *supplementary insulation* between accessible parts and *live parts* of circuits of DVC A or B which are separated by *basic insulation* from *adjacent circuits* of DVC C. The relevant voltage is the highest voltage of the *adjacent circuits* (see Figure 5, upper cells 3)b), 3)c)).
- *basic insulation* between accessible parts and *live parts* of circuits of DVC B which have *protective separation* from *adjacent circuits* of DVC C or D. The relevant voltage is that of the *live parts* (see Figure 5, lower cells 3)b), 3)c)).

4.3.3.3 Protection by means of enclosures and barriers

Live parts of DVC B, C or D shall be arranged in enclosures or located behind enclosures or barriers, which meet at least the requirements of the Protective Type IPXXB according to 15.1 of IEC 60529. The top surfaces of enclosures or barriers which are accessible when the equipment is energized shall meet at least the requirements of the Protective Type IP3X with regard to vertical access only. See 5.2.2.3 for test. It shall only be possible to open enclosures or remove barriers with the use of a tool or after de-energization of these *live parts*.

Where the enclosure is required to be opened and the *PDS* energised during installation or maintenance:

- a) accessible *live parts* of DVC B, C or D shall be protected to at least IPXXA;
- b) *live parts* of DVC B, C or D that are likely to be touched when making adjustments shall be protected to at least IPXXB;
- c) it shall be ensured that persons are aware that *live parts* of DVC B, C or D are accessible.

Open type sub-assemblies and devices do not require protective measures against direct contact.

Products containing circuits of DVC A, B or C, intended for installation in *closed electrical operating areas*, as defined in 3.5, need not have protective measures against direct contact.

Products containing circuits of DVC D, intended for installation within a *closed electrical operating area*, have additional requirements (see 4.3.12).

4.3.4 Protection in case of direct contact

4.3.4.1 General

Protection in case of direct contact is required to ensure that contact with *live parts* does not produce a shock hazard.

The protection against direct contact according to 4.3.3 is not required if the circuit contacted is separated from all other circuits according to 4.3.1.3, and:

- is of *DVC A* and complies with 4.3.4.2,
or
- is current limited via a *protective impedance* according to 4.3.4.3,
or
- is limited in voltage according to 4.3.4.4.

See Annex A for examples of these measures.

NOTE The requirements of these subclauses apply to the entire circuit including power supplies and any associated peripheral devices.

Compliance with *protective separation* requirements shall be verified according to 5.2.1, 5.2.2, and 5.2.3 as appropriate.

4.3.4.2 Protection using *DVC A*

Unearthed circuits of *DVC A*, and earthed circuits of *DVC A* used within a *zone of equipotential bonding* (see 3.44), do not require protection in case of direct contact.

Earthed circuits of *DVC A* that are not within a *zone of equipotential bonding* require additional protection in case of direct contact, by one of the measures given in 4.3.4.3 or 4.3.4.4, in order to provide protection in cases where the earth reference potentials of the *DVC A* circuits are not the same. The instruction manual shall provide information concerning the use of these circuits (see 6.3.6.5).

4.3.4.3 Protection by means of *protective impedance*

The connection of accessible *live parts* to circuits of *DVC B*, *C* or *D*, or to earthed circuits of *DVC A* not used within a *zone of equipotential bonding*, shall only be made through *protective impedances* (unless 4.3.4.4 applies).

The same constructional provisions as those for *protective separation* shall be applied for the construction and arrangement of a *protective impedance*. The current value stated below shall not be exceeded in the event of failure of a single component. The stored charge available between simultaneously accessible parts protected by the *protective impedance* shall not exceed 50 μC .

The *protective impedances* shall be designed so that the current available through them to earth at the accessible *live part* does not exceed a value of 3,5 mA a.c. or 10 mA d.c. See 5.2.3.4 for test.

The *protective impedances* shall be designed and tested to withstand the impulse voltages and *temporary overvoltages* for the circuits to which they are connected. See 5.2.3.1 and 5.2.3.2 for tests.

4.3.4.4 Protection by means of limited voltages

This type of protection implies a voltage division technique from a circuit protected against direct contact, resulting in a voltage to earth not greater than that of *DVC A*.

This circuit shall be designed so that, even in the event of failure of a single component in the voltage division circuit, the voltage across output terminals as well as the voltage to earth will not become greater than that of *DVC A*. The same constructional measures as in *protective separation* shall be employed in this case.

This type of protection shall not be used in case of *protective class II*, because it relies on protective earth being connected.

4.3.5 Protection against indirect contact

4.3.5.1 General

Protection against indirect contact is required to prevent shock currents which can result from accessible conductive parts during an insulation failure. This protection shall comply with the requirements for *protective class I*, *class II* or *class III*.

That part of a *PDS* which meets the requirements of 4.3.5.2, 4.3.5.3 and 4.3.5.3.2 is defined as *protective class I*.

That part of a *PDS* which meets the requirements of 4.3.5.6 is defined as *protective class II*.

That part of a *PDS* which meets the requirements of *SELV* is defined as *protective class III*.

Protective class 0 is only acceptable for parts of the *PDS* when instructions are provided to meet the requirements of 4.3.3.3 (*closed electrical operating areas*) (see 6.3.6.5). In the case of *high-voltage PDS*, special requirements exist (see 4.3.12).

4.3.5.2 Insulation between *live parts* and accessible conductive parts

Accessible conductive parts of equipment shall be separated from *live parts* at least by *basic insulation* or by clearances as in 4.3.6.4.

4.3.5.3 Protective bonding circuit

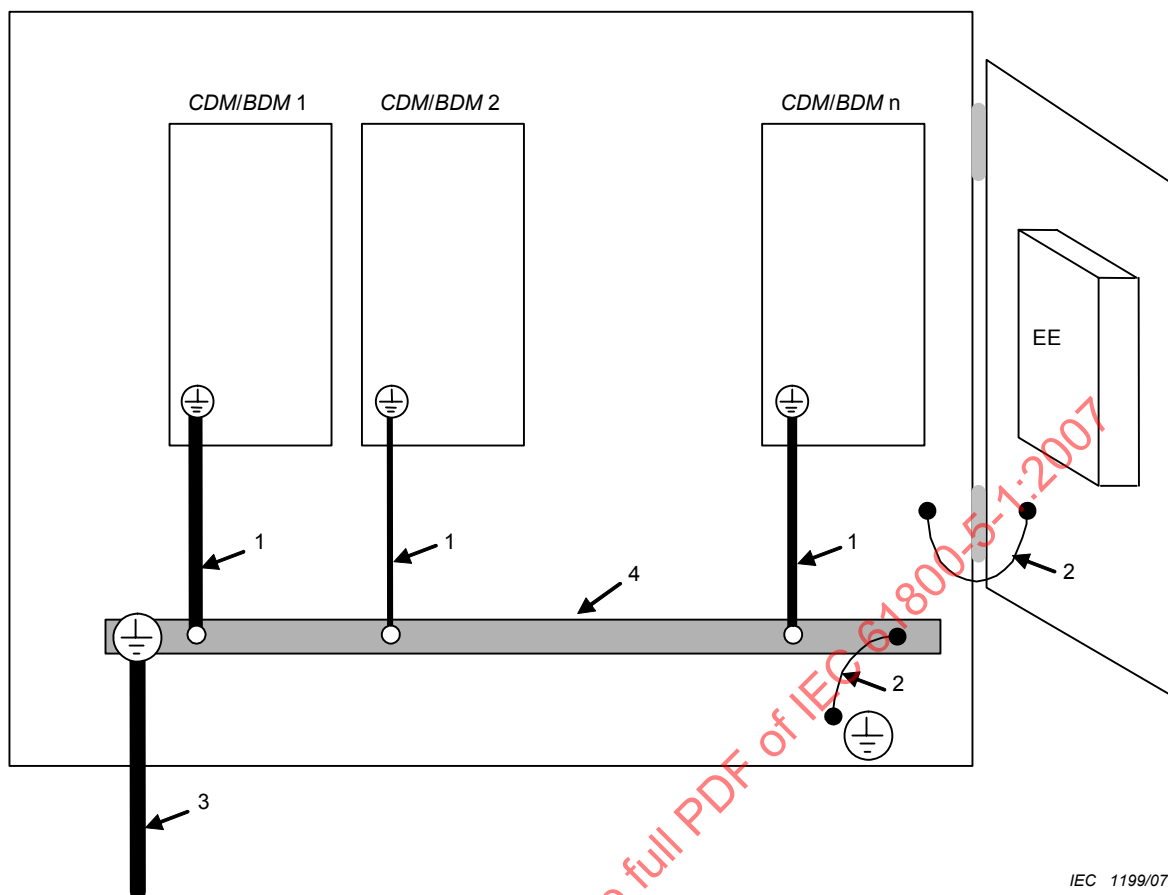
4.3.5.3.1 General

Other than in a) or b) below, *protective bonding* shall be provided between accessible conductive parts of equipment and the means of connection for the *protective earthing conductor*:

- a) when accessible conductive parts are protected by one of the measures in 4.3.4.2 to 4.3.4.4;
- b) when accessible conductive parts are separated from *live parts* using *double* or *reinforced insulation*.

NOTE Some examples of such parts are magnetic cores, screws, rivets, nameplates and cable clamps.

Figure 6 shows an example *CDM/BDM* assembly and its associated *protective bonding*.



IEC 1199/07

- 1 CDM/BDM protective earthing conductor (dimensioned according to CDM/BDM requirements)
- 2 Protective bonding
- 3 PDS protective earthing conductor (dimensioned according to PDS requirements) to installation earthing point
- 4 Earth bar
- EE other electrical equipment (bonded as relevant for that equipment)

Figure 6 – Example of protective bonding

Electrical contact to the means of connection of the *protective earthing conductor* shall be achieved by one or more of the following means:

- through direct metallic contact;
- through other accessible conductive parts which are not removed when the *PDS/CDM/BDM* is used as intended;
- through a dedicated *protective bonding* conductor;
- through other metallic components of the *PDS/CDM/BDM*.

NOTE When painted surfaces (in particular powder painted surfaces) are joined together, then a separate connection should be made for reliable contact.

Where electrical equipment is mounted on lids, doors, or cover plates, continuity of the *protective bonding* circuit shall be ensured and it is recommended that a dedicated conductor be used. Otherwise fastenings, hinges or sliding contacts designed and maintained to have a low resistance shall be used.

Metal ducts of flexible or rigid construction and metallic sheaths shall not be used as protective conductors.

For *high-voltage PDS*, metal ducts and metal sheathing of all connecting cables (e.g. cable armouring, lead sheath) shall be connected to earth by the *protective bonding* circuit. If only one end of such ducting or sheathing is so connected, it shall not be possible to touch the other end. This shall be connected to earth by the *protective bonding* circuit via an impedance to limit any induced voltage to a maximum of 50 V a.c.

The *protective bonding* circuit shall not incorporate a switching device, an overcurrent device (e.g. switch, fuse) or means of current detection for such devices.

4.3.5.3.2 Rating of protective bonding

Protective bonding shall withstand the highest thermal and dynamic stresses that can occur to the *PDS/CDM/BDM* item(s) concerned when they are subjected to a fault connecting to accessible conductive parts.

The *protective bonding* shall remain effective for as long as a fault to the accessible conductive parts persists or until an upstream protective device removes power from the part.

NOTE In cases where the *protective bonding* is routed through conductors of low cross-section (for example, PWB tracks), particular care should be taken to ensure that no undetected damage to the bonding circuit can occur in the event of a fault.

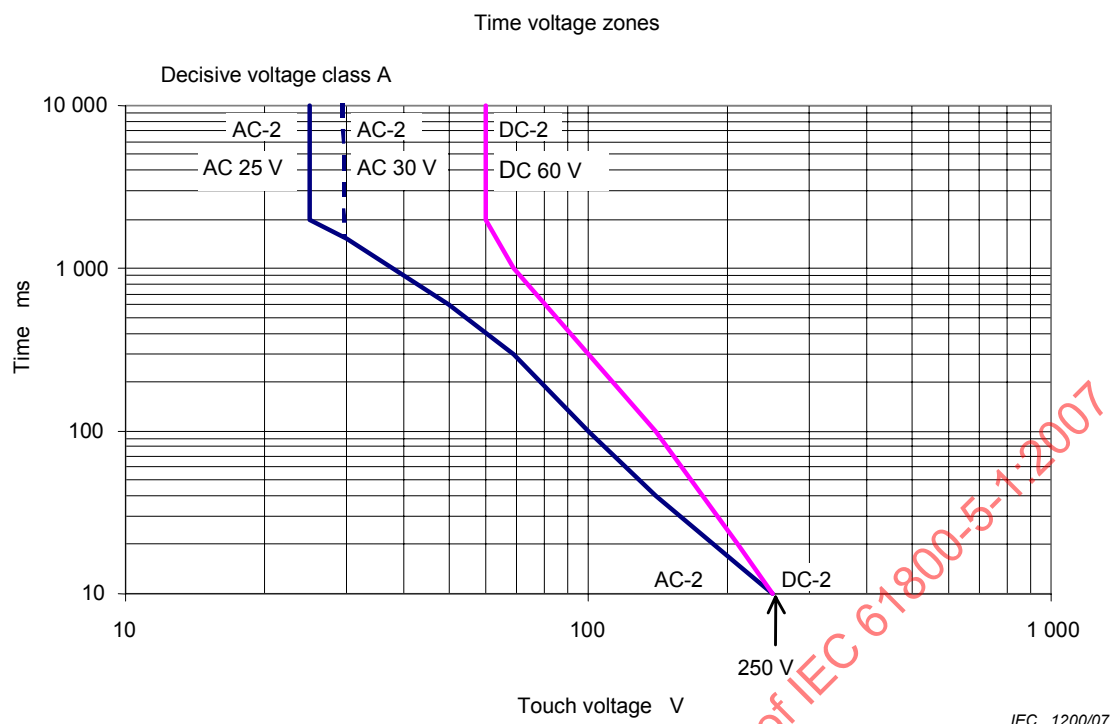
These conditions will be satisfied if the cross-section of the *protective bonding* conductor is the same as that for the *protective earthing conductor* according to 4.3.5.4. For testing, see 5.2.3.9.

Alternatively, *protective bonding* may be designed to meet the impedance requirements of 4.3.5.3.3.

4.3.5.3.3 Protective bonding impedance

The impedance of the *protective bonding* shall be sufficiently low that:

- during normal operation, no voltage exceeding continuously 5 V a.c. or 12 V d.c. can persist between the accessible conductive parts and the means of connection for the *protective earthing conductor*,
and
- under fault conditions, no voltage exceeding AC-2 or DC-2 in Figure 7 can persist between accessible conductive parts and the means of connection for the *protective earthing conductor* until an upstream protective device removes power from the part. The upstream protective device considered for this requirement shall have the characteristics required by the installation manual according to 6.3.7.



NOTE The dashed line of AC-2 applies if only a single *DVC A* circuit is present; the solid line applies if more than one *DVC A* circuit is present.

Figure 7 – Voltage limits under fault conditions

For testing, see 5.2.3.9.

4.3.5.4 Protective earthing conductor

A *protective earthing conductor* shall be connected at all times when power is supplied to the *PDS/CDM/BDM*, unless the *PDS/CDM/BDM* complies with the requirements of *protective class II* (see 4.3.5.6). Unless local wiring regulations state otherwise, the *protective earthing conductor* cross-sectional area shall be determined from Table 5 or by calculation according to 543.1 of IEC 60364-5-54.

If the *protective earthing conductor* is routed through a plug and socket, or similar means of disconnection, it shall not be possible to disconnect it unless power is simultaneously removed from the part to be protected.

Table 5 – Protective earthing conductor cross-section

Cross-sectional area of phase conductors of the <i>PDS/CDM/BDM</i> S (mm ²)	Minimum cross-sectional area of the corresponding <i>protective earthing conductor</i> S_p (mm ²)
$S \leq 16$	S
$16 < S \leq 35$	16
$35 < S$	$S/2$

The values in Table 5 are valid only if the *protective earthing conductor* is made of the same metal as the phase conductors. If this is not so, the cross-sectional area of the *protective earthing conductor* shall be determined in a manner which produces a conductance equivalent to that which results from the application of Table 5.

The cross-sectional area of every *protective earthing conductor* which does not form part of the supply cable or cable enclosure shall, in any case, be not less than:

- 2,5 mm² if mechanical protection is provided,
or
- 4 mm² if mechanical protection is not provided. For cord-connected equipment, provisions shall be made so that the *protective earthing conductor* in the cord shall, in the case of failure of the strain-relief mechanism, be the last conductor to be interrupted.

For special system topologies, such as 6-phase motors, the *PDS* designer shall verify the *protective earthing conductor* cross-section required.

4.3.5.5 Means of connection for the *protective earthing conductor*

4.3.5.5.1 General

Every *PDS* or *PDS* element (motor, converter, transformer) requiring connection to earth by *protective bonding* shall have a means of connection for the *protective earthing conductor*, located near the terminals for the respective live conductors. The means of connection shall be corrosion-resistant and shall be suitable for the connection of cables according to Table 5 and of cables in accordance with the wiring rules applicable at the *installation*. The means of connection for the *protective earthing conductor* shall not be used as a part of the mechanical assembly of the equipment or for other connections. A separate means of connection shall be provided for each *protective earthing conductor*.

For *high-voltage PDS*, protective shields of high voltage cables shall have provision for connection to earth by *protective bonding* in accordance with IEC 60204-11 and IEC 61800-4. The *protective bonding* concept shall be by agreement between the supplier and user and consistent with local requirements in the area of *installation*.

Connection and bonding points shall be designed so that their current-carrying capacity is not impaired by mechanical, chemical, or electrochemical influences. Where enclosures and/or conductors of aluminium or aluminium alloys are used, particular attention should be given to the problems of electrolytic corrosion.

See 6.3.6.6 for marking requirements.

4.3.5.5.2 *Touch current* in case of failure of *protective earthing conductor*

The requirements of this subclause shall be satisfied to maintain safety in case of damage to or disconnection of the *protective earthing conductor*.

For plug-connected single phase *PDS/CDM/BDM*, not using an industrial connector according to IEC 60309, the *touch current* (measured in accordance with 5.2.3.5) shall not exceed 3,5 mA a.c. or 10 mA d.c.

For all other *PDS/CDM/BDM*, one or more of the following measures shall be applied, unless the *touch current* (measured in accordance with 5.2.3.5) can be shown to be less than 3,5 mA a.c. or 10 mA d.c.

a) A fixed connection and:

- a cross-section of the *protective earthing conductor* of at least 10 mm² Cu or 16 mm² Al,
or

- automatic disconnection of the supply in case of discontinuity of the *protective earthing conductor*;
- or
- provision of an additional terminal for a second *protective earthing conductor* of the same cross-sectional area as the original *protective earthing conductor*,

or

- b) connection with an industrial connector according to IEC 60309 and a minimum *protective earthing conductor* cross-section of 2,5 mm² as part of a multi-conductor power cable. Adequate strain relief shall be provided.

For marking requirements, see 6.3.6.7.

4.3.5.6 Special features in equipment for *protective class II*

If equipment is designed to use *double* or *reinforced insulation* between *live parts* and accessible surfaces in accordance with 4.3.3.2, then the design is considered to meet *protective class II*, if the following also apply.

- Equipment designed to *protective class II* shall not have means of connection for the *protective earthing conductor*. However this does not apply if a *protective earthing conductor* is passed through the equipment to equipment series-connected beyond it. In the latter event, the *protective earthing conductor* and its means for connection shall be insulated with *basic insulation* from the accessible surface of the equipment and from circuits which employ *protective separation*, extra-low voltage, *protective impedance* and limited discharging energy, according to 4.3.4. This *basic insulation* shall correspond to the rated voltage of the series-connected equipment.
- Metal-encased equipment of *protective class II* may have provision on its enclosure for the connection of an equipotential bonding conductor.
- Equipment of *protective class II* may have provision for the connection of an earthing conductor for functional reasons or for the damping of overvoltages; it shall, however, be insulated as though it is a *live part*.
- Equipment of *protective class II* shall be marked according to 6.3.6.6.

4.3.6 Insulation

4.3.6.1 General

4.3.6.1.1 Influencing factors

This subclause gives minimum requirements for insulation, based on the principles of IEC 60664 and IEC 60071.

Manufacturing tolerances shall be taken into account during design and installation of the *PDS*.

For *integrated PDS* the motor insulation system shall meet the requirements of the relevant part of IEC 60034. The *CDM/BDM* shall comply with the requirements of 4.3.6.

Insulation shall be selected after consideration of the following influences:

- pollution degree;
- overvoltage category;
- supply earthing system;

- insulation voltage;
- location of insulation;
- type of insulation;

Verification of insulation shall be made according to 5.2.2.1, 5.2.3.1, 5.2.3.2, and 5.2.3.3.

4.3.6.1.2 Pollution degree

Insulation, especially when provided by clearances and creepage distances, is affected by pollution which occurs during the *expected lifetime* of the *PDS*. The micro-environmental conditions for insulation shall be applied according to Table 6.

Table 6 – Definitions of pollution degrees

Pollution degree	Description
1	No pollution or only dry, non-conductive pollution occurs. The pollution has no influence.
2	Normally, only non-conductive pollution occurs. Occasionally, however, a temporary conductivity caused by condensation is to be expected, when the <i>PDS</i> is out of operation.
3	Conductive pollution or dry non-conductive pollution occurs, which becomes conductive due to condensation, which is to be expected.
4	The pollution generates persistent conductivity caused, for example by conductive dust or rain or snow.

In accordance with IEC 61800-1, IEC 61800-2 and IEC 61800-4, a standard *PDS* shall be designed for pollution degree 2. For safety, pollution degree 3 shall be assumed in determining the insulation. Thereby the *PDS* is usable for pollution degree 1, 2 and 3 environments.

The insulation may be determined according to pollution degree 2 if one of the following applies:

- instructions are provided with the *PDS* indicating that it shall be installed in a pollution degree 2 environment,
or
- the specific installation application of the *PDS* is known to be a pollution degree 2 environment,
or
- the *PDS* enclosure or coatings applied within the *PDS* according to 4.3.6.8.4.2 or 4.3.6.8.6 provide adequate protection against what is expected in pollution degree 3 and 4 (conductive pollution and condensation).

If operation in pollution degree 4 is required, protection shall be provided by means of a suitable enclosure.

4.3.6.1.3 Overvoltage category

The concept of overvoltage categories (based on IEC 60364-4-44 and IEC 60664-1) is used for equipment energized from the supply mains. Four categories are considered:

- category IV applies to equipment permanently connected at the origin of an *installation* (upstream of the main distribution board). Examples are electricity meters, primary overcurrent protection equipment and other equipment connected directly to outdoor open lines;

- category III applies to equipment permanently connected in fixed *installations* (downstream of, and including, the main distribution board). Examples are switchgear and other equipment in an industrial *installation*;
- category II applies to equipment not permanently connected to the fixed *installation*. Examples are appliances, portable tools and other plug-connected equipment;
- category I applies to equipment connected to a circuit where measures have been taken to reduce transient overvoltages to a low level.

Annex B shows examples of overvoltage category considerations for insulation requirements.

NOTE For *PDS* not intended to be powered from the supply mains, the appropriate overvoltage category should be determined as required by the application.

4.3.6.1.4 Supply earthing systems

IEC 60364-1 describes the three following basic types of earthing system.

- TN system: has one point directly earthed, the accessible conductive parts of the *installation* being connected to that point by protective conductors. Three types of TN system, TN-C, TN-S and TN-C-S, are defined according to the arrangement of the neutral and protective conductors.
- TT system: has one point directly earthed, the accessible conductive parts of the *installation* being connected to earth electrodes electrically independent of the earth electrodes of the power system.
- IT system: has all *live parts* isolated from earth or one point connected to earth through an impedance, the accessible conductive parts of the *installation* being earthed independently or collectively to the earthing system.

4.3.6.1.5 Insulation voltages

Table 7 and Table 8 use the *system voltage* of the circuit under consideration and overvoltage category to define the impulse voltage. The *system voltage* is also used to define the *temporary overvoltage*.

Table 7 – Insulation voltage for low voltage circuits

Column 1	2	3	4	5	6
System voltage (4.3.6.2.1) (V)	Impulse voltage (V)				Temporary overvoltage (crest value / r.m.s.) ^a (V)
	Overvoltage category				
	I	II	III	IV	
≤ 50	330	500	800	1 500	1 770 / 1 250
100	500	800	1 500	2 500	1 840 / 1 300
150	800	1 500	2 500	4 000	1 910 / 1 350
300	1 500	2 500	4 000	6 000	2 120 / 1 500
600	2 500	4 000	6 000	8 000	2 550 / 1 800
1 000	4 000	6 000	8 000	12 000	3 110 / 2 200
NOTE 1 Interpolation is not permitted.					
NOTE 2 The last row only applies to single-phase systems, or to the phase-to-phase voltage in three-phase systems.					
^a These values are derived using the formula (1 200 V + <i>system voltage</i>) from IEC 60664-1.					

Table 8 – Insulation voltage for high voltage circuits

Column 1	2	3	4	5	6
System voltage (4.3.6.2.1) (V)	Impulse voltage (V) Overvoltage Category				Temporary overvoltage (crest value / r.m.s.) (V)
	I	II	III	IV	
	> 1 000	4 000	6 000	8 000	
3 600	9 000 a	16 000 a	20 000 b	40 000 b	14 150 / 10 000 b
7 200	17 500 a	29 000 a	40 000 b	60 000 b	28 300 / 20 000 b
12 000	29 000 a	42 500 a	60 000 b	75 000 b	39 600 / 28 000 b
17 500	40 000 a	55 000 a	75 000 b	95 000 b	53 750 / 38 000 b
24 000	52 000 a	75 000 a	95 000 b	125 000 b	70 700 / 50 000 b
36 000	75 000 a	95 000 a	125 000 b	145 000 b	99 000 / 70 000 b
NOTE 1 Interpolation is permitted.					
a These values have been derived or extrapolated from Tables 4 and 5 of IEC 62103: 2003.					
b These values have been derived or extrapolated from Table 2 of IEC 60071-1:2006.					
c This value has been taken from IEC 60146-1-1, Ed.4 (in preparation).					

4.3.6.2 Insulation to the surroundings

4.3.6.2.1 General

Insulation for *basic*, *supplementary*, and *reinforced insulation* between a circuit and its surroundings shall be designed according to:

- the impulse voltage,
or
- the *temporary overvoltage*,
or

- the *working voltage* of the circuit.

NOTE 1 For creepage distances, the r.m.s. value of the *working voltage* is used. For clearance distances and solid insulation, the recurring peak value of the *working voltage* is used, as described in 4.3.6.2.2 to 4.3.6.2.4.

NOTE 2 Examples of *working voltage* with the combination of a.c., d.c. and recurring peaks are on the d.c. link of an indirect voltage source converter, or the damped oscillation of a thyristor snubber, or internal voltages of a switch-mode power supply.

The impulse voltage and *temporary overvoltage* depend on the *system voltage* of the circuit, and the impulse voltage also depends on the overvoltage category, as shown in Table 7 (for *low-voltage PDS*) and Table 8 (for *high-voltage PDS*).

The *system voltage* in column 1 of these tables is:

- For Table 7
 - in TN and TT systems: the r.m.s. value of the rated voltage between a phase and earth;

NOTE A corner-earthed system is a TN system with one phase earthed, in which the *system voltage* is the r.m.s. value of the rated voltage between a non-earthed phase and earth (i.e. the phase-phase voltage).
 - in three-phase IT systems:
 - for determination of impulse voltage, the r.m.s. value of the rated voltage between a phase and an artificial neutral point (an imaginary junction of equal impedances from each phase);

NOTE For most systems, this is equivalent to dividing the phase-to-phase voltage by $\sqrt{3}$.
 - for determination of *temporary overvoltage*, the r.m.s. value of the rated voltage between phases;
 - in single-phase IT systems: the r.m.s. value of the rated voltage between phases.
- For Table 8: the r.m.s. value of the rated voltage between phases.

NOTE 3 For both tables, when the supply voltage is rectified a.c., the *system voltage* is the r.m.s. value of the source a.c. before rectification, taking into account the supply earthing system.

NOTE 4 Voltages generated within the *PDS* by the secondaries of transformers providing galvanic isolation from the supply mains are also considered to be *system voltages* for the determination of impulse voltages.

NOTE 5 For *PDS* having series-connected diode bridges (12-pulse, 18-pulse, etc.), the *system voltage* is the sum of the a.c. voltages at the diode bridges.

4.3.6.2.2 Circuits connected directly to the supply mains

Insulation between the surroundings and circuits which are connected directly to the supply mains shall be designed according to the impulse voltage, *temporary overvoltage*, or *working voltage*, whichever gives the most severe requirement.

This insulation is normally evaluated to withstand impulses of overvoltage category III, except that overvoltage category IV shall be used when the *PDS* is connected at the origin of the *installation*. Overvoltage category II may be used for plug-in equipment connected to a supply for non-industrial purposes without special requirements with regard to reliability.

If measures are provided which reduce impulses of overvoltage category IV to values of category III, or values of category III to values of category II, *basic* or *supplementary insulation* may be designed for the reduced values. If the devices used for this purpose can be damaged by overvoltages or repeated impulses, thus decreasing their ability to reduce impulses, they shall be monitored and an indication of their status provided. For low-voltage applications, IEC 61643-12 provides information on the selection and use of such devices.

The requirements for *double* or *reinforced insulation* shall not be reduced when measures to reduce impulses are provided.

NOTE Circuits which are connected to the supply mains via *protective impedances*, according to 4.3.4.3, or via means of voltage limitation, according to 4.3.4.4, are not regarded as connected directly to the supply mains.

4.3.6.2.3 Circuits not connected directly to the supply mains

Insulation between the surroundings and circuits supplied by a transformer providing galvanic isolation from the supply mains shall be designed according to: a) the impulse voltage determined using the transformer secondary voltage as the *system voltage*, or b) the *working voltage*, whichever gives the more severe requirement.

This insulation is normally evaluated to withstand impulses of overvoltage category II, except that overvoltage category III shall be used when the *PDS* is connected at the origin of the *installation*.

If measures are provided which reduce impulses of overvoltage category III to values of category II, or, for *low-voltage PDS* only, values of category II to values of category I, *basic* or *supplementary insulation* may be designed for the reduced value. If the devices used for this purpose can be damaged by overvoltages or repeated impulses, thus decreasing their ability to reduce impulses, they shall be monitored and an indication of their status provided. For low-voltage applications, IEC 61643-12 provides information on the selection and use of such devices.

The requirements for *double* or *reinforced insulation* shall not be reduced when measures to reduce impulses are provided.

Insulation between the surroundings and circuits of *DVC A* or *B*, supplied by a transformer at a frequency other than that of the supply mains, or supplied by other means providing galvanic isolation from the supply mains, shall be evaluated according to the *working voltage* (recurring peak) of the circuit.

4.3.6.2.4 Insulation between circuits

Insulation between two circuits shall be designed according to the circuit having the more severe requirement.

4.3.6.3 Functional insulation

For parts or circuits that are not significantly affected by external transients, *functional insulation* shall be designed according to the *working voltage* across the insulation.

For parts or circuits that are significantly affected by external transients, *functional insulation* shall be designed according to the impulse voltage of overvoltage category II, except that overvoltage category III shall be used when the *PDS* is connected at the origin of the *installation*.

Where measures are provided which reduce transient overvoltages within the circuit from category III to values of category II, or values of category II to values of category I, *functional insulation* may be designed for the reduced values.

Where the circuit characteristics can be shown by testing (see 5.2.3.1) to reduce impulse voltages, *functional insulation* may be designed for the highest impulse voltage occurring in the circuit during the tests.

4.3.6.4 Clearance distances

4.3.6.4.1 Determination

Table 9 defines the minimum clearance distances required to provide *functional*, *basic*, or *supplementary insulation* (see Annex C for examples of clearance distances).

Clearances for use in altitudes between 2 000 m and 20 000 m shall be calculated with a correction factor according to Table A.2 of IEC 60664-1, which is reproduced as Clearances in air are a function of the atmospheric pressure according to Paschen's Law. Clearance distances provided in Table 9 are valid up to 2000 m above sea level. Clearances above 2000 m must be multiplied by the factor provided in Table D.1.

Table D.1.

To determine clearances for *reinforced insulation* from Table 9:

- for *low-voltage PDS*, the value corresponding to the next higher impulse voltage, or 1,6 times the *temporary overvoltage*, or twice the *working voltage* shall be used;
- for *high-voltage PDS*, the value corresponding to 1,6 times the impulse voltage, *temporary overvoltage* or *working voltage* shall be used.

Clearances for *reinforced insulation* between circuits connected directly to the supply mains and other circuits shall not be reduced when measures to reduce transient overvoltages are provided.

The compliance of clearances shall be verified by visual inspection (see 5.2.2.1) and if necessary by performing the impulse voltage test of 5.2.3.1 and the a.c. or d.c voltage test of 5.2.3.2.

Figure E.1 and Table E.1 provide informative guidance for determination of clearances for frequencies above 30 kHz.

Table 9 – Clearance distances

Column 1	2	3	4	5	6
Impulse voltage (Table 7, Table 8, 4.3.6.3) (V)	Temporary overvoltage (crest value) for determining insulation between surroundings and circuits or Working voltage (recurring peak) for determining functional insulation (V)	Working voltage (recurring peak) for determining insulation between surroundings and circuits (V)	Minimum clearance mm		
			Pollution degree		
			1	2	3
N/A	≤ 110	≤ 71	0,01	0,20 ^a	0,80
N/A	225	141	0,01	0,20	0,80
330	340	212	0,01	0,20	0,80
500	530	330	0,04	0,20	0,80
800	700	440	0,10	0,20	0,80
1 500	960	600	0,50	0,50	0,80
2 500	1 600	1 000	1,5		
4 000	2 600	1 600	3,0		
6 000	3 700	2 300	5,5		
8 000	4 800	3 000	8,0		
12 000	7 400	4 600	14		
20 000	12 000	7 600	25		
40 000	26 000	16 000	60		
60 000	37 000	23 000	90		
75 000	48 000	30 000	120		
95 000	61 000	38 000	160		
125 000	80 000	50 000	220		
145 000	99 000	60 000	270		
NOTE 1 Interpolation is permitted.					
NOTE 2 Examples of clearance distances are given in Annex C.					
NOTE 3 Clearances for <i>temporary overvoltage</i> and <i>working voltage</i> have been derived from Table A.1 of IEC 60664-1. In column 2, the voltage is approximately 80 % of the withstand voltage; in column 3, the voltage is approximately 50 % of the withstand voltage.					
^a 0,1 mm on PWB					

4.3.6.4.2 Electric field homogeneity

The dimensions in Table 9 correspond to the requirements of an inhomogeneous electric field distribution across the clearance, which are the conditions normally experienced in practice. If a homogeneous electric field distribution is known to exist, and the impulse voltage is equal to or greater than 6 000 V for a circuit connected directly to the supply mains or 4 000 V within a circuit, the clearance for *basic* or *supplementary insulation* may be reduced to not less than that required by Table 2 Case B of IEC 60664-1. In this case, however, the impulse voltage test of 5.2.3.1 shall be performed on the clearance.

Clearances for *reinforced insulation* shall not be reduced for homogeneous fields.

4.3.6.4.3 Clearance to conductive enclosures

The clearance between any non-insulated *live part* and the walls of a metal enclosure shall be in accordance with 4.3.6.4.1 following the deformation tests of 5.2.2.5.

If the design clearance is at least 12,7 mm and the clearance required by 4.3.6.4.1 does not exceed 8 mm, the deformation tests may be omitted.

4.3.6.5 Creepage distances

4.3.6.5.1 General

Creepage distances shall be large enough to prevent long-term degradation of the surface of solid insulators, according to Table 10.

For *functional, basic and supplementary insulation*, the values in Table 10 apply directly. For *reinforced insulation*, the distances in Table 10 shall be doubled.

When the creepage distance determined from Table 10 is less than the clearance required by 4.3.6.4.1 or the clearance determined by impulse testing (see 5.2.3.1), then it shall be increased to that clearance.

Creepage distances shall be verified by measurement or inspection (see 5.2.2.1) (see Annex C for examples of creepage distances).

Figure E.2 and Table E.2 provide informative guidance for determination of creepage distances for frequencies above 30 kHz.

4.3.6.5.2 Materials

Insulating materials are classified into four groups corresponding to their comparative tracking index (CTI) when tested according to 6.2 of IEC 60112:

- Insulating material group I CTI ≥ 600 ;
- Insulating material group II $600 > \text{CTI} \geq 400$;
- Insulating material group IIIa $400 > \text{CTI} \geq 175$;
- Insulating material group IIIb $175 > \text{CTI} \geq 100$.

Creepage distances on printed wiring boards (PWBs) exposed to pollution degree 3 environmental conditions shall be determined based on Table 10 Pollution degree 3 under "Other insulators".

If the creepage distance is ribbed, then the creepage distance of insulating material of group I may be applied using insulating material of group II and the creepage distance of insulating material of group II may be applied using insulating material of group III. Except at pollution degree 1 the ribs shall be 2 mm high at least. The spacing of the ribs shall equal or exceed the dimension 'X' in Table C.1.

For inorganic insulating materials, for example glass or ceramic, which do not track, the creepage distance may equal the associated clearance, as determined from Table 9

Table 10 – Creepage distances (mm)

Column 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Working voltage (r.m.s.) (V)	PWBs ^a		Other insulators								
	Pollution degree		Pollution degree								
	1	2	1	2				3			
	b	c	b	Insulating material group				Insulating material group			
				I	II	IIIa	IIIb	I	II	IIIa	IIIb
≤ 2	0,025	0,04	0,056	0,35	0,35	0,35	0,35	0,87	0,87	0,87	
5	0,025	0,04	0,065	0,37	0,37	0,37	0,37	0,92	0,92	0,92	
10	0,025	0,04	0,08	0,40	0,40	0,40	0,40	1,0	1,0	1,0	
25	0,025	0,04	0,125	0,50	0,50	0,50	0,50	1,25	1,25	1,25	
32	0,025	0,04	0,14	0,53	0,53	0,53	0,53	1,3	1,3	1,3	
40	0,025	0,04	0,16	0,56	0,80	1,1	1,1	1,4	1,6	1,8	
50	0,025	0,04	0,18	0,60	0,85	1,20	1,20	1,5	1,7	1,9	
63	0,04	0,063	0,20	0,63	0,90	1,25	1,25	1,6	1,8	2,0	
80	0,063	0,10	0,22	0,67	0,95	1,3	1,3	1,7	1,9	2,1	
100	0,10	0,16	0,25	0,71	1,0	1,4	1,4	1,8	2,0	2,2	
125	0,16	0,25	0,28	0,75	1,05	1,5	1,5	1,9	2,1	2,4	
160	0,25	0,40	0,32	0,80	1,1	1,6	1,6	2,0	2,2	2,5	
200	0,40	0,63	0,42	1,0	1,4	2,0	2,0	2,5	2,8	3,2	
250	0,56	1,0	0,56	1,25	1,8	2,5	2,5	3,2	3,6	4,0	
320	0,75	1,6	0,75	1,6	2,2	3,2	3,2	4,0	4,5	5,0	
400	1,0	2,0	1,0	2,0	2,8	4,0	4,0	5,0	5,6	6,3	
500	1,3	2,5	1,3	2,5	3,6	5,0	5,0	6,3	7,1	8,0	
630	1,8	3,2	1,8	3,2	4,5	6,3	6,3	8,0	9,0	10,0	
800	2,4	4,0	2,4	4,0	5,6	8,0	8,0	10,0	11	12,5	e
1 000	3,2	5,0	3,2	5,0	7,1	10,0	10,0	12,5	14	16	
1 250	4,2	6,3	4,2	6,3	9	12,5	12,5	16	18	20	
1 600	f	f	5,6	8,0	11	16	16	20	22	25	
2 000			7,5	10,0	14	20	20	25	28	32	
2 500			10,0	12,5	18	25	25	32	36	40	
3 200			12,5	16	22	32	32	40	45	50	
4 000			16	20	28	40	40	50	56	63	
5 000			20	25	36	50	50	63	71	80	
6 300			25	32	45	63	63	80	90	100	
8 000			32	40	56	81	81	100	110	125	
10 000			40	50	71	100	100	125	140	160	
12 500			50	63	90	125	125	d	d	d	
16 000			63	80	110	150	150				
20 000			80	100	140	200	200				
25 000			100	125	180	250	250				
32 000			125	160	220	320	320				

NOTE Interpolation is permitted.

^a These columns also apply to components and parts on PWBs, and to other creepage distances with a comparable control of tolerances.

^b All material groups

^c All material groups except IIIb

^d Values for creepage distances are not determined for this range.

^e Insulating materials of group IIIb are not normally recommended for pollution degree 3 above 630V.

^f above 1 250 V use the values from columns 4 to 11, as appropriate.

4.3.6.6 Coating

A coating may be used to provide insulation, to protect a surface against pollution, and to allow a reduction in creepage and clearance distances (see 4.3.6.8.4.2 and 4.3.6.8.6).

4.3.6.7 PWB spacings for *functional insulation*

Spacings for *functional insulation* on a PWB which do not comply with 4.3.6.4 and 4.3.6.5 are permitted when all the following are satisfied:

- the PWB has a flammability rating of V-0 (see IEC 60695-11-10);
- the PWB base material has a minimum CTI of 100;
- the equipment complies with the PWB short-circuit test (see 5.2.2.2).

On PWB creepage and clearance distances for *functional insulation* at working voltages less than 80 V (r.m.s.) or 110 V (recurring peak) are permitted to be evaluated according to pollution degree 1 if the tracks are covered with a suitable coating.

4.3.6.8 Solid insulation

4.3.6.8.1 General

Materials selected for solid insulation shall be able to withstand the stresses occurring. These include mechanical, electrical, thermal and climatic stresses which are to be expected in normal use. Insulation materials shall also be resistant to ageing during the *expected lifetime* of the *PDS*.

Tests shall be performed on components and subassemblies using solid insulation, in order to ensure that the insulation performance has not been compromised by the design or manufacturing process.

Components that comply with a relevant product standard which provides equivalent requirements to those of this standard do not require separate evaluation. Assemblies containing such components shall be tested according to the requirements of this standard.

4.3.6.8.2 Requirements for electrical withstand capability

4.3.6.8.2.1 Basic or supplementary insulation:

- Test with impulse withstand voltage according to 5.2.3.1, column 2 or column 4 of Table 19, or Table 20, column 2 or 4, as appropriate;
- and
- Test with a.c. or d.c. voltage according to 5.2.3.2, column 2 of Table 21, Table 22, or Table 23, as appropriate.

4.3.6.8.2.2 Double and reinforced insulation:

- Test with impulse withstand voltage according to 5.2.3.1 Table 19, column 3 or column 5, or Table 20, column 3 or 5 as appropriate;
- and

- test with a.c. or d.c. voltage according to 5.2.3.2, column 3 of Table 21, Table 22, or Table 23, as appropriate;
- and
- partial discharge test according to 5.2.3.3, if the recurring peak working voltage across the insulation is greater than 750 V and the voltage stress on the insulation is greater than 1 kV/mm.

NOTE The voltage stress is the recurring peak voltage divided by the distance between two parts of different potential.

The partial discharge test shall be performed as a *type test* on all components, subassemblies and PWB. In addition, a *sample test* shall be performed if the insulation consists of a single layer of material.

Double insulation shall be designed so that failure of the *basic insulation* or of the *supplementary insulation* will not result in reduction of the insulation capability of the remaining part of the insulation.

4.3.6.8.2.3 Functional insulation

Functional insulation shall comply with the requirements of 4.3.6.3. Testing is not required, except where the circuit analysis required by 4.2 shows that failure of the insulation could result in a hazard. In these cases, the insulation shall meet the requirements and tests for *basic insulation*.

4.3.6.8.3 Thin sheet or tape material

4.3.6.8.3.1 General

Subclause 4.3.6.8.3 applies to the use of thin sheet or tape materials in assemblies such as wound components and bus-bars.

Insulation consisting of thin (less than 0,75 mm) sheet or tape materials is permitted, provided that it is protected from damage and is not subject to mechanical stress under normal use.

Where more than one layer of insulation is used, there is no requirement for all layers to be of the same material.

NOTE 1 One layer of insulation tape wound with more than 50 % overlap is considered to constitute two layers.

NOTE 2 *Basic*, *supplementary* and *double insulation* may be applied as a pre-assembled system of thin materials.

4.3.6.8.3.2 Material thickness not less than 0,2 mm

- *Basic* or *supplementary insulation* shall consist of at least one layer of material, which will meet the requirements of 4.3.6.8.1 and 4.3.6.8.2.1.
- *Double insulation* shall consist of at least two layers of material, each of which will meet the requirements of 4.3.6.8.1, 4.3.6.8.2.1, and the partial discharge requirements of 4.3.6.8.2.2, and both layers together will meet the impulse and a.c. or d.c. voltage requirements of 4.3.6.8.2.2.
- *Reinforced insulation* shall consist of a single layer of material, which will meet the requirements of 4.3.6.8.1 and 4.3.6.8.2.2.

NOTE The requirements of this subclause indicate that *double insulation* will be at least 0,4 mm thick, while *reinforced insulation* is permitted to be 0,2 mm thick.

4.3.6.8.3.3 Material thickness less than 0,2 mm

- *Basic* or *supplementary insulation* shall consist of at least one layer of material, which will meet the requirements of 4.3.6.8.1 and 4.3.6.8.2.1.
- *Double insulation* shall consist of at least three layers of material. Each layer shall meet the requirements of 4.3.6.8.1 and 4.3.6.8.2.1, and any two layers together shall meet the requirements of 4.3.6.8.2.2.

- *Reinforced insulation* consisting of a single layer of material is not permitted.

4.3.6.8.3.4 Compliance

Compliance is checked by the tests described in 5.2.3.1 to 5.2.3.3.

When a component or sub-assembly makes use of thin sheet insulating materials, it is permitted to perform the tests on the component rather than on the material.

4.3.6.8.4 Printed wiring boards (PWBs)

4.3.6.8.4.1 General

Insulation between conductor layers in double-sided single-layer PWBs, multi-layer PWBs and metal core PWBs, shall meet the requirements of 4.3.6.8.1. *Basic, supplementary, double and reinforced insulation* shall meet the appropriate requirements of 4.3.6.8.2.1 or 4.3.6.8.2.2. *Functional insulation* in PWBs shall meet the requirements of 4.3.6.8.2.3.

For the inner layers of multi-layer PWBs, the insulation between adjacent tracks on the same layer shall be treated as either:

- a creepage distance for pollution degree 1 and a clearance as in air (see Example C.14 of Annex C);
- or
- solid insulation, in which case it shall meet the requirements of 4.3.6.8.1 and 4.3.6.8.2.

4.3.6.8.4.2 Use of coating materials

A coating material used to provide *functional, basic, supplementary and reinforced insulation* shall meet the requirement as specified below.

Type 1 protection (as defined in IEC 60664-3) improves the microenvironment of the parts under protection. The clearance and creepage distance of Table 9 and Table 10 for pollution degree 1 apply under the protection. Between two conductive parts, it is a requirement that one or both conductive parts, together with all the spacing between them, are covered by the protection.

Type 2 protection is considered to be similar to solid insulation. Under the protection, the requirements for solid insulation specified in 4.3.6.8 are applicable and spacings shall not be less than those specified in Table 1 of IEC 60664-3. The requirements for clearance and creepage in Table 9 and Table 10 do not apply. Between two conductive parts, it is a requirement that both conductive parts, together with the spacing between them, are covered by the protection so that no airgap exists between the protective material, the conductive parts and the printed boards.

The coating material used to provide Type 1 and Type 2 protection shall be designed to withstand the stresses anticipated to occur during the *expected lifetime* of the *PDS/CDM/BDM*. A *type test* on representative PWBs shall be conducted according to IEC 60664-3 Clause 5. For the Cold test (5.7.1), a temperature of -25°C shall be used, and for the Rapid change of temperature test (5.7.3): -25°C to +125°C.

4.3.6.8.5 Wound components

Varnish or enamel insulation of wires shall not be used for *basic, supplementary, double or reinforced insulation*.

Wound components shall meet the requirements of 4.3.6.8.1 and 4.3.6.8.2.

The component itself shall pass the requirements given in 4.3.6.8.1 and 4.3.6.8.2. If the component has *reinforced* or *double insulation*, the voltage test of 5.2.3.2 shall be performed as a *routine test*.

4.3.6.8.6 Potting materials

A potting material may be used to provide solid insulation or to act as a coating to protect against pollution. If used as solid insulation, it shall comply with the requirements of 4.3.6.8.1 and 4.3.6.8.2. If used to protect against pollution, the requirements for Type 1 protection in 4.3.6.8.4.2 apply.

4.3.6.9 Insulation requirements above 30 kHz

Where voltages across insulation have fundamental frequencies greater than 30 kHz, further considerations apply. For low-voltage circuits, guidance is provided in IEC 60664-4.

Annex E contains flow-charts for the determination of clearance and creepage distances under these circumstances. For information, Tables 1 and 2 of IEC 60664-4 are also included in Annex E.

4.3.7 Enclosures

4.3.7.1 General

Metal enclosures shall comply with the deflection test of 5.2.2.5.2 or have a thickness as specified in 4.3.7.2 or 4.3.7.3.

Polymeric enclosures or polymeric parts, relied on to complete and maintain the integrity of an electrical enclosure, shall comply with the flammability requirements of 4.4.3 and the impact test in 5.2.2.5.3.

For *integrated PDS* the *CDM/BDM* enclosure shall comply with the above requirements. The motor enclosure shall meet the requirements of the relevant parts of IEC 60034.

Enclosures shall be suitable for use in their intended environments. The manufacturer shall specify the intended environment (see 6.3.3) and the IP rating of the enclosure (see 5.2.2.4 for test).

For *integrated PDS* the combination of motor and *CDM/BDM* shall be tested according to their intended environment. For external fans and drain holes of the motor part the requirements of IEC 60034-5 apply.

4.3.7.2 Cast metal

Die-cast metal, except at threaded holes for conduit, where a minimum of 6,4 mm is required, shall be:

- not less than 2,0 mm thick for an area larger than 155 cm² or having any dimension larger than 150 mm;
- not less than 1,2 mm thick for an area of 155 cm² or less and having no dimension larger than 150 mm.

The area under evaluation may be bounded by reinforcing ribs subdividing a larger area.

Malleable iron or permanent-mould cast aluminium, brass, bronze, or zinc, except at threaded holes for conduit, where a minimum of 6,4 mm is required, shall be:

- at least 2,4 mm thick for an area greater than 155 cm² or having any dimension more than 150 mm;

- at least 1,5 mm thick for an area of 155 cm² or less having no dimension more than 150 mm.

A sand-cast metal enclosure shall be a minimum of 3,0 mm thick except at locations for threaded holes for conduit, where a minimum of 6,4 mm is required.

4.3.7.3 Sheet metal

The thickness of a sheet-metal enclosure at points to which a wiring system is to be connected shall be not less than 0,8 mm thick for uncoated steel, 0,9 mm thick for zinc-coated steel, and 1,2 mm thick for non-ferrous metal.

Enclosure thickness at points other than where a wiring system is to be connected shall be not less than that specified in Table 11 or Table 12.

With reference to Table 11 and Table 12, a supporting frame is a structure of angle or channel or folded section of sheet metal, which is attached to and has the same outside dimensions as the enclosure surface, and which has torsional rigidity to resist the bending moments that are applied by the enclosure surface when it is deflected.

A structure which is as rigid as one built with a frame of angles or channels has equivalent reinforcing. Constructions without supporting frame include:

- a single sheet with single formed flanges – formed edges;
- a single sheet which is corrugated or ribbed;
- an enclosure surface loosely attached to a frame, for example, with spring clips; and
- an enclosure surface having an unsupported edge.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61800-5-1:2007

**Table 11 – Thickness of sheet metal for enclosures:
carbon steel or stainless steel**

Without supporting frame ^a		With supporting frame ^a		Minimum thickness (mm)
Maximum width (mm) ^b	Maximum length (mm) ^c	Maximum width (mm) ^c	Maximum length (mm) ^c	
100	Not limited	160	Not limited	0,6 ^d
120	150	170	210	
150	Not limited	240	Not limited	0,75 ^d
180	220	250	320	
200	Not limited	310	Not limited	0,9
230	290	330	410	
320	Not limited	500	Not limited	1,2
350	460	530	640	
460	Not limited	690	Not limited	1,4
510	640	740	910	
560	Not limited	840	Not limited	1,5
640	790	890	1 090	
640	Not limited	990	Not limited	1,8
740	910	1 040	1 300	
840	Not limited	1 300	Not limited	2,0
970	1 200	1 370	1 680	
1 070	Not limited	1 630	Not limited	2,5
1 200	1 500	1 730	2 130	
1 320	Not limited	2 030	Not limited	2,8
1 520	1 880	2 130	2 620	
1 600	Not limited	2 460	Not limited	3,0
1 850	2 290	2 620	3 230	

^a See 4.3.7.3

^b The width is the smaller dimension of a rectangular piece of sheet metal which is part of an enclosure. Adjacent surfaces of an enclosure are able to have supports in common and be made of a single sheet.

^c "Not limited" applies only when the edge of the surface is flanged at least 12,7 mm or fastened to adjacent surfaces not normally removed in use.

^d Sheet steel for an enclosure intended for outdoor use shall be not less than 0,86 mm thick.

**Table 12 – Thickness of sheet metal for enclosures:
aluminium, copper or brass**

Without supporting frame ^a		With supporting frame ^a		Minimum thickness (mm)
Maximum width, (mm) ^b	Maximum length, (mm) ^c	Maximum width, (mm) ^b	Maximum length, (mm) ^c	
75	Not limited	180	Not limited	0,6 ^d
90	100	220	240	
100	Not limited	250	Not limited	0,75
125	150	270	340	
150	Not limited	360	Not limited	0,9
165	200	380	460	
200	Not limited	480	Not limited	1,2
240	300	530	640	
300	Not limited	710	Not limited	1,5
350	400	760	950	
450	Not limited	1 100	Not limited	2,0
510	640	1 150	1 400	
640	Not limited	1 500	Not limited	2,4
740	1 000	1 600	2 000	
940	Not limited	2 200	Not limited	3,0
1 100	1 350	2 400	2 900	
1 300	Not limited	3 100	Not limited	3,9
1 500	1 900	3 300	4 100	
^a See 4.3.7.3 ^b The width is the smaller dimension of a rectangular piece of sheet metal which is part of an enclosure. Adjacent surfaces of an enclosure are able to have supports in common and be made of a single sheet. ^c “Not limited” applies only when the edge of the surface is flanged at least 12,7 mm or fastened to adjacent surfaces not normally removed in use. ^d Sheet aluminium, copper or brass for an enclosure intended for outdoor use shall be not less than 0,74 mm thick.				

4.3.8 Wiring and connections

4.3.8.1 General

The wiring and connections between parts of the equipment and within each part shall be protected from mechanical damage during installation. The insulation, conductors and routing of all wires of the equipment shall be suitable for the electrical, mechanical, thermal and environmental conditions of use. Conductors which are able to contact each other shall be provided with insulation rated for the *DVC* requirements of the relevant circuits.

The compliance with 4.3.8.2 to 4.3.8.8 shall be checked by visual inspection (see 5.2.1) of the overall construction and datasheets if applicable.

NOTE Electrical reflections in a motor cable fed from a pulse width modulated (PWM) source can cause high voltages to appear on the cable, which should be taken into consideration for *PDS* component selection.

4.3.8.2 Routing

A hole through which insulated wires pass in a sheet metal wall within the enclosure of the equipment shall be provided with a smooth, well-rounded bushing or grommet or shall have smooth, well-rounded surfaces upon which the wires bear to reduce the risk of abrasion of the insulation.

Wires shall be routed away from sharp edges, screw threads, burrs, fins, moving parts, drawers, and similar parts, which abrade the wire insulation. The minimum bend radius specified by the wire manufacturer shall not be violated.

Clamps and guides, either metallic or non-metallic, used for routing stationary internal wiring shall be provided with smooth, well-rounded edges. The clamping action and bearing surface shall be such that abrasion or cold flow of the insulation does not occur. If a metal clamp is used for conductors having thermoplastic insulation less than 0,8 mm thick, non-conducting mechanical protection shall be provided.

4.3.8.3 Colour coding

Insulated conductors, other than those which are integral to ribbon cable or multi-cord signal cable, identified by the colour green with or without one or more yellow stripes shall not be used other than for *protective bonding*.

NOTE The choice of green or green/yellow for the *protective bonding* is covered by national regulations.

4.3.8.4 Splices and connections

All splices and connections shall be mechanically secure and shall provide electrical continuity.

Electrical connections shall be soldered, welded, crimped, or otherwise securely connected. A soldered joint, other than a component on a PWB, shall additionally be mechanically secured.

When stranded internal wiring is connected to a wire-binding screw, the construction shall be such that loose strands of wire do not contact:

- other uninsulated *live parts* not always of the same potential as the wire;
- de-energized metal parts.

When screw terminal connections are used, the resulting connections may require routine maintenance (tightening). Appropriate reference shall be made in the maintenance manual (see 6.5.1).

4.3.8.5 Accessible connections

In addition to measures given in 4.3.4.1 to 4.3.4.3 it shall be ensured that neither insertion error nor polarity reversal of connectors can lead to a voltage on an accessible connection higher than the maximum of *DVC A*. This applies for example to plug-in sub-assemblies or other plug-in devices which can be plugged in without the use of a tool (key) or which are accessible without the use of a tool. This does not apply to equipment intended to be installed in *closed electrical operating areas*.

If relevant, non-interchangeability and protection against polarity reversal of connectors, plugs and socket outlets shall be confirmed by inspection and trial insertion.

4.3.8.6 Interconnections between parts of the *PDS*

In addition to complying with the requirements given in 4.3.8.1 to 4.3.8.5, the means provided for the interconnection between parts of the *PDS* shall comply with the following requirements or those of 4.3.8.7.

Cable assemblies and flexible cords provided for interconnection between sections of equipment or between units of a system shall be suitable for the service or use involved. Cables shall be protected from physical damage as they leave the enclosure and shall be provided with mechanical strain relief.

Misalignment of male and female connectors, insertion of a multipin male connector in a female connector other than the one intended to receive it, and other manipulations of parts which are accessible to the operator shall not result in mechanical damage or a risk of thermal hazards, electric shock, or injury to persons.

When external interconnecting cables terminate in a plug which mates with a receptacle on the external surface of an enclosure, no risk of electric shock shall exist at accessible contacts of either the plug or receptacle when disconnected.

NOTE An interlock circuit in the cable to de-energize the accessible contacts whenever an end of the cable is disconnected meets the intent of these requirements.

4.3.8.7 Supply connections

A *PDS* intended for permanent connection to the power supply shall have provision for connection to the applicable wiring system in accordance with the requirements where it is being installed. The connection points provided shall be of appropriate construction to preclude the possibility of loose strands reducing the spacing between conductors when careful attention is paid to installation.

4.3.8.8 Terminals

4.3.8.8.1 Construction requirements

All parts of terminals which maintain contact and carry current shall be of metal having adequate mechanical strength.

Terminal connections shall be such that the conductors can be connected by means of screws, springs or other equivalent means so as to ensure that the necessary contact pressure is maintained.

Terminals shall be so constructed that the conductors can be clamped between suitable surfaces without any significant damage either to conductors or terminals.

Terminals shall not allow the conductors to be displaced or be displaced themselves in a manner detrimental to the operation of equipment and the insulation shall not be reduced below the rated values.

The requirements of this subclause are met by using terminals complying with IEC 60947-7-1 or IEC 60947-7-2, as appropriate.

4.3.8.8.2 Connecting capacity

Terminals shall be provided which accommodate the conductors specified in the installation and maintenance manuals (see 6.3.6.4) and cables in accordance with the wiring rules applicable at the *installation*. The terminals shall meet the temperature rise test of 5.2.3.8. The terminals shall also be suitable for conductors of the same type at least two sizes smaller, as given in the appropriate column of Table F.1.

Standard values of cross-section of round copper conductors are shown in Annex F, which also gives the approximate relationship between ISO metric and AWG/MCM sizes.

4.3.8.8.3 Connection

Terminals for connection to external conductors shall be readily accessible during installation.

Clamping screws and nuts shall not serve to fix any other component although they may hold the terminals in place or prevent them from turning.

4.3.8.8.4 Wire bending space for wires 10 mm² and greater

For *low-voltage PDS*, the distance between a terminal for connection to the main supply, or between major parts of the *PDS* (for example, motor, transformer, *CDM/BDM*), and an obstruction toward which the wire is directed upon leaving the terminal shall be at least that specified in Table 13.

Table 13 – Wire bending space from terminals to enclosure

Size of wire mm ²	Minimum bending space, terminal to enclosure mm		
	Wires per terminal		
	1	2	3
10 – 16	40	–	–
25	50	–	–
35	65	–	–
50	125	125	180
70	150	150	190
95	180	180	205
120	205	205	230
150	255	255	280
185	305	305	330
240	305	305	380
300	355	405	455
350	355	405	510
400	455	485	560
450	455	485	610

For *high-voltage PDS*, the minimum wire bending space for conductors for interconnection between parts of the *PDS* or to the main supply shall be:

- eight times the overall diameter for non-shielded conductors,
or
- 12 times the overall diameter for shielded or lead-covered conductors.

4.3.9 Output short-circuit requirements

The *PDS* shall not present a thermal hazard, electric shock or energy hazard under short-circuit conditions at any output that is capable of providing power. In some cases, short-circuit protection may be provided by external measures, the characteristics of which shall be specified by the manufacturer.

For co-ordination with upstream protection devices, the manufacturer shall specify a maximum *prospective short-circuit current* rating corresponding to each power output of the *CDM/BDM*. If protection devices with particular characteristics are necessary, these shall also be specified.

NOTE The maximum *prospective short-circuit current* rating refers to the capability of the power source which supplies the *PDS*.

Short-circuit evaluation shall be performed according to 5.2.3.6 on all power outputs.

4.3.10 Residual current-operated protective (RCD) or monitoring (RCM) device compatibility

RCD and RCM are used to provide protection against insulation faults in some domestic and industrial *installations*, additional to that provided by the installed equipment.

An insulation fault or direct contact with certain types of *PDS* circuits can cause current with a d.c. component to flow in the *protective earthing conductor* and thus reduce the ability of an RCD or RCM of type A or AC (see IEC 60755 and IEC 62020) to provide this protection for other equipment in the *installation*.

Annex G gives guidelines to assist with the selection of the RCD or RCM type.

PDS shall satisfy one of the following conditions.

- a) A plug-connected single-phase *PDS* with rated input current less than or equal to 16 A, not using an industrial connector according to IEC 60309, shall be designed so that, under normal and fault conditions, it does not reduce the ability of RCD and RCM of type A to provide protection for other equipment in the *installation*.
- b) For plug-connected *PDS* other than a) with an industrial connector according to IEC 60309, and *PDS* having a fixed connection, if a d.c. current can be present in the *protective earthing conductor*, a caution notice and the symbol ISO 7000-0434 (2004-01) shall be provided in the user manual, and the symbol shall be placed on the *PDS* (see 6.3.6.7 and Annex H).

See 6.3.6.7 for information and marking requirements.

NOTE For design and construction of electrical *installations*, care should be taken with RCD or RCM of Type B. All the RCD or RCM upstream from an RCD or RCM of Type B up to the supply transformer should be of Type B.

4.3.11 Capacitor discharge

Capacitors within a *PDS* shall be discharged to a voltage less than 60 V, or to a residual charge less than 50 μC , within 5 s after the removal of power from the *PDS*. If this requirement is not achievable for functional or other reasons, the information and marking requirements of 6.5.2 apply. See 5.2.3.7 for test.

NOTE This requirement also applies to capacitors used for power factor correction, filtering, etc.

In the case of plugs or similar devices that can be disconnected without the use of a tool, the withdrawal of which results in the exposure of conductors (e.g. pins), the discharge time shall not exceed 1 s. Otherwise such conductors shall be protected against direct contact to at least IPXXB. If neither a discharge time of 1 s nor a protection of at least IPXXB can be achieved, additional disconnecting devices or an appropriate warning device shall be applied.

4.3.12 Access conditions for high-voltage PDS

The high voltage sections (transformer, converter, motor, etc.) shall be protected by an appropriate housing enclosure according to IEC 60204-11 with respect to personnel safety.

a) Operating conditions

Interlocking doors shall prevent any access inside the enclosure of the high voltage converter section when main circuit breaker(s) providing the high voltage to the circuit are on, and if *live parts* have not been earthed (see 0).

b) Access for maintenance – earthing instructions

The earthing operation is performed after the normal discharge time stated by the converter manufacturer. Care shall be taken to ensure that this operation is safe even in case of failure of the discharge circuit. Care shall also be taken that on the input and output side the stray capacitance of cables, motor and/or transformer shall be discharged before possible access to *live parts*. The requirements of 4.3.11 apply.

Earthing devices (earthing switches and/or earthing cables) shall be provided in sufficient quantity to facilitate work being carried out in safety on the *live parts* of the HV equipment of the PDS. The earthing devices shall comply with the relevant requirements of IEC 62271-102 or IEC 61230. The earthing contacts, or an indication that the contacts of the switches are closed, shall be visible by the maintenance personnel before they access the equipment.

NOTE In particular cases, (for example, load-commutated inverters), two earthing devices (one line side, one load side) can be required.

For parts which are not directly earthed by an earthing switch the component manufacturers shall provide safe instructions to perform earthing (see 6.3.6.6).

4.4 Protection against thermal hazards

4.4.1 Minimizing the risk of ignition

The risk of ignition due to high temperature shall be minimized by the appropriate selection and use of components and by suitable construction.

Electrical components shall be used in such a way that their maximum working temperature under normal load conditions is less than that necessary to cause ignition of the surrounding materials with which they are likely to come into contact. The limits in Table 15 shall not be exceeded for the surrounding material.

Where it is not practical to protect components against overheating under fault conditions, all materials in contact with such components shall be of flammability class V-1, according to IEC 60695-11-10, or better.

Compliance with 4.4.2 to 4.4.5 shall be confirmed by inspection of component and material data sheets and, where necessary, by test.

4.4.2 Insulating materials

4.4.2.1 General

A material which is used for the direct support of an uninsulated *live part* shall comply with the following requirements.

NOTE A material is typically considered to be in direct support of an uninsulated *live part* when:

- a) it is in direct physical contact with the uninsulated *live part*, and
- b) it physically supports or maintains the relative position of the uninsulated *live part*.

The insulating material shall be suitable for the maximum temperature it attains as determined by the temperature rise test of 5.2.3.8. Consideration shall be given as to whether or not the insulating material additionally provides mechanical strength and whether or not the part can be subject to impact during use.

4.4.2.2 Material requirements

The insulating material shall have a CTI of 100 or greater.

No further evaluation is required when generic materials are used according to Table 14.

Table 14 – Generic materials for the direct support of uninsulated *live parts*

Generic material	Minimum thickness (mm)	Maximum temperature (° C)
Any cold-moulded composition	No limit	No limit
Ceramic, porcelain	No limit	No limit
Diallyl phthalate	0,7	105
Epoxy	0,7	105
Melamine	0,7	130
Melamine-phenolic	0,7	130
Phenolic	0,7	150
Unfilled nylon	0,7	105
Unfilled polycarbonate	0,7	105
Urea formaldehyde	0,7	100

In other cases, the insulating material shall comply with the glow-wire test described in 5.2.5.2 at a test temperature of 850 °C. The alternative hot wire ignition test of 5.2.5.3 may be used.

Where an insulating material is used in a device that incorporates switching contacts, and is within 12,7 mm of the contacts, it shall comply with the high current arcing ignition test of 5.2.5.1.

The manufacturer may provide data from the insulating material supplier to demonstrate compliance with the above requirements. In this case, no further testing is required.

4.4.3 Flammability of enclosure materials

Materials used for enclosures of *PDS* shall meet the test requirements of 5.2.5.4.

Metals, ceramic materials, and glass which is heat-resistant tempered, wired or laminated, are considered to comply without test.

Materials are considered to comply without test if, in the minimum thickness used, the material is of flammability class 5VA, according to IEC 60695-11-20.

Components which fill an opening in an enclosure, and which are intended to be mounted in this way, need not be evaluated for compliance with the flammability requirements of 5.2.5.4, provided that the components comply with the flammability aspects of the relevant IEC component standard.

NOTE Examples of these components are fuse-holders, switches, pilot lights, connectors and appliance inlets.

Compliance is checked by visual inspection and, where necessary, by test.

The manufacturer may provide data from the insulating material supplier to demonstrate compliance with the above requirements. In this case, no further testing is required.

4.4.4 Temperature limits

4.4.4.1 Internal parts

Equipment and its component parts shall not attain temperatures in excess of those in Table 15 when tested in accordance with the ratings of the equipment.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61800-5-1:2007

Table 15 – Maximum measured temperatures for internal materials and components

Materials and components		Thermometer method (° C)	Resistance method (° C)
1	Rubber- or thermoplastic-insulated conductors ^a	75	
2	User terminals ^b	c	
3	Copper bus bars and connecting straps	d	
4	Insulation systems		
	Class A (105)	105	125
	Class E (120)	120	135
	Class B (130)	125	145
	Class F (155)	135	155
	Class H (180)	155	175
	Class N (220)	195	215
5	Phenolic composition ^a	165	
6	On bare resistor material	415	
7	Capacitor	e	
8	Power switching semiconductors	f	
9	PWBs	g	
10	Liquid cooling medium	h	
^a The limitation on phenolic composition and on rubber and thermoplastic insulation does not apply to compounds which have been investigated and found to meet the requirements for a higher temperature. ^b The temperature on a wiring terminal or lug is measured at the point most at risk of being contacted by the insulation of a conductor installed as in actual service. ^c The maximum terminal temperature shall not exceed 15 °C more than the insulation temperature rating of the conductor or cable specified by the manufacturer (see 6.3.6.4). ^d The maximum permitted temperature is determined by the temperature limit of support materials or insulation of connecting wires or other components. A maximum temperature of 140 °C is recommended. ^e For a capacitor, the maximum temperature specified by the manufacturer shall not be exceeded. ^f The maximum temperature on the case shall be the maximum case temperature for the applied power dissipation specified by the semiconductor manufacturer. ^g The maximum operating temperature of the PWB shall not be exceeded. ^h The maximum temperature of the cooling medium, specified by the manufacturer of the medium or determined from the known characteristics of the medium, shall not be exceeded.			

The resistance method for temperature measurement as specified in Table 15 consists of the calculation of the temperature rise of a winding using the equation:

$$\Delta t = \frac{r_2}{r_1} (k + t_1) - (k + t_2)$$

where:

- Δt is the temperature rise;
- r_2 is the resistance at the end of the test (Ω);
- r_1 is the resistance at the beginning of the test (Ω);.

- t_1 is the ambient temperature at the beginning of the test (° C);
- t_2 is the ambient temperature at the end of the test (° C);
- k is 234,5 for copper, 225,0 for electrical conductor grade (EC) aluminium; values of the constant for other conductors shall be determined.

4.4.4.2 External parts of CDM

The maximum temperature for accessible exterior parts of the CDM shall be in compliance with Table 16. It is permitted that parts have temperatures exceeding these values, but they shall then be marked with a warning statement as given in 6.4.3.4. Under no circumstances shall the temperature of accessible parts exceed 150 °C.

Table 16 – Maximum measured temperatures for external parts of the CDM

Part	Material	
	Metal (° C)	Thermoplastic or glass (° C)
User operated devices (knobs, handles, switches, displays, etc.).	55	65
Enclosure parts accessible to user by casual contact.	70	80
Enclosure parts where they contact building materials upon installation.	90	90

4.4.5 Specific requirements for liquid cooled PDS

NOTE Sealed heat-pipe cooling systems, used to transfer heat from a hot component to a heat sink, are not considered to be liquid cooling systems in this international standard. However, the possible failure of such components should be considered during the circuit analysis of 4.2.

4.4.5.1 Coolant

The specified coolant (see 6.2) shall be suitable for the anticipated ambient temperatures. Coolant temperature in operation shall not exceed the limit specified in Table 15.

4.4.5.2 Design requirements

4.4.5.2.1 Corrosion resistance

All cooling system components shall be suitable for use with the specified coolant. They shall be corrosion resistant and shall not corrode as a result of electrolytic action or prolonged exposure to the coolant and/or air.

4.4.5.2.2 Tubing, joints and seals

Cooling system tubing, joints and seals shall be designed to prevent leakage during excursions of pressure over the life of the equipment. The entire cooling system including tubing shall satisfy the requirements of the Hydrostatic pressure test of 5.2.7.

4.4.5.2.3 Provision for condensation

Where internal condensation occurs during normal operation or maintenance, measures shall be taken to prevent degradation of insulation. In those areas where such condensation is expected, clearance and creepage distances shall be evaluated at least for a pollution degree 3 environment (see Table 6), and provision shall be made to prevent accumulation of water (for example by providing a drain).

4.4.5.2.4 Leakage of coolant

Measures shall be taken to prevent leakage of coolant onto *live parts* as a result of normal operation, servicing, or loosening of hoses or other cooling system parts during the *expected lifetime*. If a pressure relief mechanism is provided, this shall be located so that there shall be no leakage of coolant onto live components when it is activated.

4.4.5.2.5 Loss of coolant

Loss of coolant from the cooling system shall not result in thermal hazards, explosion, or shock hazard. The requirements of the Loss of coolant test of 5.2.4.5.4 shall be satisfied.

4.4.5.2.6 Conductivity of coolant

When the coolant is intentionally in contact with *live parts* (for example non-earthed heatsinks), the conductivity of the coolant shall be continuously monitored and controlled, in order to avoid hazardous current flow through the coolant.

4.4.5.2.7 Insulation requirements for coolant hoses

When the coolant is intentionally in contact with *live parts* (for example non-earthed heatsinks), the coolant hoses form a part of the insulation system. Depending on the location of the hoses, the requirements of 4.3.6 for *functional* or *basic insulation* or *protective separation* shall be applied where relevant.

4.5 Protection against energy hazards

4.5.1 Electrical energy hazards

Failure of any component within the *PDS* shall not release sufficient energy to lead to a hazard, for example, expulsion of material into an area occupied by personnel.

Where appropriate, the possibility should be considered of energy transfer from the *PDS* motor to the *CDM/BDM* when the driven equipment over-runs the *CDM/BDM* control.

NOTE There are no tests in this part of IEC 61800 for this requirement.

4.5.2 Mechanical energy hazards

4.5.2.1 General

Mechanical failure due to critical speed considerations or torsional problems can create a hazard to operating personnel. These considerations are applicable to all *PDS*, although they are increasingly significant with increased equipment size, such as with *high-voltage PDS*. As these subjects are application-dependent, it is not possible to include specific requirements in this standard.

4.5.2.2 Critical torsional speed

Where appropriate, communication should be established between *PDS/CDM/BDM* supplier, driven equipment supplier, installer, and user with respect to any anticipated critical torsional speed considerations.

4.5.2.3 Transient torque analysis

Transient torque analysis is an important design tool for *PDS* to check torsional stresses in the whole mechanical string. For example, the following operating conditions are areas of concern.

- start-up;
- single-phase or three-phase short-circuit at the terminals of an a.c. motor;
- impact of possible commutation failure of an a.c. *CDM*;
- impact of the harmonic components of an a.c. *CDM*;
- field supply loss in a d.c. *CDM*;
- short-circuit at the armature terminals of a d.c. motor.

Where appropriate, communication should be established with the driven equipment supplier and the information required by 6.3.5.4 provided.

4.5.3 Acoustic noise emission

Under consideration. Requirements for acoustic noise emission are often present in local regulations. In the absence of such regulations, it is recommended that the limits of IEC 60034-9 should be applied.

4.6 Protection against environmental stresses

The *PDS/CDM/BDM* shall not present any hazards as a result of specified environmental stresses. As a minimum, the *PDS/CDM/BDM* shall satisfy the environmental endurance tests of 5.2.6. More demanding requirements may be specified by the manufacturer, in which case less demanding tests of this standard do not need to be performed.

5 Test requirements

5.1 General

5.1.1 Test objectives and classification

Testing, as defined in this Clause 5, is required to demonstrate that *PDS* is fully in accordance with the requirements of this part of IEC 61800. Testing may be waived if permitted by the relevant requirements subclause of Clause 4.

The subclauses in this Clause 5 describe the procedures to be adopted for the testing of *PDS*. The tests are classified as:

- *type tests*;
- *routine tests*;
- *sample tests*.

The manufacturer and/or test house shall ensure that the specified maximum and/or minimum environment (or test) values are imposed, taking tolerances and measurement uncertainties fully into account.

Warning ! These tests can result in hazardous situations. Suitable precautions shall be taken to avoid injury.

5.1.2 Selection of test samples

When testing a range or series of similar products, it may not be necessary to test all models in the range. Each test should be performed on a model or models having mechanical and electrical characteristics that adequately represent the entire range for that particular test.

5.1.3 Sequence of tests

In general, there is no requirement for tests to be performed in a set sequence, nor is it required that they are all performed on the same sample of equipment. However, the pass criteria for some of the tests require that they are followed by one or more further tests.

5.1.4 Earthing conditions

The manufacturer shall state the acceptable earthing systems (see 4.3.6.1.4) for the *PDS*. Test requirements shall be determined using the worst-case (most stressful) earthing system allowed by the manufacturer. Earthing systems may include:

- neutral to earth;
- line to earth;
- neutral to earth through high impedance;
- isolated (not earthed).

The unacceptable systems shall be indicated as

- forbidden;
- with modification of values and/or safety levels which shall be quantified through *type test*.

5.1.5 Compliance

Compliance with this part of IEC 61800 shall be verified by carrying out the appropriate tests specified in this Clause 5.

Compliance may only be claimed if all relevant tests have been passed.

Compliance with construction requirements and information to be provided by the manufacturer shall be verified by suitable examination, visual inspection, and/or measurement.

Whenever design or component changes have potential impact upon compliance, new *type testing* shall be performed to confirm compliance. It is desirable that the modified product should be identified, for example by using a suitable date code or serial number as described in 6.2.

5.1.6 Test overview

Table 17 provides an overview of the *type*, *routine* and *sample testing* of electronic components, devices and *PDS/CDM/BDM*.

Table 17 – Test overview

Test	Type	Routine	Sample	Requirement(s)	Specification
Visual inspection	X	X	X		5.2.1
Mechanical tests					5.2.2
Clearance and creepage distances	X			4.3.6.1, 4.3.6.4, 4.3.6.5	5.2.2.1
PWB short-circuit	X			4.3.6.7	5.2.2.2
Non-accessibility	X			4.3.3.3	5.2.2.3
Enclosure integrity	X			4.3.7.1	5.2.2.4
Deformation tests				4.3.6.4.3	5.2.2.5
Deflection	X			4.3.7.1	5.2.2.5.2
Impact	X			4.3.7.1	5.2.2.5.3
Electrical tests				4.3.4.1, 4.3.6.8.2	5.2.3
Impulse voltage	X		X	4.3.3.2, 4.3.4.3, 4.3.6.1, 4.3.6.8.2.1, 4.3.6.8.2.2, 4.3.6.8.3	5.2.3.1
a.c. or d.c. voltage	X	X		4.3.3.2, 4.3.4.3, 4.3.6.1, 4.3.6.8.2.1, 4.3.6.8.2.2, 4.3.6.8.4.2	5.2.3.2
Partial discharge	X		X	4.3.6.1, 4.3.6.8.2.2, 4.3.6.8.3	5.2.3.3
Protective impedance	X	X		4.3.4.3	5.2.3.4
Touch current measurement	X			4.3.5.5.2	5.2.3.5
Short-circuit test	X			4.3.9	5.2.3.6.3
Breakdown of components	X			4.2	5.2.3.6.4
Capacitor discharge	X			4.3.11	5.2.3.7
Temperature rise	X			4.3.8.8.2, 4.4.2.1	5.2.3.8
Protective bonding	X	X		4.3.5.3	5.2.3.9
Abnormal operation tests				4.2	5.2.4
Loss of phase	X			4.2	5.2.4.4
Inoperative blower	X			4.2	5.2.4.5.2
Clogged filter	X			4.2	5.2.4.5.3
Loss of coolant	X			4.4.5.2.5	5.2.4.5.4
Material tests					5.2.5
High current arcing ignition	X			4.4.2.2	5.2.5.1
Glow-wire	X			4.4.2.2	5.2.5.2
Hot wire ignition	X			4.4.2.2	5.2.5.3
Flammability	X			4.4.3	5.2.5.4

Table 17 – Test overview (*Continued*)

Test	Type	Routine	Sample	Requirement(s)	Specification
Environmental tests				4.6	5.2.6
Dry heat	X			4.6	5.2.6.3.1
Damp heat	X			4.6	5.2.6.3.2
Vibration test	X			4.6	5.2.6.4
Hydrostatic pressure	X	X		4.4.5.2.2	5.2.7

5.2 Test specifications

5.2.1 Visual inspections (*type test*, *sample test* and *routine test*)

Visual inspections shall be made:

- as *routine tests*, to check features such as adequacy of labelling, warnings and other safety aspects.
- as acceptance criteria of individual *type tests*, *sample tests* or *routine tests*, to verify that the requirements of this standard have been met;

Routine inspections may be part of the production or assembly process.

Before *type testing*, a check shall be made that the *PDS* delivered for the test is as expected with respect to supply voltage, input and output ranges, etc.

5.2.2 Mechanical tests

5.2.2.1 Clearances and creepage distances (*type test*)

It shall be verified by measurement or visual inspection that the clearance and creepage distances comply with Table 9 and Table 10. See Annex C for measurement examples. Where this verification is impossible to perform, an impulse voltage test (see 5.2.3.1) shall be performed between the considered circuits.

5.2.2.2 PWB short-circuit test (*type test*)

On PWBs, *functional insulation* provided by spacings which are less than those specified in Table 9 and Table 10 (see 4.3.6.7) shall be *type tested* as described below.

A sample of the equipment containing the PWB assembly shall be connected as intended to an electrical supply circuit sized and protected to simulate end-use conditions. In the case of a *PDS/CDM/BDM* supplied without an enclosure, a wire mesh cage which is 1,5 times the individual linear dimensions of the part under study may be used to simulate the intended enclosure.

Surgical cotton shall be placed at all openings, handles, flanges, joints and similar locations on the outside of the enclosure, and the wire mesh cage (if used), in a manner which will not significantly affect the cooling.

The decreased spacings shall be short-circuited one at a time, on representative samples, and the short-circuit shall be maintained until no further damage occurs.

As a result of the PWB short-circuit test, the *PDS/CDM/BDM* shall comply with the following:

- there shall be no emission of flame or molten metal;
- the surgical cotton indicator shall not have ignited;
- the earth connection shall not have opened;
- the door or cover shall not have blown open;
- during and after the test, accessible *SELV* and *PELV circuits* shall not exhibit voltages greater than the time dependent voltages of Figure 7;
- during and after the test, *live parts* at voltages greater than *decisive voltage class A* shall not become accessible.

The *PDS/CDM/BDM* is not required to be operational after testing and it is possible that the enclosure can become deformed. Overcurrent protection integral to the *PDS/CDM/BDM*, or required to be used with the *PDS/CDM/BDM*, is allowed to open.

5.2.2.3 Non-accessibility test (*type test*)

This test is intended to show that *live parts*, protected by means of enclosures and barriers in compliance with 4.3.3.3, are not accessible.

This test shall be performed as a *type test* of the enclosure of a *PDS* as specified in IEC 60529 for the enclosure classification for protection against access to hazardous parts. Exception:

- the test probe for IP3X shall not penetrate the top surface of the enclosure when probed from the vertical direction $\pm 5^\circ$ only.

5.2.2.4 Enclosure integrity test (*type test*)

The claimed IP rating of the enclosure shall be verified. This test shall be performed as a *type test* of the enclosure of a *PDS* as specified in IEC 60529 for the enclosure classification.

5.2.2.5 Deformation tests

5.2.2.5.1 General

The Deflection and Impact tests apply to *PDS*, and to enclosed *CDM/BDM* where they are intended for operation without a further enclosure to which access is restricted to trained maintenance staff. After completion of the Deflection test (see 5.2.2.5.2) for metallic enclosures and the Impact test (see 5.2.2.5.3) for polymeric enclosures, the *PDS/CDM/BDM* shall pass the tests of 5.2.3.1 and 5.2.3.2 and shall be inspected to check that:

- *live parts* have not become accessible (see 4.3.3.3);
- enclosures show no cracks or openings which could cause a hazard;
- clearances are not less than their minimum permitted values and other insulation is undamaged;
- barriers have not been damaged or loosened;

- no moving parts which could cause a hazard are exposed.

The Deflection and Impact tests shall be performed at the worst case point on representative accessible face(s) of the enclosure.

The *PDS/CDM/BDM* is not required to be operational after testing and the enclosure may be deformed to such an extent that its original IP classification is not maintained.

5.2.2.5.2 Deflection test (*type test*)

The enclosure shall be held firmly against a rigid support and subjected to a steady force of 250 N applied for 5 s through the end of a rod having a 12,7 mm by 12,7 mm square, flat steel face.

Damage to the finish, small dents and small chips which do not adversely affect the protection against electric shock or moisture, may be ignored.

5.2.2.5.3 Impact test (*type test*)

A sample consisting of the enclosure or a portion thereof representing the largest non-reinforced area shall be supported in its normal position. A solid smooth steel sphere, approximately 50 mm in diameter and with a mass of 500 g $\pm$ 25 g, shall be permitted to fall freely from rest through a vertical distance of 1 300 mm onto the sample. (Vertical surfaces are exempt from this test.)

In addition, the steel sphere shall be suspended by a cord and swung as a pendulum in order to apply a horizontal impact, dropping through a vertical distance of 1 300 mm. (Horizontal surfaces are exempt from this test.)

If the pendulum test is inconvenient, it is permitted to simulate horizontal impacts on vertical or sloping surfaces by mounting the sample at 90° to its normal position and applying the vertical impact test instead of the pendulum test.

5.2.3 Electrical tests

5.2.3.1 Impulse voltage test (*type test* and *sample test*)

The impulse voltage test is performed with a voltage having a 1,2/50 μ s waveform (see Figure 6 of IEC 60060-1) and is intended to simulate overvoltages of atmospheric origin. It also covers overvoltages due to switching of equipment. See Table 18 for conditions of the impulse voltage test.

Tests on clearances smaller than required by Table 9 and on solid insulation are performed as *type tests* using appropriate voltages from Table 19 or Table 20.

Tests on components and devices for *protective separation* are performed as a *type test* and a *sample test* before they are assembled into the *PDS*, using the impulse withstand voltages listed in column 3 or column 5 of Table 19 or Table 20, as appropriate.

To ensure that limiting devices (see 4.3.6.2.2, 4.3.6.2.3, 4.3.6.3) are able to reduce the overvoltage, the values of column 2 or column 4 in Table 19 or Table 20, as appropriate, are applied to the *PDS* as a *type test*, and reduced values corresponding to the next lower voltage of the same column of that Table are verified.

If it is necessary to test a clearance that has been designed for altitudes between 2 000 m and 20 000 m (using Table A.2 of IEC 60664-1), the appropriate test voltage may be determined from the clearance distance, using Table 9 in reverse.

Table 18 – Impulse voltage test

Subject	Test conditions	
Test reference	Clause 19, 20.1.1 and Figure 6 of IEC 60060-1; 4.1.1.2.1 of IEC 60664-1	
Requirement reference	According to 4.3.3.2, 4.3.4.3 and 4.3.6	
Preconditioning	<i>Live parts</i> belonging to the same circuit shall be connected together. <i>Protective impedances</i> shall be disconnected unless required to be tested. Impulse voltage to be applied: 1) between circuit under test and the surroundings; and 2) between circuits to be tested. Power is not applied to circuits under test.	
Initial measurement	According to specification of <i>PDS</i> , component, or device	
Test equipment	Impulse generator 1,2/50 μs with an effective internal impedance not higher than: 2 Ω for testing clearances and limiting devices; and 500 Ω for testing solid insulation and components.	
Measurement and verification	a) Clearances smaller than required by Table 9 Clearances reduced by overvoltage limiting means or by circuit characteristics Solid <i>basic</i> or <i>supplementary insulation</i>	b) Solid <i>reinforced insulation</i> Clearances, components and devices for <i>protective separation</i>
Test voltage	Three pulses 1,2/50 μs of each polarity in ≥ 1 s interval, peak voltage (± 5 %) according to: column 2 or column 4 of Table 19, column 2 or column 4 of Table 20, as appropriate	column 3 or column 5 of Table 19, column 3 or column 5 of Table 20, as appropriate
When the test is carried out on a clearance at an altitude less than 2 000 m, the test voltage shall be increased according to Table 5 (and 4.1.1.2.1.2) of IEC 60664-1, which is reproduced as Impulse tests performed below 2000 m altitude for the purpose of verifying air clearances must use test voltages which have been corrected for air pressure (altitude). Test voltages which have been corrected for three altitudes are provided in Table D.2. Altitude correction of test voltage is not required for impulse testing of solid insulation. The voltage values of Table D.2 apply for the verification of clearances only.		
Table D.2 in this international standard.		

The impulse voltage test is successfully passed if no puncture, flashover, or sparkover occurs. In the case of components and devices which use solid insulation for *protective separation*, a subsequent partial discharge test (see 5.2.3.3) shall also be passed.

Alternatively for *high-voltage PDS* the impulse test is successfully passed if

a) three consecutive impulses for each polarity have been applied and:

- no disruptive discharge occurs,
or
- one discharge occurs in the self-restoring part of insulation, and then nine additional impulses have been applied with no disruptive discharge occurring;

or

b) 15 consecutive impulses for each polarity have been applied and:

- the number of disruptive discharges on self-restoring insulation does not exceed two for each series,
and
- no disruptive discharge on non-self-restoring insulation occurs.

Table 19 – Impulse test voltage for *low-voltage PDS*

Column 1	2	3	4	5
System voltage (see 4.3.6.2.1)	Impulse withstand voltage for insulation between circuits not connected directly to the supply mains and their surroundings according to overvoltage category II		Impulse withstand voltage for insulation between circuits connected directly to the supply mains and their surroundings according to overvoltage category III	
(V)	<i>Basic or supplementary</i> (V)	<i>Reinforced</i> (V)	<i>Basic or supplementary</i> (V)	<i>Reinforced</i> (V)
≤ 50	500	800	800	1 500
100	800	1 500	1 500	2 500
150	1 500	2 500	2 500	4 000
300	2 500	4 000	4 000	6 000
600	4 000	6 000	6 000	8 000
1 000	6 000	8 000	8 000	12 000
-	Interpolation is permitted		Interpolation is not permitted	
	NOTE Test voltages for overvoltage categories I and III can be derived in a similar way from Table 7.		NOTE Test voltages for overvoltage categories II and IV can be derived in a similar way from Table 7.	

Table 20 – Impulse test voltage for *high-voltage PDS*

Column 1	2	3	4	5
System voltage (see 4.3.6.2.1)	Impulse withstand voltage for insulation between circuits and their surroundings according to overvoltage category III		Impulse withstand voltage for insulation between circuits and their surroundings according to overvoltage category IV	
(V)	<i>Basic or supplementary</i> (V)	<i>Reinforced</i> (V)	<i>Basic or supplementary</i> (V)	<i>Reinforced</i> (V)
>1 000	8 000	12 800	12 000	19 200
3 600	20 000	32 000	40 000	64 000
7 200	40 000	64 000	60 000	96 000
12 000	60 000	96 000	75 000	120 000
17 500	75 000	120 000	95 000	152 000
24 000	95 000	152 000	125 000	200 000
36 000	125 000	200 000	145 000	232 000
Interpolation is permitted				
NOTE Test voltages for overvoltage categories I and II can be derived in a similar way from Table 8.				

5.2.3.2 A.C. or d.c. voltage test (*type test and routine test*)

5.2.3.2.1 Purpose of test

The test is used to verify that the clearances and solid insulation of components and of assembled *PDS/CDM/BDM* has adequate dielectric strength to resist overvoltage conditions.

5.2.3.2.2 Value and type of test voltage

The values of the test voltage are determined from column 2 or 3 of Table 21, Table 22, or Table 23, depending upon whether the circuit under test is connected to low voltage mains, high voltage mains, or not mains connected.

The test voltage from column 2 is used for testing circuits with *basic insulation*.

Between circuits with *protective separation (double or reinforced insulation)*, the test voltage of column 3 shall be applied for *type tests*. For *routine tests* between circuits with *protective separation* the values from column 2 shall be applied to prevent damage to the solid insulation by partial discharge.

The values of column 3 shall apply to *PDS* with protection against direct contact according to 4.3.3. The test is performed between circuits and accessible surfaces of *PDS*, which are non-conductive or conductive but not connected to the *protective earthing conductor*.

The voltage test shall be performed with a sinusoidal voltage at 50 Hz or 60 Hz. If the circuit contains capacitors the test may be performed with a d.c. voltage of a value equal to the peak value of the specified a.c. voltage.

Routine tests are performed to verify that clearances have not been reduced during the manufacturing operations. Protective devices designed to reduce impulse voltages on the circuits under test (see 4.3.6.2.2 and 4.3.6.2.3), and circuits belonging to monitoring or protection circuits, not designed to sustain the test overvoltage for the duration of the test, shall be disconnected in order to avoid damage and to ensure that the test voltage can be applied without a false indication of failure.

Table 21 – A.C. or d.c. test voltage for circuits connected directly to low voltage mains

Column 1 System voltage (see 4.3.6.2.1)	2 Voltage for <i>type testing</i> circuits with <i>basic insulation</i> , and for all <i>routine testing</i>		3 ^b Voltage for <i>type testing</i> circuits with <i>protective separation</i> , and between circuits and accessible surfaces (non- conductive or conductive but not connected to protective earth, <i>protective class II</i> according to 4.3.5.6)	
(V)	a.c. r.m.s. ^a (V)	d.c. (V)	a.c. r.m.s. (V)	d.c. (V)
≤ 50	1 250	1 770	2 500	3 540
100	1 300	1 840	2 600	3 680
150	1 350	1 910	2 700	3 820
300	1 500	2 120	3 000	4 240
600	1 800	2 550	3 600	5 090
1 000	2 200	3 110	4 400	6 220

NOTE Interpolation is permitted.

^a Corresponding to 1 200 V + system voltage.

^b A voltage source with a short-circuit current of at least 0,1 A according to 5.2.2.2 of IEC 61180-1 is used for this test.

Table 22 – A.C. or d.c. test voltage for circuits connected directly to high voltage mains

Column 1 Line to line System voltage (see 4.3.6.2.1) (V)	2 ^b Voltage for <i>type testing</i> circuits with <i>basic insulation</i> , and for all <i>routine testing</i> a.c. r.m.s. ^a (V) d.c. (V)		3 ^b Voltage for <i>type testing</i> circuits with <i>protective separation</i> , and between circuits and accessible surfaces (non- conductive or conductive but not connected to protective earth, <i>protective class II</i> according to 4.3.5.6) a.c. r.m.s. (V) d.c. (V)	
>1 000	3 000	4 250	4 800	6 800
3 600	10 000	14 150	16 000	22 650
7 200	20 000	28 300	32 000	45 300
12 000	28 000	39 600	44 800	63 350
17 500	38 000	53 700	60 800	85 900
24 000	50 000	70 700	80 000	113 100
36 000	70 000	99 000	112 000	158 400

NOTE Interpolation is permitted.

^a Values from Table 2 of IEC 60071-1

^b A voltage source with a short-circuit current of at least 0,1 A according to 5.2.2.2 of IEC 61180-1 is used for this test.

Table 23 – A.C. or d.c. test voltage for circuits not connected directly to the mains

Column 1 <i>Working voltage</i> (recurring peak) (see 4.3.6.2.1) (V)	2 ^{a)} <i>Voltage for type testing circuits with basic insulation, and for all routine testing</i>		3 ^{a)} <i>Voltage for type testing circuits with protective separation, and between circuits and accessible surfaces (non-conductive or conductive but not connected to protective earth, protective class II according to 4.3.5.6)</i>	
	a.c. r.m.s. (V)	d.c. (V)	a.c. r.m.s. (V)	d.c. (V)
≤71	80	110	160	220
141	160	225	320	450
212	240	340	480	680
330	380	530	760	1 100
440	500	700	1 000	1 400
600	680	960	1 400	1 900
1 000	1 100	1 600	2 200	3 200
1 600	1 800	2 600	2 900	4 200
2 300	2 600	3 700	4 200	5 900
3 000	3 400	4 800	5 400	7 700
4 600	5 200	7 400	8 300	11 800
7 600	8 500	12 000	14 000	19 000
16 000	18 000	26 000	29 000	42 000
23 000	26 000	37 000	42 000	59 000
30 000	34 000	48 000	54 000	77 000
38 000	43 000	61 000	69 000	98 000
50 000	57 000	80 000	91 000	130 000
60 000	70 000	99 000	109 000	154 000
NOTE 1 Interpolation is permitted.				
NOTE 2 Test voltages in this table are based upon 80% of the withstand voltage for the corresponding clearance of Table 9 as provided by Table A.1 of IEC 60664-1.				
^{a)} A voltage source with a short-circuit current of at least 0,1 A according to 5.2.2.2 of IEC 61180-1 is used for this test.				

5.2.3.2.3 Performing the voltage test

The test shall be applied as follows, according to Figure 8.

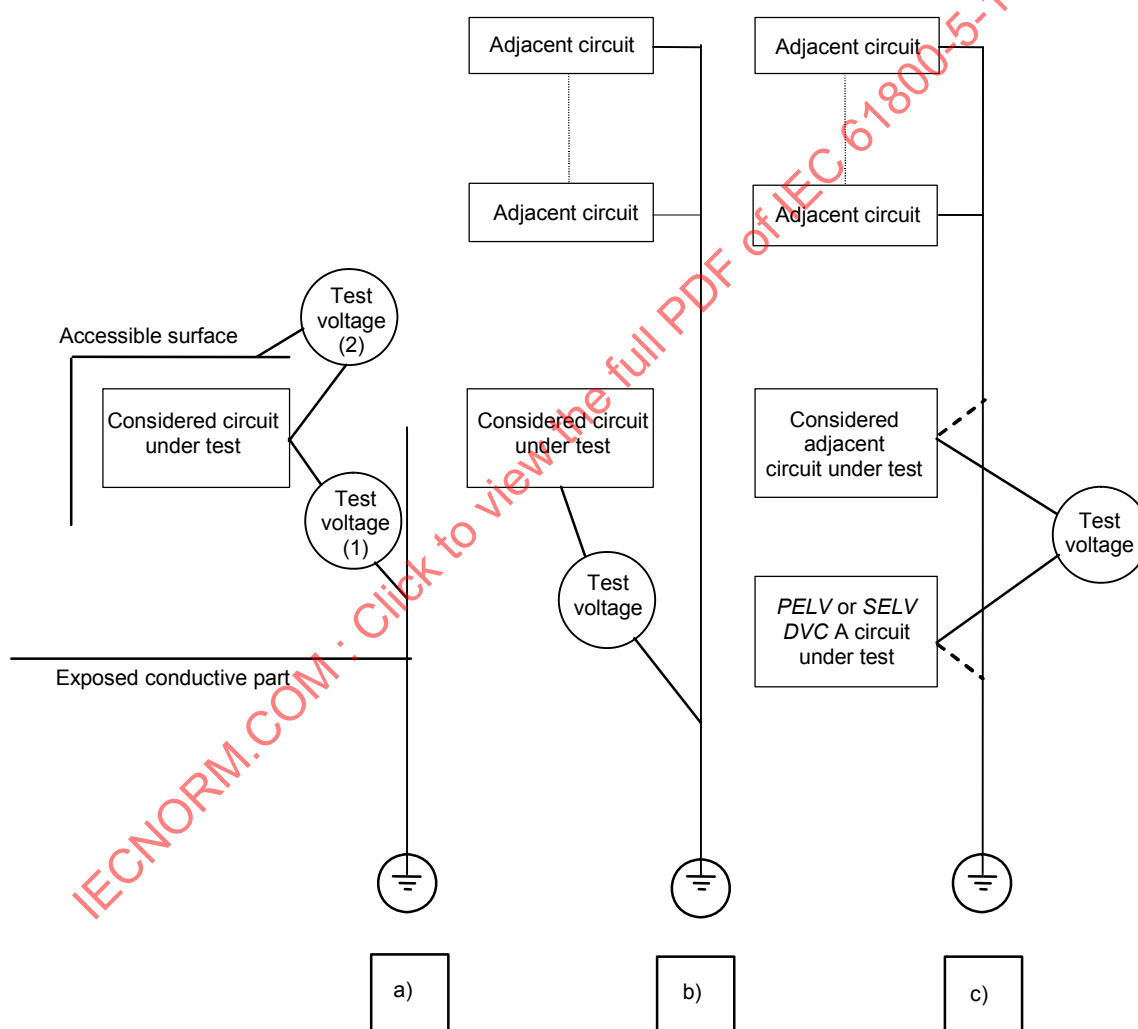
- a) Test (1) between accessible conductive part (connected to earth) and each circuit sequentially (except *DVC A* circuits). Test voltage according to, Table 22, or Table 23, column 2, corresponding to voltage of considered circuit under test.

Test (2) between accessible surface (non conductive or conductive but not connected to earth) and each circuit sequentially (except *DVC A* circuits). Test voltage according to Table 21, Table 22, or Table 23, column 3 (for *type test*) or column 2 (for *routine test*), corresponding to voltage of considered circuit under test.

- b) Test between each considered circuit sequentially and the other *adjacent circuits* connected together. Test voltage according to Table 21, Table 22, or Table 23, column 2, corresponding to voltage of considered circuit under test.

- c) Test between *DVC A* circuit and each *adjacent circuit* sequentially. Test voltage according to Table 21, Table 22, or Table 23, column 3 (for *type test*) or column 2 (for *routine test*), corresponding to the circuit with the higher voltage. Either the *adjacent circuit* or the *DVC A* circuit may be earthed for this test. It is necessary to test *basic insulation* between *PELV* and *SELV circuits*, but it is not necessary to test *functional insulation* between *adjacent PELV* or *adjacent SELV circuits*.

Because *PELV / SELV circuits* and circuits of *DVC C* and *D* are typically separated from chassis (earth) by *basic insulation*, it is typically impossible to test *double* or *reinforced insulation* separating low-voltage circuits from high-voltage circuits in a fully-assembled *PDS* without overstressing the *basic insulation*. Because of this, it may be necessary to disassemble the *PDS*, or it may not be possible to perform *type tests* of protective insulation at voltages according to column 3 of Table 21 to Table 23. In these cases the *type test* of insulation used for *protective separation* shall be performed at voltages according to column 2 of the appropriate table.



IEC 1201/07

Figure 8 – Voltage test procedures

The tests shall be performed with the doors of the enclosure closed.

When the circuit is electrically connected to accessible conductive parts, the voltage test is not relevant, and may be omitted.

To create a continuous circuit for the voltage test on the *PDS*, terminals, open contacts on switches and semiconductor switching devices, etc. shall be bridged where necessary. Before testing, semiconductors and other vulnerable components within a circuit may be disconnected and/or their terminals bridged to avoid damage occurring to them during the test.

Wherever practicable, individual components forming part of the insulation under test, for example interference suppression capacitors, should not be disconnected or bridged before the test. In this case, it is recommended to use the d.c. test voltage according to 5.2.3.2.2.

Where the *PDS* is covered totally or partly by a non-conductive accessible surface, a conductive foil to which the test voltage is applied shall be wrapped around this surface for testing. In this case, the insulation test between a circuit and non-conductive accessible surface may be performed as a *sample test* instead of a *routine test*.

Routine testing of the assembled *PDS* is not required if:

- *routine testing* of all subassemblies related to the insulation system of the *PDS* is performed;
and
- it can be demonstrated that final assembly will not compromise the insulation system;
and
- *type testing* of the fully-assembled *PDS* was performed successfully.

Protective impedances according to 4.3.4.3 shall either be included in the testing or the connection to the protectively separated part of the circuit shall be opened before testing. In the latter case, the connection shall be carefully restored after the voltage test in order to avoid any damage to the insulation. Protective screens according to 4.3.2 shall remain connected to accessible conductive parts during the voltage test.

In the case of *high-voltage PDS*, the voltage shall be applied using a ramp of up to 5 s in duration. Also, for *high-voltage PDS*, if the test is required or requested to be repeated, the voltage shall be de-rated to 80 % of the original test voltage.

5.2.3.2.4 Duration of the a.c. or d.c. voltage test

The duration of the test shall be at least 5 s for the *type test* and 1 s for the *routine test*. The test voltage may be applied with increasing and/or decreasing ramp voltage but the full voltage shall be maintained for 5 s and 1 s respectively for *type* and *routine tests*.

5.2.3.2.5 Verification of the a.c. or d.c. voltage test

The test is successfully passed if no *electrical breakdown* occurs during the test.

5.2.3.3 Partial discharge test (*type test*, *sample test*)

The partial discharge test (see Table 24) shall confirm that the solid insulation (see 4.3.6.8) used in components and subassemblies for *protective separation* of electrical circuits remains partial-discharge-free within the specified voltage range (see Table 24).

This test shall be performed as a *type test* and a *sample test*. It may be deleted for insulating materials which are not degraded by partial discharge, for example ceramics.

The partial discharge inception and extinction voltage are influenced by climatic factors (e.g. temperature and moisture), equipment self heating, and manufacturing tolerance. These influencing variables can be significant under certain conditions and shall therefore be taken into account during *type testing*.

Table 24 – Partial discharge test

Subject	Test conditions
Test reference	4.1.2.4 of IEC 60664-1
Requirement reference	4.3.6.8
Preconditioning	Samples shall be pre-conditioned according to method b) of 4.1.2.1 of IEC 60664-1. <i>Live parts</i> belonging to the same circuit shall be connected together. It is recommended that the partial discharge test is performed after the impulse voltage test (see 5.2.3.1) in order that any damage caused by the impulse voltage test is apparent. It is advisable that the partial discharge test is performed before inserting the components or devices into the equipment because partial discharge testing is not normally possible when the equipment is assembled.
Initial measurement	According to specification of component or device
Test equipment	Calibrated charge measuring device or radio interference meter without weighting filters
Test circuit	Clause C.1 of IEC 60664-1
Test voltage	The peak value of a.c. 50 Hz or 60 Hz
Test method	4.1.2.4 of IEC 60664-1: $F_1 = 1,2$; $F_2, F_3 = 1,25$. Test procedure 4.1.2.4.2 of IEC 60664-1
Calibration of test equipment	Clause C.4 of IEC 60664-1
Measurement	Starting from a voltage below the rated discharge voltage U_{PD}^a, the voltage shall be linearly increased to 1,875 times U_{PD} and held for a maximum time of 5 s The voltage shall then be linearly decreased to 1,5 times U_{PD} ($\pm 5\%$) and held for a maximum time of 15 s, during which the partial discharge is measured The test shall be considered to have been successfully passed if the partial discharge is less than 10 pC during the measurement period
Verification	

IEC 263/03

^a The rated discharge voltage is the sum of the recurring peak voltages in each of the circuits separated by the insulation.

5.2.3.4 Protective impedance (type test and routine test)

A *type test* shall be performed to verify that the current through a *protective impedance* under normal operating conditions does not exceed the values given in 4.3.4.3. The test shall be performed using the circuit of IEC 60990, Figure 4.

NOTE IEC 60990 states that the use of a single network for the measurement of a.c. combined with d.c. has not been investigated, but no suggestion is made for measurement in such cases.

The value of the *protective impedance* shall be verified as a *routine test*.

5.2.3.5 Touch current measurement (type test)

The touch current shall be measured to determine if the measures of protection need not be taken (see 4.3.5.5.2). The test may be used for a *BDM*, but in that case the *BDM* shall be connected to a motor. The motor may be unloaded, but the length and the type of the motor cable indicated by the manufacturer shall be used.

The *PDS* shall be set up in an insulated state without any connection to the earth and shall be operated at rated voltage. Under these conditions, the touch current shall be measured between the means of connection for the *protective earthing conductor* and the *protective earthing conductor* itself with the measuring network of Figure 4 of IEC 60990.

- For a *PDS* to be connected to an earthed neutral system, the neutral of the mains of the test site shall be directly connected to the *protective earthing conductor*.
- For a *PDS* to be connected to an isolated system or impedance system, the neutral shall be connected through a resistance of 1 k Ω to the *protective earthing conductor* which shall be connected to each input phase in turn. The highest value will be taken as the definitive result.
- For a *PDS* to be connected to a corner earthed system, the *protective earthing conductor* shall be connected to each input phase in turn. The highest value will be taken as the definitive result.
- For a *PDS* with a particular earthing system, this system shall operate as intended during the test.
- If a *PDS* is intended to be connected to more than one system network, each of these different system networks (or the worst-case, if that can be determined) shall be used to make the *touch current* measurement.

This is performed as a *type test*.

5.2.3.6 Short-circuit test and Breakdown of components test (type tests)

5.2.3.6.1 General

Protection against risk of thermal, electric shock and energy hazards in case of short circuit or breakdown of a component for a *CDM/BDM* or for a *PDS* in combination with its *installation* shall be evaluated by:

- a) tests defined in 5.2.3.6.3 and 5.2.3.6.4,
or
- b) calculation or simulation based on tests as defined in 5.2.3.6.3 and 5.2.3.6.4 on a representative model of *PDS/CDM/BDM*, where no damage other than opening of fuses or tripping of circuit breakers has occurred to the test sample,

NOTE A representative model means a *PDS/CDM/BDM* with similar power elements (for example, power semiconductors, fuses, circuit breakers, capacitors, short circuit detection and output inductances) and circuit topologies as the *PDS/CDM/BDM* under consideration.

or

- c) for *high-voltage PDS*:
calculation or simulation based on tests of elements that adequately represent those used in the *PDS*. The elements, tests and test conditions shall be selected so that there is sufficient confidence in the test results for them to be transferred (for example, by scaling from lower to higher power) to the *PDS/CDM/BDM* under consideration,

or

- d) for custom *PDS*:
risk and hazard analysis of the intended application, and analysis of the construction characteristics. See 6.3.9 for commissioning information requirements.

NOTE Custom *PDS* rely on the construction characteristics of the installation to provide protection.

5.2.3.6.2 Test configuration

In the case of a *PDS/CDM/BDM* supplied without an enclosure, a wire mesh cage which is 1,5 times the individual linear dimensions of the *PDS/CDM/BDM* part under study shall be used to simulate the intended enclosure.

The *PDS/CDM/BDM*, and the wire mesh cage (if used), shall be earthed according to the requirements of 4.3.5.3.2.

Surgical cotton shall be placed at all openings, handles, flanges, joints, and similar locations on the outside of the enclosure or around the wire mesh cage (if used).

Where the *PDS* under test is specified in its installation manual to require external means of protection against faults, these specific means shall be provided for the test.

The voltages of accessible *SELV* and *PELV* circuits of *DVC A* shall be monitored.

5.2.3.6.2.1 Supply voltage and current

PDS rated for d.c. input shall be tested using a d.c. source. *PDS* rated for a.c. input shall be tested at their rated input frequency.

The open-circuit voltage of the supply shall be 100 % - 105 % of the rated input voltage. The open-circuit voltage may exceed 105 % of the rated input voltage at the request of the manufacturer.

For the Short-circuit test, the supply shall be capable of delivering the specified *prospective short-circuit current* (see 4.3.9) at the connection to the *PDS*, unless circuit analysis demonstrates that a lesser value may be used.

For the Breakdown of components test, the supply shall be capable of delivering a *prospective short-circuit current* of between 1 kA and 5 kA, unless the analysis of 4.2 shows that a different value is required.

5.2.3.6.3 Short-circuit test

5.2.3.6.3.1 Load conditions

The short circuit test shall be performed with the *CDM/BDM* at full load or light load whichever creates the more severe condition.

5.2.3.6.3.2 Location of short-circuit

Power outputs shall be provided with cable of a cross-section appropriate to the rated current available at the output. The length of each loop shall be approximately 2 m, unless the size of the *PDS* requires a greater length, in which case the length shall be as short as practical to perform the test.

All output terminals of each power output tested shall be simultaneously connected together, using an appropriate switching device.

Each sample shall be subjected to only one short-circuit test.

5.2.3.6.4 Breakdown of components test

5.2.3.6.4.1 Load conditions

The breakdown of a component, identified as a result of the circuit analysis of 4.2, shall be tested with the *CDM/BDM* at full load or light load whichever creates the more severe condition.

5.2.3.6.4.2 Application of short-circuit or open-circuit

The short circuit or open circuit shall be applied with cable of a cross-section of minimum 2,5 mm² and an appropriate switching device. The length of the loop shall be as short as practical to perform the test.

Each identified component shall be subjected to only one Breakdown of components test.

5.2.3.6.5 Test sequence

The *PDS* shall be powered, with its output(s) operating.

- For the Short-circuit test, a short-circuit shall be introduced at the output under test.
- For the Breakdown of components test, identified components shall be short-circuited or open-circuited, whichever creates the worse hazard, one at a time.

The *PDS* shall be operated until one or more of the following ultimate results are obtained:

- the operation of electronic short-circuit protection circuitry, or
- the opening of a short-circuit protection device, or
- a steady state temperature is attained after a minimum of 10 min.

5.2.3.6.6 Pass criteria

As a result of the Short-circuit test and the Breakdown of components test, the *PDS/CDM/BDM* shall comply with the following:

- there shall be no emission of flame or molten metal;
- the surgical cotton indicator shall not have ignited;
- the earth connection shall not have opened;

- the door or cover shall not have blown open;
- during and after the test, accessible *SELV* and *PELV circuits* shall not exhibit voltages greater than the time dependent voltages of Figure 7;
- during and after the test, *live parts* at voltages greater than *decisive voltage class A* shall not become accessible.

The *PDS/CDM/BDM* is not required to be operational after testing and it is possible that the enclosure can become deformed.

5.2.3.7 Capacitor discharge (*type test*)

Verification of the capacitor discharge time as required by 4.3.11 may be done by a *type test* and/or by calculation.

5.2.3.8 Temperature rise test (*type test*)

The test is intended to ensure that parts and accessible surfaces of the *PDS* do not exceed the temperature limits specified in 4.4 and that the manufacturer's temperature limits of safety-relevant parts are not exceeded.

Where possible, the *PDS* shall be tested at worst-case conditions of rated power and *CDM/BDM* output current. For *integrated PDS* where the motor speed might affect the thermal condition in the *CDM/BDM* the test shall be conducted at worst case operating speed and load according to the manufacturer's specification.

If this is not possible, it is permitted to simulate the temperature rise, if the validity of the simulation can be demonstrated by tests at lower power levels.

The *PDS* shall be tested with at least 1,2 m of wire attached to each *user terminal*. The wire shall be of the smallest size intended to be connected to the *PDS* as specified by the manufacturer for installation. When there is only provision for the connection of bus bars to the *PDS*, they shall be of the minimum size intended to be connected to the *PDS* as specified by the manufacturer, and they shall be at least 1,2 m in length.

The test shall be maintained until thermal stabilization has been reached. That is, when three successive readings, taken at intervals of 10 percent of the previously elapsed duration of the test and not less than 10 minute intervals, indicate no change in temperature, defined as $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ between any of the three successive readings, with respect to the ambient temperature.

The maximum temperature of electrical insulation (other than that of windings), the failure of which could cause a hazard, is measured on the surface of the insulation at a point close to the heat source.

The maximum temperature attained shall be corrected to the rated ambient temperature of the *PDS* by adding the difference between the ambient temperature during the test and the maximum rated ambient temperature.

No corrected temperature shall exceed the rated temperature of the material or component measured.

During the test, thermal cutout, overload detection functions and devices shall not operate.

5.2.3.9 Protective bonding (type test and routine test)

The impedance of each *protective bonding* circuit between the *PE* terminal and relevant points that are part of each *protective bonding* circuit shall be measured with a current of at least 10 A derived from a supply source, the output of which is not earthed, having a maximum no-load voltage of 24 V.

When the *protective bonding* has been designed using the cross-section rules of 4.3.5.4, the impedance shall not exceed 0,02 Ω .

When the *protective bonding* has been designed using the rules of 4.3.5.3.3, the impedance shall not exceed the value required to meet the time dependent voltage limits of Figure 7.

NOTE 1 The use of a supply with an earthed output can produce misleading results.

NOTE 2 The use of larger currents increases the accuracy of the test result, especially with low resistance values, i.e. larger cross sectional areas and/or shorter conductor length.

NOTE 3 As this is a very low resistance, care should be exercised in positioning the measuring probes.

This test shall be performed as a *routine test* if the continuity of the *protective bonding* is achieved at any point by means of a single fastener.

5.2.4 Abnormal operation tests

5.2.4.1 General

Before all operation tests, the test sample shall be mounted, connected, and operated as described in the temperature rise test.

In the case of a *CDM/BDM* supplied without an enclosure, a wire mesh cage which is 1,5 times the individual linear dimensions of the *CDM/BDM* part under study shall be used to simulate the intended enclosure.

The *PDS*, and the wire mesh cage (if used), shall be earthed according to the requirements of 4.3.5.3.2.

Surgical cotton shall be placed at all openings, handles, flanges, joints and similar locations on the outside of the enclosure, and the wire mesh cage (if used), in a manner which will not significantly affect the cooling.

5.2.4.2 Test duration

The individual tests shall be performed until terminated by a protective device or mechanism (internal or external), a component failure occurs, or the temperature stabilizes.

5.2.4.3 Pass criteria

As a result of the Abnormal operation tests, the *PDS/CDM/BDM* shall comply with the following:

- there shall be no emission of flame or molten metal;
- the surgical cotton indicator shall not have ignited;
- the earth connection shall not have opened;
- the door or cover shall not have blown open;

- during and after the test, accessible *SELV* and *PELV circuits* shall not exhibit voltages greater than the time dependent voltages of Figure 7;
- during and after the test, *live parts* at voltages greater than *decisive voltage class A* shall not become accessible.

The *PDS/CDM/BDM* is not required to be operational after testing and it is possible that the enclosure can become deformed.

5.2.4.4 Loss of phase (*type test*)

A multi-phase *PDS* shall be operated with each line (including neutral, if used) disconnected in turn at the input. The test shall be performed by disconnecting one line with the power conversion equipment operating at its maximum normal load (this particular requirement does not apply to *high-voltage PDS* and may be simulated for *low-voltage PDS* with rated input current greater than 500 A) and shall be repeated by initially energizing the device with one lead disconnected.

5.2.4.5 Cooling failure tests (*type tests*)

5.2.4.5.1 General

For *PDS* having a combination of cooling mechanisms, all relevant tests shall be performed. It is not necessary to perform the tests simultaneously.

5.2.4.5.2 Inoperative blower motor

A *PDS* having forced ventilation shall be operated at rated load with blower motor or motors made inoperative, singly or in combination from a single fault, by physically preventing their rotation.

5.2.4.5.3 Clogged filter

Enclosed *PDS/CDM/BDM* having filtered ventilation openings shall be operated with the openings blocked to represent clogged filters. The test shall be performed initially with the ventilation openings blocked 50 %. The test shall be repeated under a full blocked condition.

5.2.4.5.4 Loss of coolant

A liquid cooled *PDS* shall be operated at rated load. Loss of coolant shall be simulated by blocking the flow or disabling the system coolant pump. The a.c. or d.c. voltage test 5.2.3.2 shall be performed after termination of the Loss of coolant test.

5.2.5 Material tests

5.2.5.1 High current arcing ignition test (*type test*)

Five samples of each insulating material (see 4.4.2) to be tested are used. The samples are 130 mm long minimum by 13 mm wide and of uniform thickness representing the thinnest section of the part. Edges shall be free from burrs, fins, etc.

Each test is made with a pair of test electrodes and a variable inductive impedance load connected in series to a source of 220 V to 240 V a.c., 50 Hz or 60 Hz (see Figure 9).

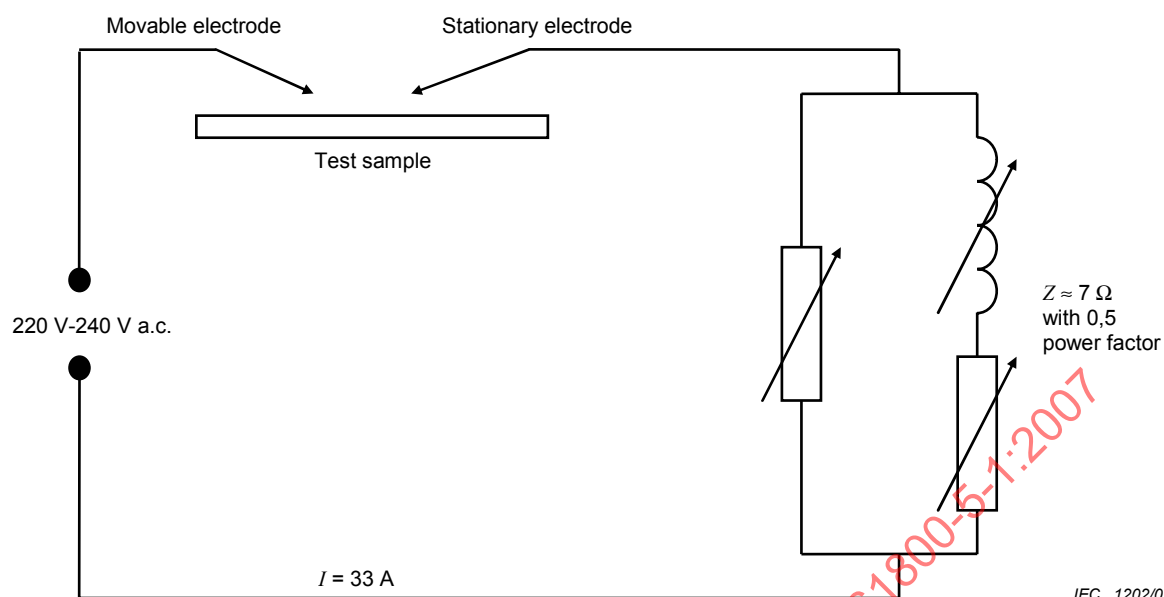


Figure 9 – Circuit for high-current arcing test

It is permitted to use an equivalent circuit.

One electrode is stationary and the second movable. The stationary electrode consists of a 3,5 mm diameter solid copper conductor having a 30° chisel point. The movable electrode is a 3 mm diameter stainless steel rod with a symmetrical conical point having a total angle of 60° and is capable of being moved along its own axis. The radius of curvature for the electrode tips does not exceed 0,1 mm at the start of a given test. The electrodes are located opposing each other, in the same plane, at an angle of 45° to the horizontal. With the electrodes short-circuited, the variable inductive impedance load is adjusted until the current is 33 A at a power factor of 0,5.

The sample under test is supported horizontally in air or on a non-conductive surface so that the electrodes, when touching each other, are in contact with the surface of the sample. The movable electrode is manually or otherwise controlled so that it can be withdrawn from contact with the stationary electrode to break the circuit and lowered to remake the circuit, so as to produce a series of arcs at a rate of approximately 40 arcs/min, with a separation speed of $(250 \pm 25) \text{ mm/s}$.

The test is continued until ignition of the sample occurs, a hole is burned through the sample or a total of 200 arcs have elapsed.

The average number of arcs to ignition of the specimens tested shall be not less than 15 for V-0 class materials and not less than 30 for other materials.

5.2.5.2 Glow-wire test (type test)

The glow-wire test shall be made under the conditions specified in 4.4.2 according to IEC 60695-2-10 and IEC 60695-2-13.

NOTE If the test has to be made at more than one place on the same sample, care should be taken to ensure that any deformation caused by previous tests does not affect the test to be made.

5.2.5.3 Hot wire ignition test (*type test* – alternative to Glow-wire test)

Five samples of each insulating material (see 4.4.2) are tested. The samples are 130 mm long minimum by 13 mm wide and of a uniform thickness representing the thinnest section of the part. Edges shall be free from burrs, fins, etc.

A 250 mm $\pm$ 5 mm length of nichrome wire (nominal composition 80 % nickel, 20 % chromium, iron-free) approximately 0,5 mm diameter and having a cold resistance of approximately 5 Ω /m is used. The wire is connected in a straight length to a variable source of power which is adjusted to generate 0,25 W/mm $\pm$ 0,01 W/mm in the wire for a period of 8 s to 12 s. After cooling, the wire is wrapped around a sample to form five complete turns spaced 6 mm apart.

The wrapped sample is supported in a horizontal position (see Figure 10) and the ends of the wire connected to the variable power source, which is again adjusted to generate (0,25 $\pm$ 0,01) W/mm in the wire.

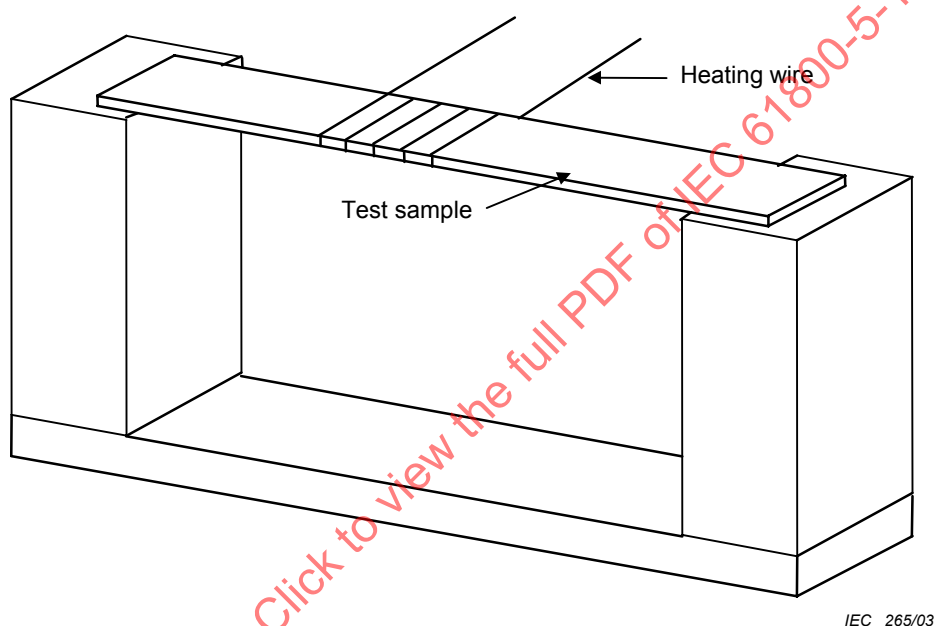


Figure 10 – Test fixture for hot-wire ignition test

The test is continued until the test specimen ignites or until 120 s have passed. When ignition occurs or 120 s have passed, the test is discontinued and the test time recorded. For specimens which melt through the wire without ignition, the test is discontinued when the specimen is no longer in intimate contact with all five turns of the heater wire.

The test is repeated on the remaining samples.

The average ignition time of the specimens tested shall not be less than 15 s.

5.2.5.4 Flammability test (type test)

Three samples of the complete equipment or three test specimens of the enclosure thereof (see 4.4.3) shall be subjected to this test. Consideration shall be given to leaving in place components and other parts that might influence the performance. The test samples shall be conditioned in a full draft circulating air oven for seven days at 10 °C greater than the maximum use temperature but not less than 70 °C in any case. Prior to testing, the samples shall be conditioned for a minimum of 4 h at 23 °C ± 2 °C and 50 % ± 5 % relative humidity. The flame shall be applied to an inside surface of the sample at a location judged to be likely to become ignited because of its proximity to a source of ignition including surfaces provided with ventilation holes. If more than one part is near a source of ignition, each sample shall be tested with the flame applied to a different location.

The three test samples shall result in the acceptable performance described below. If one sample does not comply, the test shall be repeated on a set of three new samples with the flame applied under the same conditions as for the unsuccessful sample. If all the new specimens comply with the requirements described below the material is acceptable.

The laboratory burner, adjustment and calibration shall be identical to that described in IEC 60695-11-10 and IEC 60695-11-20.

When a complete enclosure is used to conduct the flame test, the sample shall be mounted as intended in service, if it does not impair the flame testing, in a draft-free test chamber, enclosure, or laboratory hood. A layer of absorbent 100 % cotton shall be located 305 mm below the point of application of the test flame. The 127 mm flame shall be applied to any portion of the interior of the part judged as likely to be ignited (by its proximity to live or arcing parts, coils, wiring, and the like) at an angle of approximately 20° insofar as possible from the vertical so that the tip of the blue cone touches the specimen. The test flame shall be applied to three different locations on each of the three samples tested. A supply of technical-grade methane gas shall be used with a regulator and meter for uniform gas flow. Natural gas having a heat content of approximately 37 MJ/m³ at 23 °C has been found to provide similar results and may be used.

The flame shall be applied for 5 s and removed for 5 s. The operation shall be repeated until the specimen has been subjected to five applications of the test flame.

The following conditions shall be met as a result of this test:

- the material shall not continue to burn for more than 1 min after the fifth 5 s application of the test flame, with an interval of 5 s between applications of the flame;
- and
- flaming drops or flaming or glowing particles that ignite surgical cotton 305 mm below the test specimen shall not be emitted by the test sample at any time during the test;

5.2.6 Environmental tests (*type tests*)

5.2.6.1 General

Environmental testing is required to establish the safety of the *PDS* at the extremes of the environmental classification to which it will be subjected.

If size or power considerations prevent the performance of these tests on the complete *PDS*, it is permitted to test individual parts that are considered to be relevant to the safety of the *PDS*.

5.2.6.2 Acceptance criteria

The following acceptance criteria shall be satisfied:

- no degradation of any safety-relevant component of the *PDSICDMIBDM*;
- no potentially hazardous behaviour of the *PDSICDMIBDM* during the test;
- no sign of component overheating;
- no *live part* shall become accessible;
- no cracks in the enclosure and no damaged or loose insulators;
- pass routine a.c. or d.c. voltage test 5.2.3.2;
- pass *Protective bonding* test 5.2.3.9;
- no potentially hazardous behaviour when the *PDSICDMIBDM* is operated following the test.

5.2.6.3 Climatic tests

5.2.6.3.1 Dry heat test (steady state)

The Dry heat (steady state) test shall be performed according to Table 25.

Table 25 – Dry heat test (steady state)

Subject	Test conditions
Test reference	Test Bd of IEC 60068-2-2
Requirement reference	4.6
Preconditioning	According to 5.1.2 and 5.2.1
Operating conditions	Operating at rated conditions
Temperature	40 °C or manufacturer's specified maximum temperature, whichever is higher
Accuracy	± 2 °C (see 37.1 of IEC 60068-2-2)
Humidity	According to IEC 60068-2-2, Test Bd
Duration of exposure	(16 ± 1) h
Recovery procedure	
- time	1 h minimum
- climatic conditions	
- Temperature	15 °C to 35 °C
- Relative humidity	25 % to 75 %
- Barometric pressure	86 kPa to 106 kPa
- power supply	Power supply unconnected

5.2.6.3.2 Damp heat test (steady state)

To prove the resistance to humidity, the *CDM* shall be subjected to a Damp heat test (steady state) according to Table 26.

Table 26 – Damp heat test (steady state)

Subject	Test conditions
Test reference	Test Cab of IEC 60068-2-78
Requirement reference	4.6
Preconditioning	According to 5.1.2 and 5.2.1
Operating conditions	Power supply disconnected
Special precautions	Internal voltage sources may remain connected if the heat produced by them in the specimen is negligible
Temperature	$(40 \pm 2) ^\circ\text{C}$ (according to IEC 60068-2-78)
Humidity	$(93 \pm 2) \%$ non-condensing
Duration of exposure	4 Days
Recovery procedure	
- time	1 h minimum
- climatic conditions	
- Temperature	15°C to 35°C
- Relative humidity	25% to 75%
- Barometric pressure	86 kPa to 106 kPa
- power supply	Power supply disconnected
- condensation	All external and internal condensation shall be removed by air flow prior to performing the a.c. or d.c. voltage test or re-connecting the CDM to a power supply

5.2.6.4 Vibration test (type test)

To verify the mechanical strength, a vibration test shall be performed according to Table 27 as a *type test* using a sliding frequency.

For *PDS/CDM/BDM* with a mass more than 100 kg, this test may be performed on sub-assemblies.

NOTE For large equipment, the possibility of using a shock test as an alternative to a vibration test is under consideration.

Table 27 – Vibration test

Subject	Test conditions
Test reference	Test Fc of IEC 60068-2-6
Requirement reference	4.6
Preconditioning	According to 5.1.2 and 5.2.1
Conditions	Power supply unconnected
Motion	Sinusoidal
Vibration amplitude/acceleration	
$10 \text{ Hz} \leq f \leq 57 \text{ Hz}$	0,075 mm amplitude
$57 \text{ Hz} < f \leq 150 \text{ Hz}$	1 g
Vibration duration	10 sweep cycles per axis on each of three mutually perpendicular axes
Detail of mounting	According to manufacturer's specification
Where the manufacturer specifies vibration levels that are greater than those above, the higher levels shall be used for the test. The acceptance criteria shall not be changed.	

5.2.7 Hydrostatic pressure (*type test* and *routine test*)

For *type tests*, the pressure inside the cooling system of a liquid cooled *PDS* (see 4.4.5.2.2) shall be increased at a gradual rate until a pressure relief mechanism (if provided) operates, or until a pressure of twice the operating value or 1,5 times the maximum pressure rating of the system is achieved, whichever is the greater.

For *routine tests*, the pressure shall be increased to its operating value.

The pressure shall be maintained for at least 1 min.

There shall be no thermal, shock, or other hazard resulting from the test. There shall be no significant leakage of coolant or loss of pressure during the test, other than from a pressure relief mechanism during a *type test*.

6 Information and marking requirements

6.1 General

The purpose of this Clause 6 is to define the information necessary for the safe selection, installation and commissioning, operation, and maintenance of *PDS/CDM/BDM*. It is presented as Table 28, showing where the information shall be provided, followed by explanatory subclauses.

The requirements of this Clause 6 apply to all *PDS/CDM/BDM*, unless otherwise stated.

Since any electrical equipment can be installed or operated in such a manner that hazardous conditions can occur, compliance with the design requirements of this part of IEC 61800 does not by itself assure a safe *installation*. However, when equipment complying with those requirements is properly selected and correctly installed and operated, the hazards will be minimized.

All information shall be in an appropriate language, and documents shall have identification references. Drawing symbols shall conform to IEC 60417 or IEC 60617 as appropriate. Symbols not shown in IEC 60417 or IEC 60617 shall be identified where used.

NOTE Further guidance for the preparation of documentation is provided in IEC 61082, and for the preparation of instructions and manuals in IEC 62079.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61800-5-1:2007

Table 28 – Information requirements

Information	Subclause reference	Location ^{a, b, c}					Technical subclause reference
		1	2	3	4	5	
For selection	6.2						
Manufacturer's name and catalogue number	6.2	X	X	X	X	X	
Voltage rating	6.2	X		X	X	X	
Current rating	6.2	X		X		X	
Power rating	6.2	X		X		X	
Short-circuit ratings	6.2			X			4.3.9
IP rating	6.2	X		X		X	4.3.3.3, 4.3.7.1
Reference to standards	6.2			X			
Date code or serial number	6.2	X					
Reference to instructions	6.2			X	X	X	
For installation and commissioning	6.3						
Dimensions (SI units)	6.3.2			X		X	
Mass (SI units)	6.3.2		X	X		X	
Mounting details (SI units)	6.3.2			X		X	
Operating and storage environments	6.3.3			X		X	
Enclosure details	6.3.3			X		X	4.3.3.3, 4.3.7.1, 4.4.3
Handling requirements	6.3.4		X	X		X	
Motor requirements	6.3.5			X	X	X	
Interconnection and wiring diagrams	6.3.6.2			X		X	
Cable requirements	6.3.6.3			X		X	4.3.8
Terminal details	6.3.6.4	X		X		X	4.3.8.8.2
Protection requirements	6.3.6.5			X		X	4.3
Earthing	6.3.6.6	X		X		X	4.3.5.3, 4.3.5.3.2, 4.3.12
Protective earthing conductor current	6.3.6.7	X		X		X	4.3.5.5.2, 4.3.10
Special requirements	6.3.6.8			X		X	
Supply overload protection	6.3.7	X		X		X	
Motor overload protection	6.3.8			X		X	
Commissioning information	6.3.9			X			
For use	6.4						
General	6.4.1			X		X	
Adjustment	6.4.2			X	X	X	
Labels, signs, and signals	6.4.3	X		X	X	X	
For maintenance	6.5						
Maintenance procedures	6.5.1					X	4.3.3.3
Maintenance schedules	6.5.1				X	X	
Subassembly and component locations	6.5.1					X	
Repair and replacement procedures	6.5.1					X	
Adjustment procedures	6.5.1			X	X	X	
Special tools list	6.5.1				X	X	
Capacitor discharge	6.5.2	X		X		X	4.3.11
Auto restart/bypass	6.5.3			X	X	X	
PT/CT connection	6.5.4	X		X		X	
Other hazards	6.5.5	X				X	

^a Location: 1. On product (see 6.4.3); 2. On packaging; 3. In installation manual; 4. In user's manual; 5. In maintenance manual.

^b The installation, user's and maintenance manuals may be combined as appropriate and, if acceptable to the customer, may be supplied in electronic format. When more than one of any product is supplied to a single customer, it is not necessary to supply a manual with each unit, if acceptable to the customer.

^c For *integrated PDS* the information required for location 1 may be combined with the motor nameplate information required by IEC 60034-1.

6.2 Information for selection

Each part of a *PDS* that is supplied as a separate product shall be provided with information relating to its function, electrical characteristics, and intended environment, so that its fitness for purpose and compatibility with other parts of the *PDS* can be determined. For *CDM/BDM*, this information includes, but is not limited to:

- the name or trademark of the manufacturer, supplier or importer;
- catalogue number or equivalent;
- input and output voltage range, current, and power rating information, including:
 - number of phases;
 - frequency range;
- *protective class*;
- the type of electrical supply system (e.g. TN, IT, etc.) to which the *PDS/CDM/BDM* may be connected;
- *prospective short-circuit current* rating(s) and protective device characteristics
- field supply requirements (if any);
- coolant type and design pressure for liquid cooled product;
- IP rating;
- operating and storage environment;
- reference(s) to relevant international standard(s) for manufacture, test, or use;
- date code, or serial number from which the date of manufacture can be determined;
- reference to instructions for installation, use and maintenance.

The information shall be limited to that which is essential for correct selection to be made, and should relate to specific equipment. If information covers a number of product variants, it shall be readily possible to distinguish between them.

6.3 Information for installation and commissioning

6.3.1 General

Safe and reliable installation is the responsibility of the installer, machine builder, and/or user. The manufacturer of any part of the *PDS* shall provide information to support this task. This information shall be unambiguous, and may be in diagrammatic form.

6.3.2 Mechanical considerations

The following drawings shall be prepared by the manufacturer:

- dimensional drawing, including mass information;
- mounting drawing.

Dimensions, mass, etc., shall be in SI units.

6.3.3 Environment

The following environmental conditions shall be specified, for operation, transportation and storage:

- climatic (temperature, humidity, altitude, pollution, ultra-violet light, etc.);
- mechanical;
- electrical.

NOTE Environmental categories as specified in IEC 60721 may be used where appropriate.

6.3.4 Handling and mounting

In order to prevent injury or damage, the installation documents shall include warnings of any hazards which can be experienced during installation. Where necessary, instructions shall be provided for:

- packing and unpacking;
- moving;
- lifting;
- strength and rigidity of mounting surface;
- fastening;
- provision of adequate access for operation, adjustment and maintenance.

When *PDS* surfaces at temperatures exceeding 90 °C are close to mounting surfaces, the installation manual shall contain a warning to consider the combustibility of the mounting surface.

6.3.5 Motor and driven equipment

6.3.5.1 Motor selection

Where necessary for *CDM/BDM*, information on suitable motor specifications (for example, based on IEC 60034-1) shall be provided. The possible influence on motor insulation of reflections of the PWM output waveform shall be taken into consideration.

6.3.5.2 Motor integrated sensors

Insulation requirements shall be identified (see 4.3.5 and 4.3.6).

6.3.5.3 Critical torsional speeds

When required, the *PDS* supplier shall provide all relevant motor information to enable critical torsional speeds to be identified (see 4.5.2.2).

6.3.5.4 Transient torque analysis

When required, the *PDS* supplier shall provide all relevant electrical and mechanical information to enable transient torque analysis to be performed (see 4.5.2.3).

6.3.6 Connections

6.3.6.1 General

Information shall be provided to enable the installer to make safe electrical connection to the *PDS*. This shall include information for protection against hazards (for example, electric shock or availability of energy) that may be encountered during installation, operation or maintenance.

6.3.6.2 Interconnection and wiring diagrams

The installation and maintenance manuals shall include details of all necessary connections, together with a suggested interconnection diagram.

6.3.6.3 Conductor (cable) selection

The Installation manual shall define the voltage and current levels for all connections to the *PDS/CDM/BDM*, together with cable insulation requirements. These shall be worst-case values, taking into account overcurrent and overload conditions and the possible effects of non-sinusoidal currents.

6.3.6.4 Terminal capacity and identification

The installation and maintenance manuals shall indicate the range of acceptable conductor sizes and types (solid or stranded) for all terminals, and also the maximum number of conductors which can simultaneously be connected. For *user terminals*, the manuals shall specify the requirements for tightening torque values and also the insulation temperature rating requirements for the conductor or cable.

The identification of all *user terminals* shall be marked on the *PDS/CDM/BDM*, either directly or by a label attached close to the terminals.

6.3.6.5 Protection requirements

The installation, users and maintenance manuals shall identify any accessible parts at voltages greater than *ELV*, and shall describe the insulation and separation provisions required for protection. Accessible *ELV* parts of a *PDS/CDM/BDM* which are of *protective class 0* shall be clearly identified, and instructions provided in the installation manual to increase the protection against indirect contact.

The manuals shall also indicate the precautions to be taken to ensure that the safety of *ELV* connections is maintained during installation.

The manuals shall provide instructions for the use of *PELV circuits* within a *zone of equipotential bonding*.

The installation, users, and maintenance manuals shall identify all external terminals relating to circuits protected by one of the methods of 4.3.4.2 to 4.3.4.4.

6.3.6.6 Earthing

The installation manual shall specify requirements for safe earthing of the *PDS/CDM/BDM*.

The installation and maintenance manuals for *high-voltage PDS* shall provide instructions for the use of an earthing switch to ensure safe access during maintenance.

Terminals for connection of the *protective earthing conductor* shall be clearly and indelibly marked with the symbol IEC 60417-5019 (2006-08) (see Annex H), or with the letters PE, or by the colour coding green or green-yellow. The indication shall not be placed on or fixed by screws, washers or other parts which might be removed when conductors are being connected.

Equipment of *protective class II* shall be marked with symbol IEC 60417-5172 (2003-02) (see Annex H). Where such equipment has provision for the connection of an earthing conductor for functional reasons (see 4.3.5.6) it shall be marked with symbol IEC 60417-5018 (2006-10) (see Annex H).

6.3.6.7 Protective earthing conductor current

Where the *touch current* in the *protective earthing conductor* (see 4.3.5.5.2) exceeds 3,5 mA a.c. or 10 mA d.c., this shall be stated in the installation and maintenance manuals. In addition, a caution symbol ISO 7000-0434 (2004-01) (see Annex H) shall be placed on the product, and a notice shall be provided in the installation manual to instruct the user that the minimum size of the *protective earthing conductor* shall comply with the local safety regulations for high *protective earthing conductor* current equipment.

The installation and maintenance manuals shall indicate compatibility with RCDs (see 4.3.10).

When 4.3.10 b) applies, a caution notice and the symbol ISO 7000-0434 (2004-01) (see Annex H) shall be provided in the user manual, and the symbol shall be placed on the product. The caution notice shall be: *"This product can cause a d.c. current in the protective earthing conductor. Where a residual current-operated protective (RCD) or monitoring (RCM) device is used for protection in case of direct or indirect contact, only an RCD or RCM of Type B is allowed on the supply side of this product.."* (See 6.4.3 for general requirements for labels, signs and signals.)

6.3.6.8 Special requirements

Any particular cable and connection requirements shall be identified in the installation and maintenance manuals.

6.3.7 Overcurrent or short-circuit protection

Where external devices are necessary to protect against overcurrent or short-circuit, the installation manual shall specify the required characteristics (see also 5.2.2.2, 5.2.3.6.2, 5.2.4.2).

6.3.8 Motor overload protection

The installation and maintenance manuals of *CDM/BDM* incorporating internal overload protection for the motor shall indicate the overload protection provided in percent of full-load current and duration. If the protection is adjustable, the manuals shall include instructions for adjustment.

The manuals for *CDM/BDM* not incorporating internal overload protection for the motor and intended to be used with external or remote overload protection shall indicate that such protection shall be provided.

Where *CDM/BDM* have inputs that can be used with motors which have thermal sensors, the manuals shall contain instructions for the proper connection to these inputs.

6.3.9 Commissioning

If *commissioning tests* are necessary to ensure the electrical and thermal safety of a *PDS*, information to support these tests shall be provided for each part of the *PDS*. This information can depend on the specific *installation*, and close cooperation between manufacturer, installer, and user can be required.

Commissioning information shall include references to hazards that might be encountered during commissioning, for example those mentioned in 6.4 and 6.5.

6.4 Information for use

6.4.1 General

The user's manual shall include all information regarding the safe operation of the *PDS/CDM/BDM*. In particular, it shall identify any hazardous materials and risks of electrical shock, overheating, explosion, excessive acoustic noise, etc.

The manual should also indicate any hazards which can result from reasonably foreseeable misuse of the *PDS*.

6.4.2 Adjustment

The user's manual shall give details of all safety-relevant adjustments intended for the user. The identification or function of each control or indicating device and fuse shall be marked adjacent to the item. Where it is not possible to do this on the product, the information shall be provided pictorially in the manual.

Maintenance adjustments may also be described in this manual, but it shall be made clear that they should only be made by qualified personnel.

Clear warnings shall be provided where excessive adjustment could lead to a hazardous state of the *PDS/CDM/BDM*.

Any special equipment necessary for making adjustments shall be specified and described.

6.4.3 Labels, signs and signals

6.4.3.1 General

Labelling shall be in accordance with good ergonomic principles so that notices, controls, indications, test facilities, fuses, etc., are sensibly placed and logically grouped to facilitate correct and unambiguous identification.

All safety related equipment labels shall be located so as to be visible after installation or readily visible by opening a door or removing a cover.

Where a hazard is present after the removal of a cover, a warning label shall be placed on the equipment. The label shall be visible before the cover is removed.

Labels shall:

- wherever possible, use international symbols as given by ISO 3864, ISO 7000 or IEC 60417;
- if no international symbol is available, be worded in an appropriate language or in a language associated with a particular technical field;
- be conspicuous, legible and durable;
- be concise and unambiguous;
- state the hazards involved and give ways in which risks can be reduced.

When instructing the person(s) concerned as to

- **what to avoid:** the wording should include “no”, “do not”, or “prohibited”;
- **what to do:** the wording should include “shall”, or “must”;
- **the nature of the hazard:** the wording should include “caution”, “warning”, or “danger”, as appropriate;
- **the nature of safe conditions:** the wording should include the noun appropriate to the safety device.

Safety signs shall comply with ISO 3864.

The signal words indicated hereinafter shall be used and the following hierarchy respected:

- **DANGER** to call attention to a high risk, for example: “High voltage”
- **WARNING** to call attention to a medium risk, for example: “This surface can be hot.”
- **CAUTION** to call attention to a low risk, for example; “Some of the tests specified in this standard involve the use of processes imposing risks on persons concerned.”

Danger, warning and caution markings on the *PDS* shall be prefixed with the word “DANGER”, “WARNING”, or “CAUTION” as appropriate in letters not less than 3,2 mm high. The remaining letters of such markings shall be not less than 1,6 mm high.

6.4.3.2 Isolators

Where an isolating device is not intended to interrupt load current, a warning shall state:

DO NOT OPEN UNDER LOAD.

The following requirements apply to any supply isolating device which does not disconnect all sources of power to the *PDS*.

- If the isolating device is mounted in an equipment enclosure with the operating handle externally operable, a warning label shall be provided adjacent to the operating handle stating that it does not disconnect all power to the *PDS*.
- Where a control circuit disconnecter can be confused with power circuit disconnectors due to size or location, a warning label shall be provided adjacent to the operating handle of the control circuit disconnecter stating that it does not disconnect all power to the *PDS*.

6.4.3.3 Visual and audible signals

Visual signals such as flashing lights, and audible signals such as sirens, may be used to warn of an impending hazardous event such as the driven equipment start-up and shall be identified.

It is essential that these signals:

- are unambiguous;
- can be clearly perceived and differentiated from all other signals used;
- can be clearly recognized by the user;
- are emitted before the occurrence of the hazardous event.

It is recommended that higher frequency flashing lights be used for higher priority information.

NOTE IEC 60073 provides guidance on recommended flashing rates and on/off ratios.

6.4.3.4 Hot surfaces

Surfaces which can exceed the temperature limits of Table 16 shall be marked with the warning symbol IEC 60417-5041 (2002-10) (see Annex H). The user's manual shall also contain this information.

6.4.3.5 Equipment marking

The identification of each control or indicating device and fuse shall be marked adjacent to the item. Replaceable fuses shall be marked with their rating and time characteristics. Where it is not possible to do this on the product, the information shall be provided pictorially in the manual.

Appropriate identification shall be marked on or adjacent to each movable connector.

Test points shall be individually marked with the circuit diagram reference.

The polarity of any polarized devices shall be marked adjacent to the device.

The diagram reference and if possible the function shall be marked adjacent to each pre-set control in a position where it is clearly visible while the adjustment is being made.

6.5 Information for maintenance

6.5.1 General

Safety information shall be provided in the maintenance manual including, as appropriate, the following:

- preventive maintenance procedures and schedules;
- safety precautions during maintenance (for example, the use of earthing switches for *high-voltage PDS*);
- location of *live parts* that can be accessible during maintenance (for example, when covers are removed);
- adjustment procedures;

- subassembly and component repair and replacement procedures;
- any other relevant information.

NOTE 1 These may best be presented as diagrams.

NOTE 2 A list of special tools should be provided, when appropriate.

6.5.2 Capacitor discharge

When the requirements of the first sentence of 4.3.11 are not met, the warning symbol IEC 6041-5036 (2002-10) 7 (see Annex H) and an indication of the discharge time (for example, 45 s, 5 min) shall be placed in a clearly visible position on the enclosure, the capacitor protective barrier, or at a point close to the capacitor(s) concerned (depending on the construction). The symbol shall be explained and the time required for the capacitors to discharge after the removal of power from the *PDS* shall be stated in the installation and maintenance manuals.

6.5.3 Auto restart/bypass connection

If a *CDM/BDM* can be configured to provide automatic restart or bypass connection, the installation, user and maintenance manuals shall contain appropriate warning statements.

A *PDS* which is set to provide automatic restart or bypass connection after the removal of power shall be clearly identified at the *installation*.

6.5.4 PT/CT connection

A *PDS* which has monitoring or control functions using a potential transformer (PT) supplied from high voltage, or a current transformer (CT) supplied from a high current connection, shall be clearly marked to show the possible hazards of voltage transients upon disconnection of the secondary circuit. The hazards shall also be described in the installation and maintenance manuals.

6.5.5 Other hazards

The manufacturer shall identify any components and materials of a *PDS* which require special procedures to prevent hazards.

Annex A (informative)

Examples of protection in case of direct contact

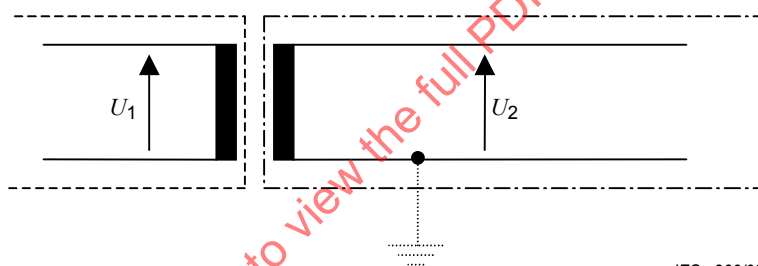
A.1 General

Figures A.1 to A.3 show examples of the methods used for protection in case of direct contact (see 4.3.4).

- Protection against direct contact
- - - - - *Protective separation* from circuits requiring protection against direct contact

A.2 Protection by means of DVC A

(See 4.3.4.2.)



IEC 266/03

Key

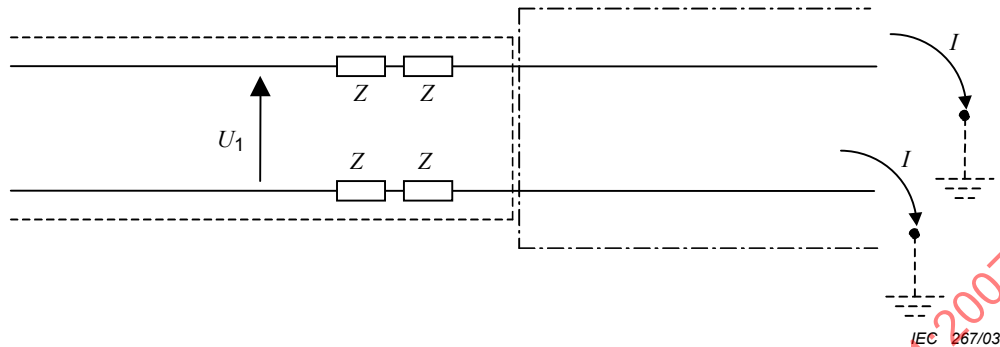
U_1 : hazardous voltage, earthed or unearthed.

U_2 : ≤ 30 V a.c.

**Figure A.1 – Protection by DVC A,
with *protective separation***

A.3 Protection by means of *protective impedance*

(See 4.3.4.3.)



Key

U_1 : hazardous voltage, earthed or unearthed.

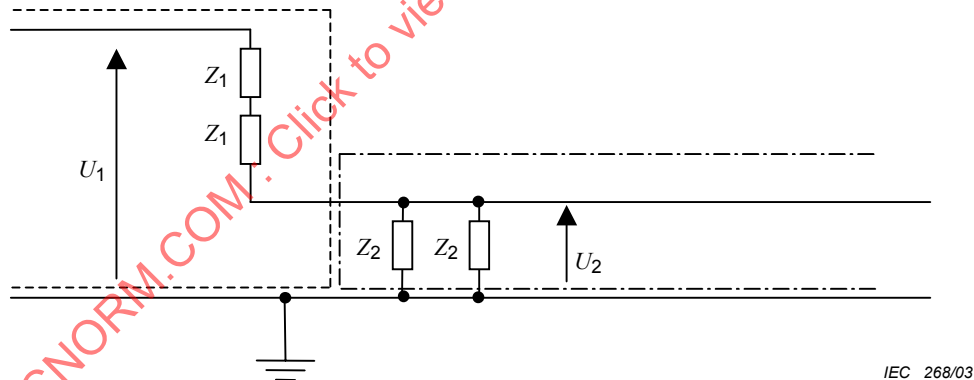
$I \leq 3,5 \text{ mA a.c.}, 10 \text{ mA d.c.}$

NOTE To provide protection in single-fault conditions, $I = U_1/Z$

Figure A.2 – Protection by means of *protective impedance*

A.4 Protection by using limited voltages

(See 4.3.4.4.)



Key

U_1 : hazardous voltage, earthed.

$U_2: \leq 30 \text{ V a.c.}, 60 \text{ V d.c.}$

NOTE To provide protection in single-fault conditions, $U_2 = U_1 Z_2 / (2Z_1 + Z_2)$ or $U_2 = U_1 Z_2 / 2(Z_1 + Z_2/2)$.

Figure A.3 – Protection by using limited voltages

Annex B (informative)

Examples of overvoltage category reduction

B.1 General

The following Figures B.1 to B.13 are intended as illustrations of the requirements in Table 4, 4.3.6.2 and 4.3.6.3. They are not intended as indications of good design practice.

- Protection against direct contact
- — — — — Conductive accessible parts
- . - . - . - . Protective separation
- SPD Surge protection device (example of measure to reduce transient overvoltages)
- OVC Overvoltage category

B.2 Insulation to the surroundings (see 4.3.6.2)

B.2.1 Circuits connected directly to the supply mains (see 4.3.6.2.2)

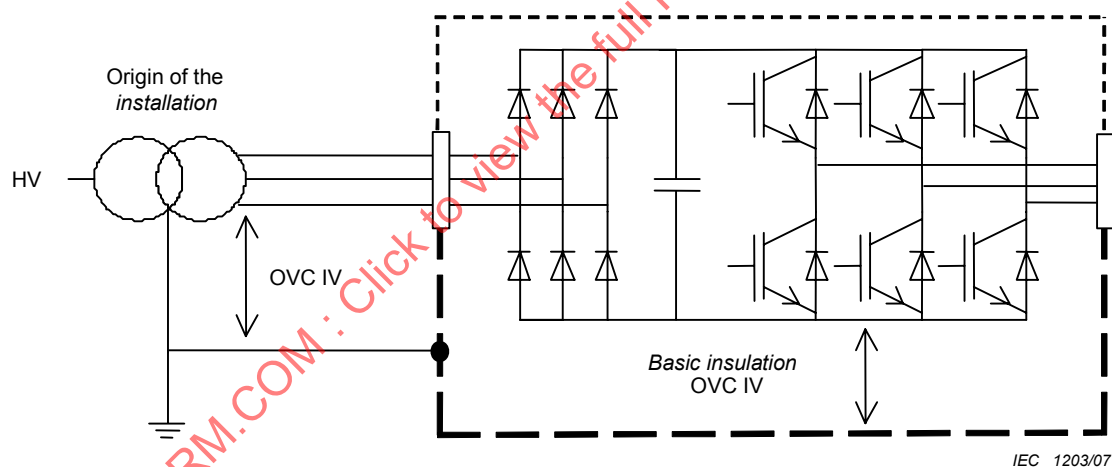


Figure B.1 – *Basic insulation* evaluation for circuits connected directly to the origin of the *installation* supply mains

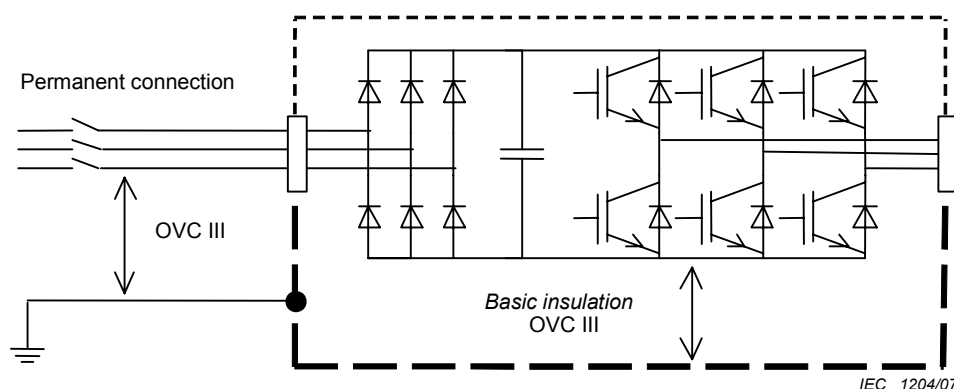


Figure B.2 – *Basic insulation* evaluation for circuits connected directly to the supply mains

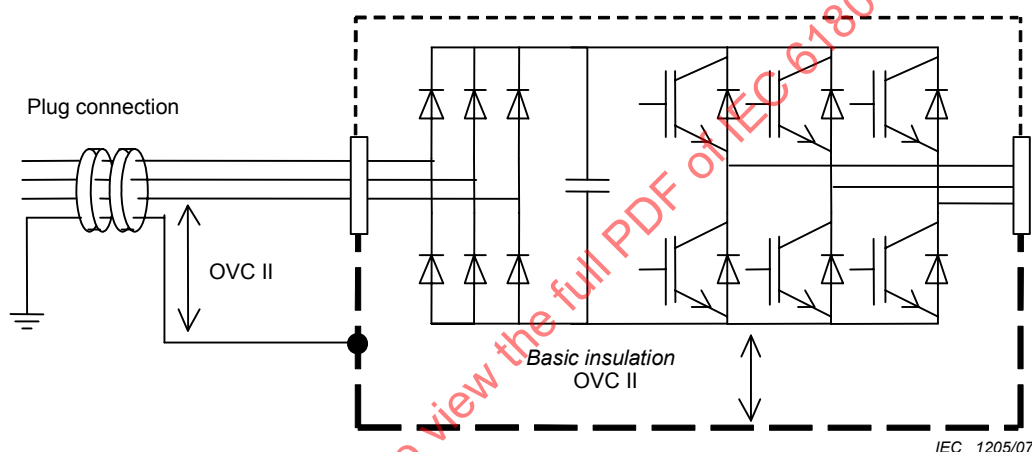


Figure B.3 – *Basic insulation* evaluation for equipment not permanently connected to the supply mains

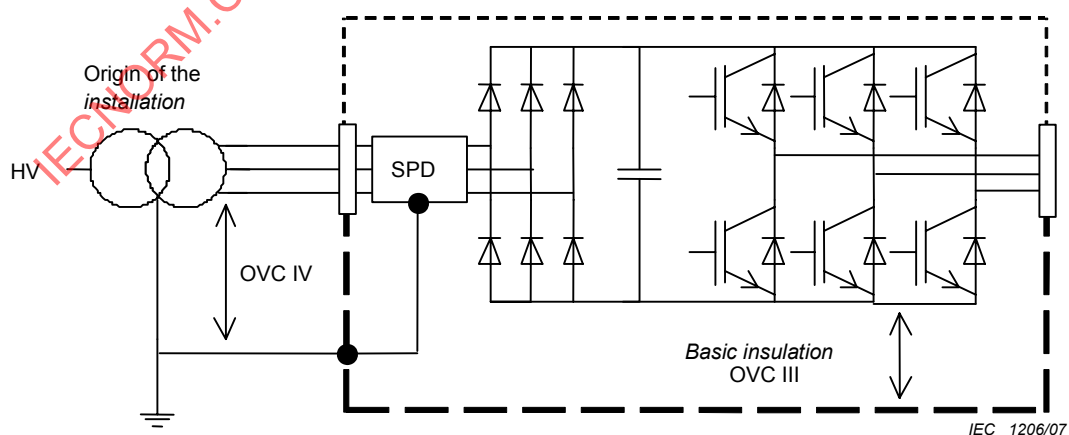


Figure B.4 – *Basic insulation* evaluation for circuits connected directly to the origin of the installation supply mains where internal SPDs are used

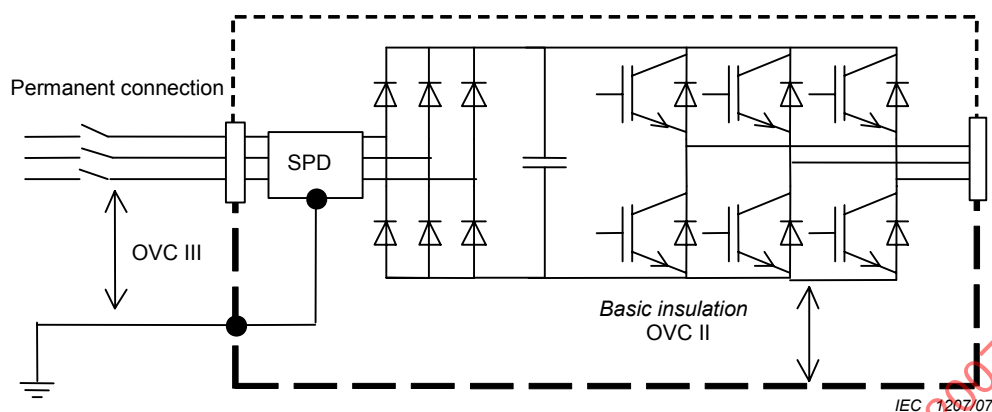


Figure B.5 - Basic insulation evaluation for circuits connected directly to the supply mains where internal SPDs are used

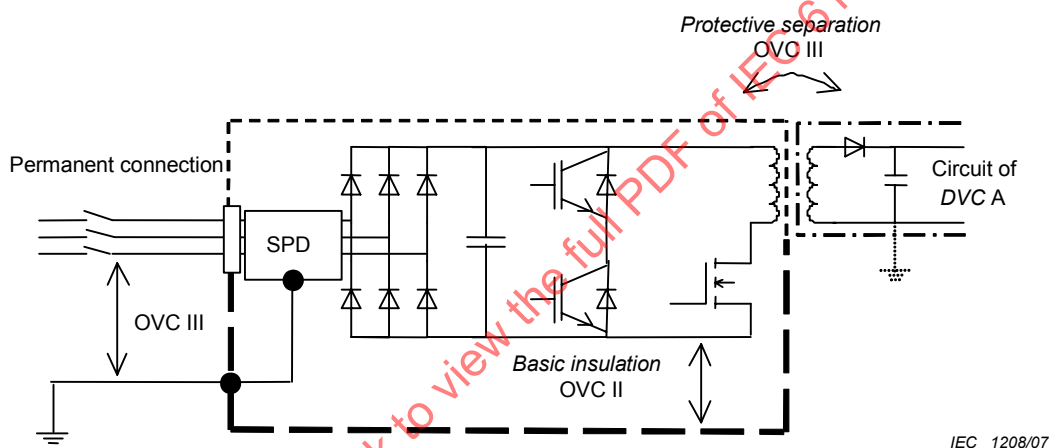


Figure B.6 – Example of protective separation evaluation for circuits connected directly to the supply mains where internal SPDs are used

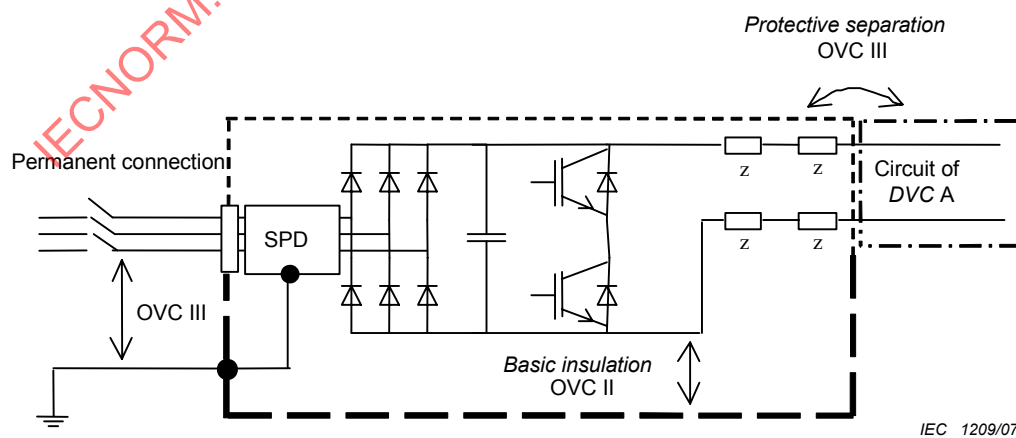


Figure B.7 – Example of protective separation evaluation for circuits connected directly to the supply mains where internal SPDs are used

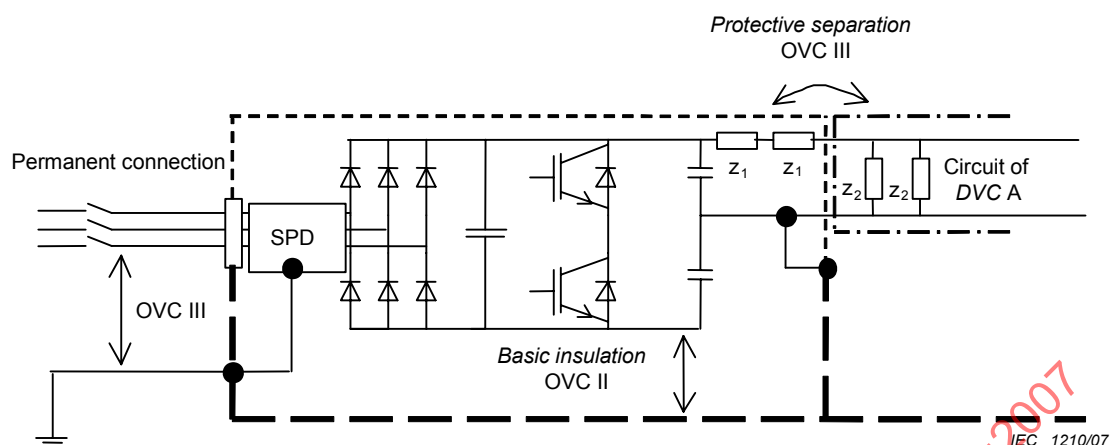


Figure B.8 Example of *protective separation* evaluation for circuits connected directly to the supply mains where internal SPDs are used

NOTE The requirements for *protective separation* in 5.2.3.1 to 5.2.3.3 are not reduced by the use of the SPD (see 4.3.6.2.2 and 4.3.6.2.3).

B.2.2 Circuits not connected directly to the supply mains (see 4.3.6.2.3)

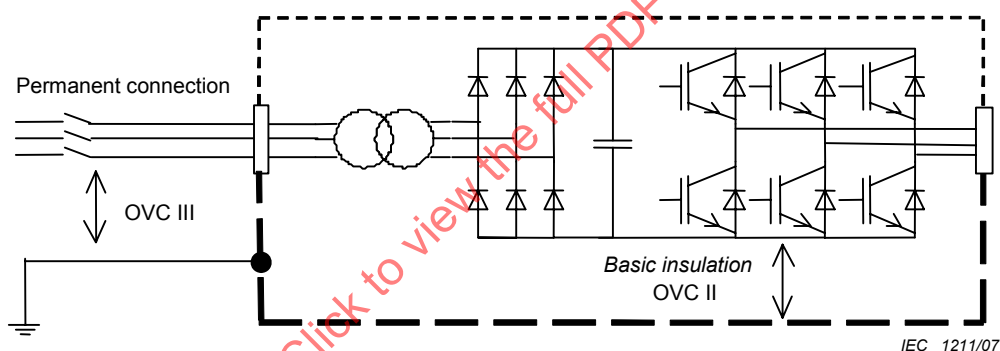


Figure B.9 – *Basic insulation* evaluation for circuits not connected directly to the supply mains

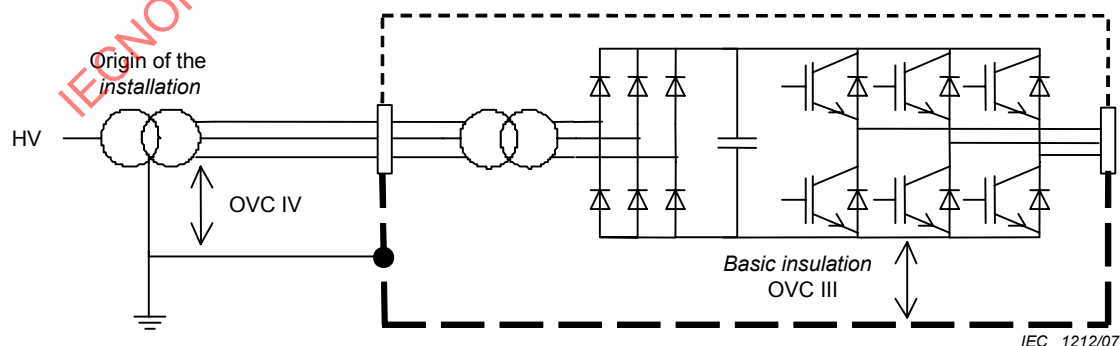
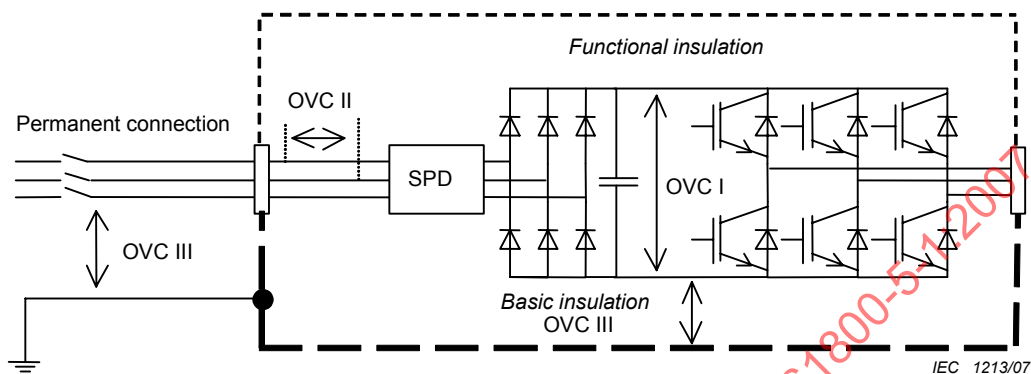


Figure B.10 – *Basic insulation* evaluation for circuits not connected directly to the supply mains

B.2.3 Insulation between circuits (see 4.3.6.2.4)

Insulation between two circuits shall be designed according to the circuit having the more severe requirement (see also Figure B.12).

B.3 Functional insulation (see 4.3.6.3)



NOTE 1 The SPD is not connected to earth, and so has no effect on the overvoltage category to earth.

NOTE 2 The requirements for functional insulation may be further reduced by the circuit characteristics (see 4.3.6.3).

Figure B.11 – Functional insulation evaluation within circuits affected by external transients

B.4 Further examples

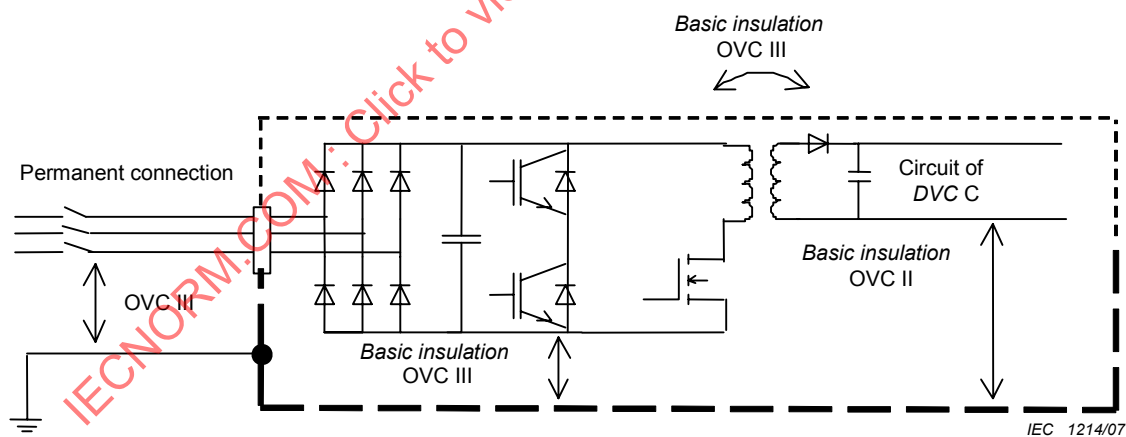


Figure B.12 – Basic insulation evaluation for circuits both connected and not connected directly to the supply mains

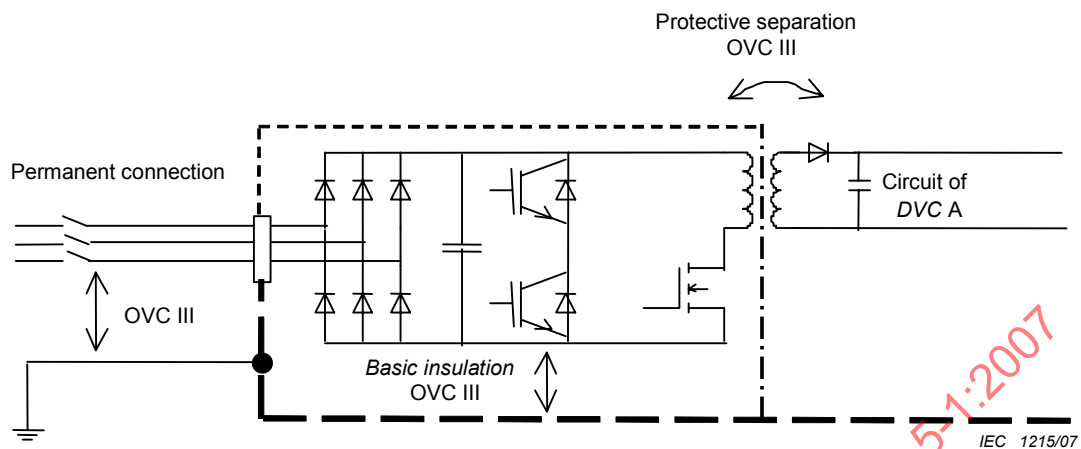


Figure B.13 – Insulation evaluation for accessible circuit of DVC A

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61800-5-1:2007

Annex C (normative)

Measurement of clearance and creepage distances

C.1 Measurement

Clearance and creepage distances shall be measured as illustrated in the examples contained in Examples C.1 to C.14.

C.2 Relationship of measurement to pollution degree

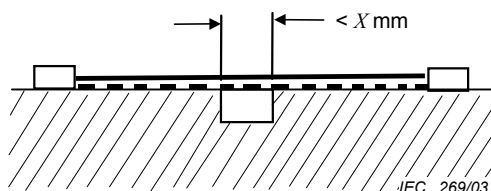
The “ X ” values are a function of pollution degree and shall be as specified in Table C.1. If the associated permitted clearance is less than 3 mm, the X value is one-third of the clearance.

Table C.1 – Width of grooves by pollution degree

Pollution degree	X value mm
1	0,25
2	1,0
3	1,5

C.3 Examples

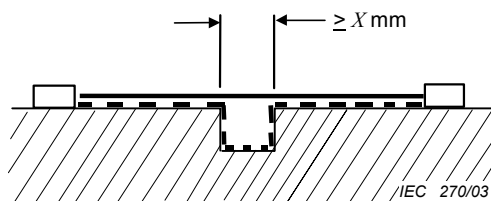
In the Examples C.1 to C.14 below, clearance and creepage distances are denoted as follows:



Example C.1

Condition: the path under consideration includes a parallel, diverging or converging-sided groove of any depth with a width less than X mm.

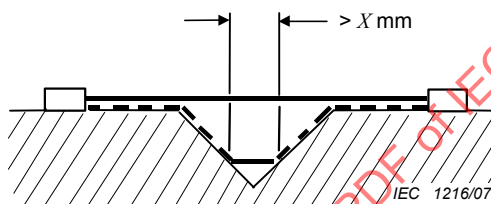
Rule: creepage distance and clearance are measured directly across the groove as shown.



Example C.2

Condition: Path under consideration includes a parallel or diverging-sided groove of any depth with a width equal to or more than X mm.

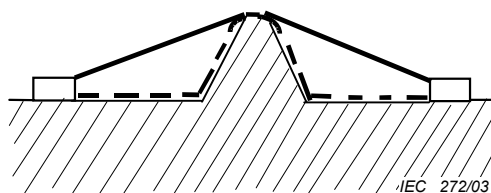
Rule: Clearance is the “line of sight” distance. Creepage path follows the contour of the groove.



Example C.3

Condition: Path under consideration includes a V-shaped groove with a width greater than X mm.

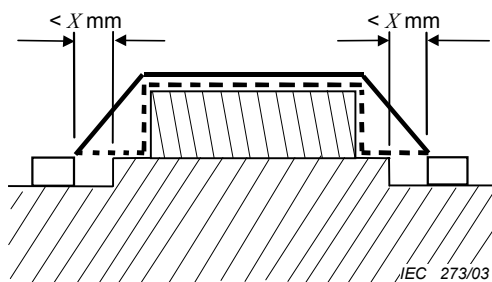
Rule: Clearance is the “line of sight” distance. Creepage path follows the contour of the groove but “short-circuits” the bottom of the groove by X mm link.



Example C.4

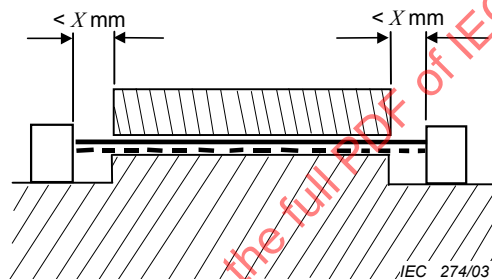
Condition: Path under consideration includes a rib.

Rule: Clearance is the shortest air path over the top of the rib. Creepage path follows the contour of the rib.

**Example C.5**

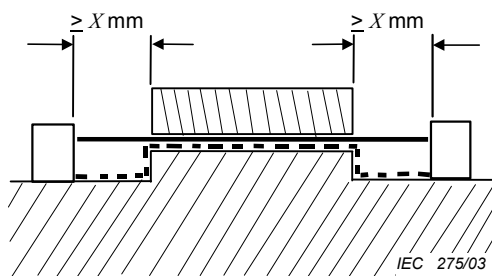
Condition: Path under consideration includes a cemented joint with grooves less than X mm wide on each side.

Rule: Clearance is the shortest air path over the top of the joint. Creepage distance is measured directly across the grooves and follows the contour of the joint.

**Example C.6**

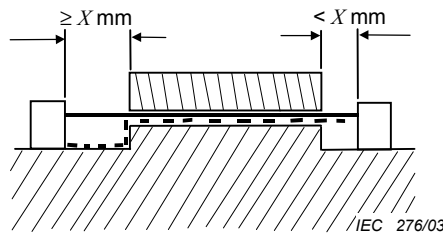
Condition: Path under consideration includes an uncemented joint with grooves less than X mm wide on each side.

Rule: Creepage and clearance path is the “line of sight” distance shown.

**Example C.7**

Condition: Path under consideration includes an uncemented joint with grooves equal to or more than X mm wide on each side.

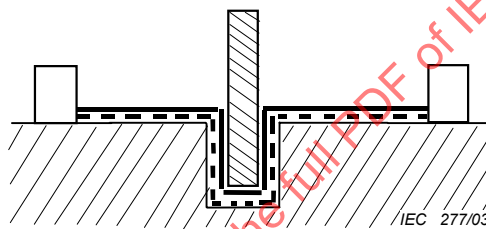
Rule: Clearance is the “line of sight” distance. Creepage path follows the contour of the grooves.



Example C.8

Condition: Path under consideration 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.

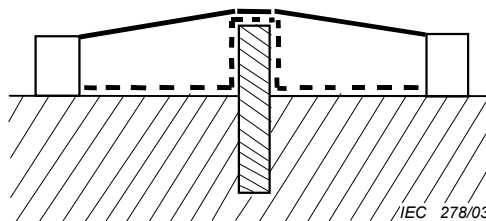
Rule: Clearance and creepage paths are as shown.



Example C.9

Condition: Path under consideration includes an uncemented barrier when path under the barrier is less than the path over the barrier.

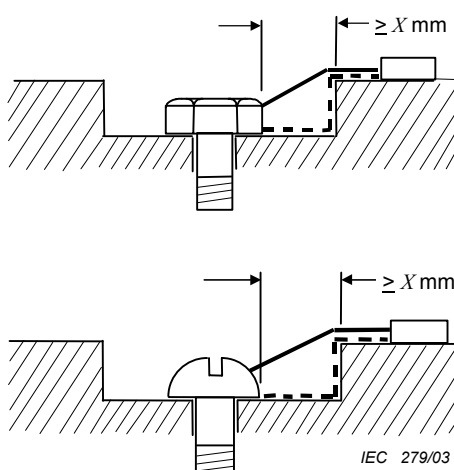
Rule: Clearance and creepage paths follow the contour under the barrier.



Example C.10

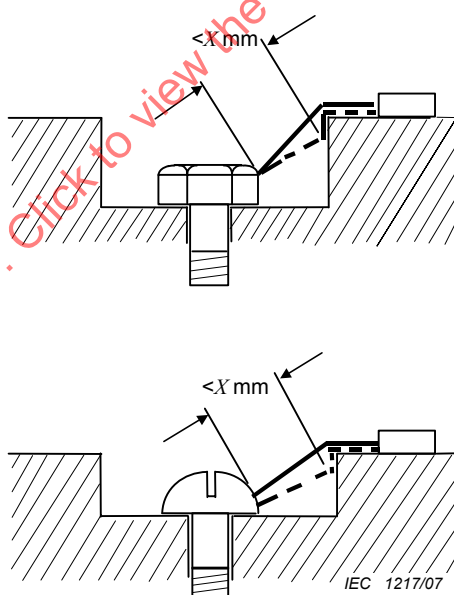
Condition: Path under consideration includes an uncemented barrier when path over the barrier is less than the path under the barrier.

Rule: Clearance is the shortest air path over the top of the barrier. Creepage path follows the contour of the barrier.

**Example C.11**

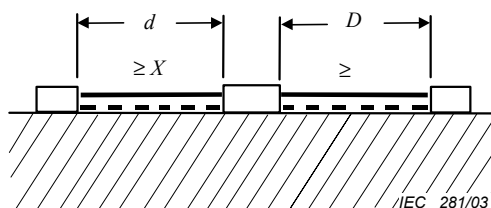
Condition: Path under consideration includes a gap between head of screw and wall of recess which is equal to or more than X mm wide.

Rule: Clearance is the shortest air path through the gap and over the top surface. Creepage path follows the contour of the surfaces.

**Example C.12**

Condition: Path under consideration includes a gap between head of screw and wall of recess which is less than X mm wide.

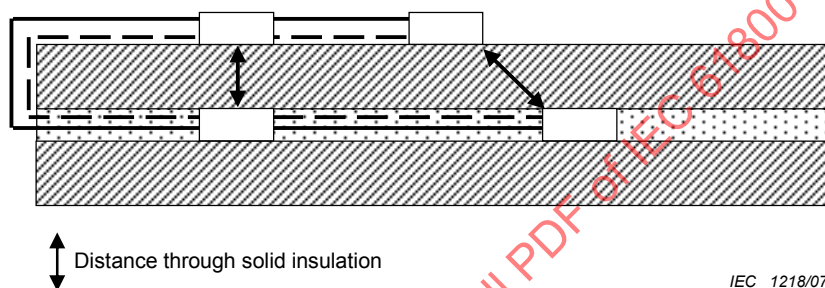
Rule: Clearance is the shortest air path through the gap and over the top surface. Creepage path follows the contour of the surfaces but “short-circuits” the bottom of the recess by X mm link.



Example C.13

Condition: Path under consideration includes an isolated part of conductive material.

Rule: Clearance and creepage paths are the sum of d plus D .



Example C.14

Condition: Path under consideration includes inner layer of PWB.

Rule: For the inner layer(s), the distance between adjacent tracks on the same layer is treated as creepage distance for pollution degree 1 and clearance as in air (see 4.3.6.8.4.1).

Annex D (informative)

Altitude correction for clearances

Clearances in air are a function of the atmospheric pressure according to Paschen's Law. Clearance distances provided in Table 9 are valid up to 2000 m above sea level. Clearances above 2000 m must be multiplied by the factor provided in Table D.1.

**Table D.1 – Correction factor for clearances at altitudes between 2 000 m and 20 000 m
(see 4.3.6.4.1)**

Altitude m	Normal barometric pressure kPa	Multiplication factor for clearances
2 000	80,0	1,00
3 000	70,0	1,14
4 000	62,0	1,29
5 000	54,0	1,48
6 000	47,0	1,70
7 000	41,0	1,95
8 000	35,5	2,25
9 000	30,5	2,62
10 000	26,5	3,02
15 000	12,0	6,67
20 000	5,5	14,50

Impulse tests performed below 2000 m altitude for the purpose of verifying air clearances must use test voltages which have been corrected for air pressure (altitude). Test voltages which have been corrected for three altitudes are provided in Table D.2. Altitude correction of test voltage is not required for impulse testing of solid insulation. The voltage values of Table D.2 apply for the verification of clearances only.

Table D.2 – Test voltages for verifying clearances at different altitudes

Impulse voltage (from Table 7) kV	Impulse test voltage at sea level kV	Impulse test voltage at 200 m altitude kV	Impulse test voltage at 500 m altitude kV
0,33	0,36	0,36	0,35
0,50	0,54	0,54	0,53
0,80	0,93	0,92	0,90
1,50	1,8	1,7	1,7
2,50	2,9	2,9	2,8
4,00	4,9	4,8	4,7
6,00	7,4	7,2	7,0
8,00	9,8	9,6	9,4
12,00	15	14	14

NOTE 1 Explanations concerning the influencing factors (air pressure, altitude, temperature, humidity) with respect to electric strength of clearances are given in 4.1.1.2.1.2 of IEC 60664-1.

NOTE 2 When testing clearances, associated solid insulation will be subjected to the test voltage. As the impulse test voltage is increased with respect to the rated impulse voltage, solid insulation will be designed accordingly. This results in an increased impulse withstand capability of the solid insulation.

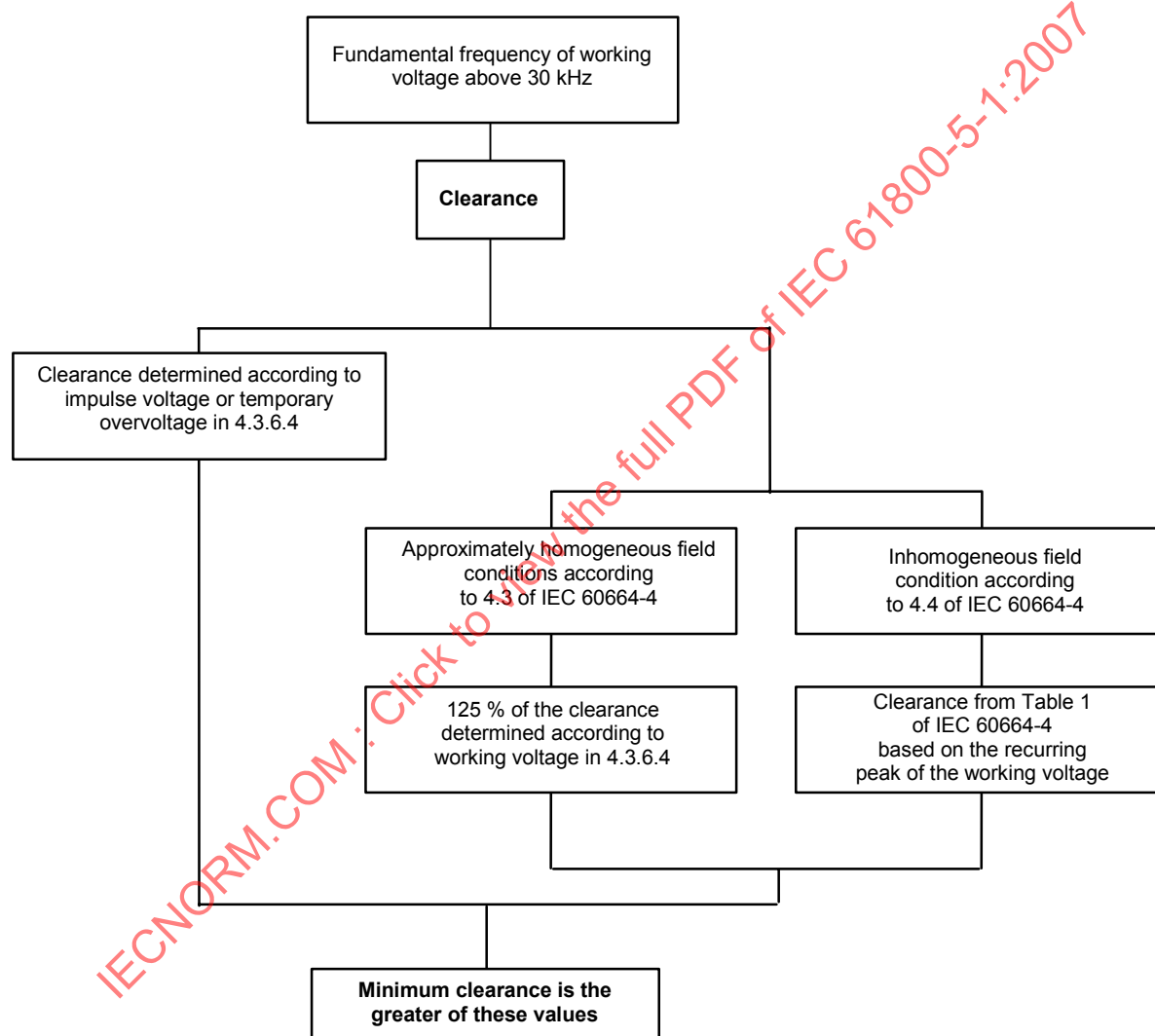
NOTE 3 Values given above have been rounded from the calculation in subclause 4.1.1.2.1.2 of IEC 60664-1.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61800-5-1:2007

Annex E (informative)

Clearance and creepage distance determination for frequencies greater than 30 kHz

E.1 Clearance

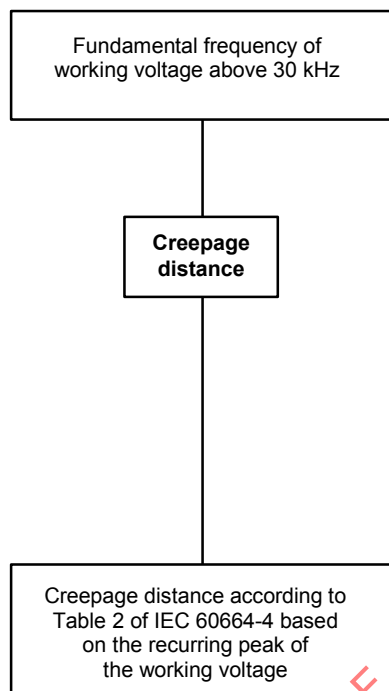


IEC 1219/07

NOTE For frequencies exceeding 30 kHz, an approximately homogeneous field is considered to exist when the radius of curvature r of the conductive parts is equal or greater than 20 % of the clearance. The necessary radius of curvature can only be specified at the end of the dimensioning procedure.

Figure E.1 – Determination of clearance for frequencies greater than 30 kHz

E.2 Creepage distance



IEC 1220/07

Figure E.2 – Determination of creepage for frequencies greater than 30 kHz

Table E.1 – Minimum values of clearances in air at atmospheric pressure for inhomogeneous field conditions (Table 1 of IEC 60664-4)

Peak voltage ^a kV	Clearance mm
≤ 0,6 ^b	0,065
0,8	0,18
1,0	0,5
1,2	1,4
1,4	2,35
1,6	4,0
1,8	6,7
2,0	11,0
^a For voltages between the values stated in this table, interpolation is permitted. ^b No data is available for peak voltages less than 0,6 kV.	

**Table E.2 – Minimum values of creepage distances for different frequency ranges
(Table 2 of IEC 60664-4)**

Peak voltage kV	Creepage distance ^{a b} (mm)						
	30 kHz < f ≤ 100 kHz	f ≤ 0,2 MHz	f ≤ 0,4 MHz	f ≤ 0,7 MHz	f ≤ 1 MHz	f ≤ 2 MHz	f ≤ 3 MHz
0,1	0,0167						0,3
0,2	0,042					0,15	2,8
0,3	0,083	0,09	0,09	0,09	0,09	0,8	20
0,4	0,125	0,13	0,15	0,19	0,35	4,5	
0,5	0,183	0,19	0,25	0,4	1,5	20	
0,6	0,267	0,27	0,4	0,85	5		
0,7	0,358	0,38	0,68	1,9	20		
0,8	0,45	0,55	1,1	3,8			
0,9	0,525	0,82	1,9	8,7			
1	0,6	1,15	3	18			
1,1	0,683	1,7	5				
1,2	0,85	2,4	8,2				
1,3	1,2	3,5					
1,4	1,65	5					
1,5	2,3	7,3					
1,6	3,15						
1,7	4,4						
1,8	6,1						

^a The values for the creepage distances in the table apply for pollution degree 1. For pollution degree 2 a multiplication factor of 1,2 and for pollution degree 3 a multiplication factor 1,4 shall be used.

^b Interpolation between columns is permitted.

Annex F (informative)

Cross-sections of round conductors

Standard values of cross-section of round copper conductors are shown in Table F.1, which also gives the approximate relationship between ISO metric and AWG/MCM sizes.

Table F.1 – Standard cross-sections of round conductors

ISO cross-section mm ²	AWG/MCM	
	Size	Equivalent cross-section mm ²
0,2	24	0,205
–	22	0,324
0,5	20	0,519
0,75	18	0,82
1,0	–	–
1,5	16	1,3
2,5	14	2,1
4,0	12	3,3
6,0	10	5,3
10	8	8,4
16	6	13,3
25	4	21,2
35	2	33,6
50	0	53,5
70	00	67,4
95	000	85,0
–	0000	107,2
120	250 MCM	127
150	300 MCM	152
185	350 MCM	177
240	500 MCM	253
300	600 MCM	304

NOTE The dash, when it appears, counts as a size when considering connecting capacity (see 4.3.8.8.2)

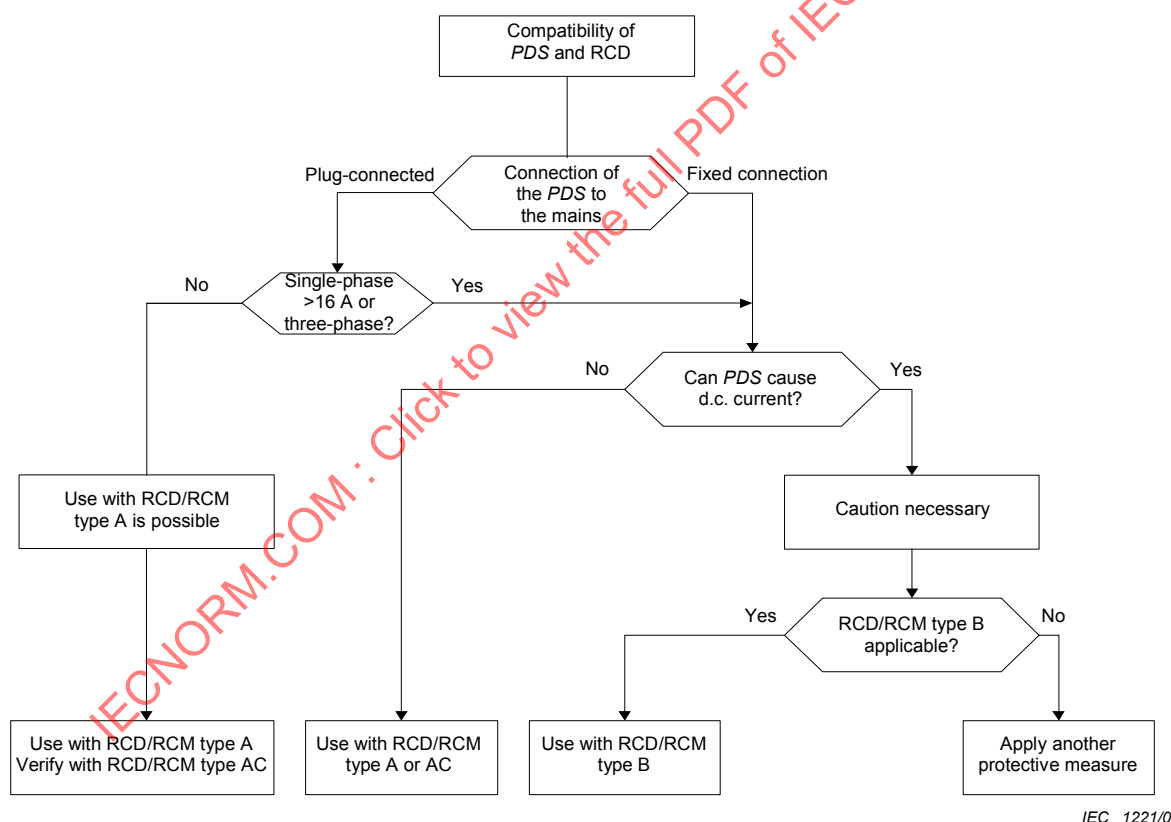
Annex G (informative)

Guidelines for RCD compatibility

G.1 Selection of RCD type

Depending on the supply circuitry and the type of RCD (type A, AC or B – see IEC 60755), *PDS* and RCD/RCM can be compatible or incompatible (see 4.3.10). If circuits which can cause current with a d.c. component to flow in the *protective earthing conductor* during normal operation or during failure are not separated from the environment by *double or reinforced insulation*, it is considered that the *PDS* itself can cause smooth d.c. current and is therefore incompatible with RCDs of type A and AC.

The flow chart of Figure G.1 will help with the selection of the RCD type when using a *PDS* downstream of the RCD.

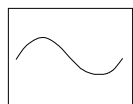


IEC 1221/07

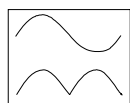
Figure G.1 – Flow chart leading to selection of the RCD/RCM type upstream of a *PDS*

RCDs suitable to be triggered by differing waveforms of residual current are marked with the following symbols, as defined in IEC 60755:

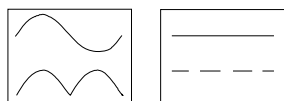
Type AC: – a.c. current sensitive (suitable for circuits 8 and 9 of Figure G.2)



Type AC: – a.c. current sensitive (suitable for circuits 8 and 9 of Figure G.2)



Type A: – a.c. current sensitive and pulse current sensitive (suitable for circuits 1, 4, 5, 8, 9 of Figure G.2)



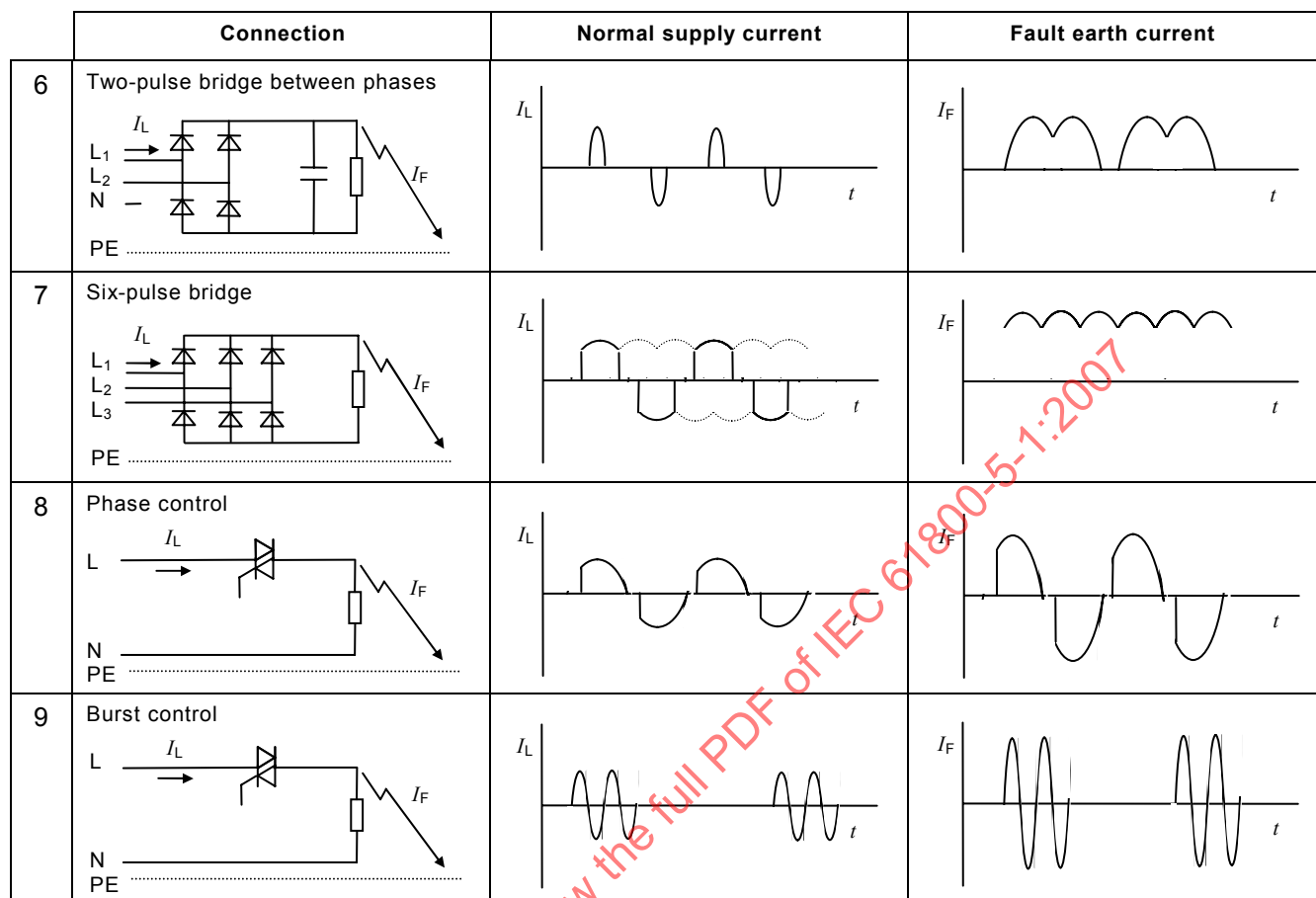
Type B: – universal current sensitive (suitable for all circuits of Figure G.2)

G.2 Fault current waveforms

Figure G.2 shows typical fault current waveforms for different *PDS* circuit configurations, used to determine RCD compatibility.

	Connection	Normal supply current	Fault earth current
1	Single-phase 		
2	Single-phase with smoothing 		
3	Three-phase star 		
4	Two-pulse bridge 		
5	Two-pulse bridge, half-controlled 		

Figure G.2 – Fault current waveforms in connections with semiconductor devices



IEC 1223/07

Figure G.2 – Fault current waveforms in connections with semiconductor devices
 (continued)

Annex H (informative)

Symbols referred to in this part of IEC 61800

Table H.1 – Symbols used

Symbol	Standard reference	Description	Subclauses
	IEC 60417-5019 (2006-08)	Protective earth; protective ground	6.3.6.6
	IEC 60417-5172 (2003-02)	Class II (double insulated) equipment	6.3.6.6
	IEC 60417-5018 (2006-10)	Functional earthing; functional grounding	6.3.6.6
	ISO 7000-0434 (2004-01)	Caution	6.3.6.7
	IEC 60417-5041 (2000-10)	Caution, hot surface	6.4.3.4
	IEC 60417-5036 (2002-10)	Dangerous voltage	6.5.2

Bibliography

IEC 60034-9, *Rotating electrical machines – Part 9: Noise limits*

IEC 60050-195:1998, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 195: Earthing and protection against electroshock*

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

IEC 60071 (all parts), *Insulation co-ordination*

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

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

IEC 60146-1-1, *Semiconductor convertors – General requirements and line commutated convertors – Part 1-1: Specifications of basic requirements*

IEC 60309-1, *Plugs, socket-outlets and couplers for industrial purposes – Part 1: General requirements*

IEC 60364-4-44, *Electrical installations of buildings – Part 4-44: Protection for safety – Protection against voltage disturbances and electromagnetic disturbances*

IEC 60664 (all parts), *Insulation coordination for equipment within low-voltage systems*

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 60695-2-12:2000, *Fire hazard testing – Part 2-12: Glowing/hot-wire based test methods – Glow-wire flammability test method for materials*

IEC 60721 (all parts), *Classification of environmental conditions*

IEC 61082 (all parts), *Preparation of documents used in electrotechnology*

IEC 61140:2001, *Protection against electric shock – Common aspects for installation and equipment*

IEC 61180-1:1992, *High-voltage test techniques for low-voltage equipment – Part 1: Definitions, test and procedure requirements*

IEC 61189-2, *Test methods for electrical materials, printed boards and other interconnection structures and assemblies – Part 2: Test methods for materials for interconnection structures*

IEC 61643-12:2002, *Low-voltage surge protective devices – Part 12: Surge protective devices connected to low-voltage power distribution systems – Selection and application principles*

IEC 61800-3:2004, *Adjustable speed electrical power drive systems – Part 3: EMC requirements and specific test methods*

IEC 62079:2001, *Preparation of instructions – Structuring, content and presentation*

IEC 62103:2003, *Electronic equipment for use in power installations*

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61800-5-1:2007

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61800-5-1:2007

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	123
1 Domaine d'application	125
2 Références normatives.....	125
3 Termes et définitions	128
4 Protection contre les chocs électriques et les dangers thermiques et énergétiques	134
4.1 Généralités.....	134
4.2 Conditions d'erreur.....	135
4.3 Protection contre les chocs électriques	136
4.4 Protection contre les risques thermiques	169
4.5 Protection contre les risques énergétiques	174
4.6 Protection contre les contraintes environnementales	175
5 Exigences d'essais	175
5.1 Généralités.....	175
5.2 Spécifications des essais	178
6 Exigences relatives aux informations et au marquage.....	200
6.1 Généralités.....	200
6.2 Informations pour le choix	203
6.3 Informations pour l'installation et la mise en service	203
6.4 Informations pour l'utilisation.....	207
6.5 Informations pour la maintenance.....	209
Annexe A (informative) Exemples de protection en cas de contact direct	211
Annexe B (informative) Exemples de réduction de la catégorie de surtension	213
Annexe C (normative) Mesure des distances d'isolement dans l'air et des lignes de fuite	219
Annexe D (informative) Correction de l'altitude pour les distances d'isolement dans l'air	225
Annexe E (informative) Détermination de la distance d'isolement dans l'air et de la ligne de fuite pour des fréquences supérieures à 30 kHz	227
Annexe F (informative) Sections des conducteurs ronds	230
Annexe G (informative) Lignes directrices pour la compatibilité avec des DDR	231
Annexe H (informative) Symboles référencés dans la présente partie de la CEI 61800	234
Bibliographie.....	235
Figure 1 – Configuration matérielle d'un <i>EEP</i> dans une <i>installation</i>	134
Figure 2 – Forme d'onde typique d'une <i>tension de fonctionnement</i> alternative	137
Figure 3 – Forme d'onde typique d'une <i>tension de fonctionnement</i> continue	138
Figure 4 – Forme d'onde typique d'une <i>tension de fonctionnement</i> pulsante	138
Figure 5 – Exemples de protection contre le contact direct	140
Figure 6 – Exemple de <i>liaison de protection</i>	144
Figure 7 – Limites de tension en cas de défaut	146
Figure 8 – Procédures d'essais de tension.....	186

Figure 9 – Circuit pour essai de formation d'arc à courant élevé	195
Figure 10 – Montage pour essai d'inflammation au fil chaud	196
Figure A.1 – Protection au moyen de la <i>CTD A</i> , avec <i>séparation de protection</i>	211
Figure A.2 – Protection au moyen d' <i>impédances de protection</i>	212
Figure A.3 – Protection au moyen de tensions limitées	212
Figure B.1 – Evaluation de l' <i>isolement principal</i> pour les circuits connectés directement à l'origine du réseau de l' <i>installation</i>	213
Figure B.2 – Evaluation de l' <i>isolement principal</i> pour les circuits connectés directement au réseau	214
Figure B.3 – Evaluation de l' <i>isolement principal</i> pour les équipements non connectés en permanence au réseau	214
Figure B.4 – Evaluation de l' <i>isolement principal</i> pour les circuits connectés directement à l'origine du réseau de l' <i>installation</i> où des DPS internes sont utilisés	214
Figure B.5 – Evaluation de l' <i>isolement principal</i> pour les circuits connectés directement au réseau où des DPS internes sont utilisés	215
Figure B.6 – Exemple d'évaluation de la <i>séparation de protection</i> pour les circuits connectés directement au réseau où des DPS internes sont utilisés	215
Figure B.7 – Exemple d'évaluation de la <i>séparation de protection</i> pour les circuits connectés directement au réseau où des DPS internes sont utilisés	215
Figure B.8 – Exemple d'évaluation de la <i>séparation de protection</i> pour les circuits connectés directement au réseau où des DPS internes sont utilisés	216
Figure B.9 – Evaluation de l' <i>isolement principal</i> pour les circuits non connectés directement au réseau	216
Figure B.10 – Evaluation de l' <i>isolement principal</i> pour les circuits non connectés directement au réseau	216
Figure B.11 – Evaluation de l' <i>isolement fonctionnel</i> dans les circuits affectés par des transitoires externes	217
Figure B.12 – Evaluation de l' <i>isolement principal</i> pour les circuits connectés et non connectés directement au réseau	217
Figure B.13 – Evaluation de l' <i>isolement</i> pour les circuits accessibles de la <i>CTD A</i>	218
Figure G.1 – Organigramme conduisant au choix du type de DDR/RCM en amont d'un EEP	231
Figure G.2 – Formes d'ondes des courants de défaut dans des montages avec dispositifs à semi-conducteurs	232
Tableau 1 – Liste alphabétique des termes	128
Tableau 2 – Pertinence des exigences pour les EEP/MEC/MEP	135
Tableau 3 – Résumé des limites des <i>classes de tension déterminantes</i>	136
Tableau 4 – Exigences de protection pour le circuit concerné	137
Tableau 5 – Section du <i>conducteur de mise à la terre de protection</i>	146
Tableau 6 – Définitions des degrés de pollution	149
Tableau 7 – Tension d'isolement des circuits basse tension	151
Tableau 8 – Tension d'isolement des circuits haute tension	151
Tableau 9 – Distances d'isolement dans l'air	155
Tableau 10 – Lignes de fuite (mm)	157
Tableau 11 – Epaisseur des tôles d'enveloppes électriques: acier au carbone ou acier inoxydable	163

Tableau 12 – Epaisseur des tôles d'enveloppes électriques: aluminium, cuivre ou laiton	164
Tableau 13 – Espace de courbure des fils des bornes à l'enveloppe.....	167
Tableau 14 – Matériaux génériques pour le support direct des <i>parties actives</i> non isolées	170
Tableau 15 – Températures maximales mesurées pour les composants et matériaux internes	172
Tableau 16 – Températures maximales mesurées pour les parties externes du <i>MEC</i>	173
Tableau 17 – Vue d'ensemble des essais	177
Tableau 18 – Essai de tension de choc.....	181
Tableau 19 – Tension d'essai de choc pour <i>EEP basse tension</i>	182
Tableau 20 – Tension d'essai de choc pour <i>EEP haute tension</i>	182
Tableau 21 – Tension d'essai alternative ou continue pour circuits raccordés directement au réseau d'alimentation basse tension	183
Tableau 22 – Tension d'essai alternative ou continue pour circuits raccordés directement au réseau d'alimentation haute tension.....	184
Tableau 23 – Tension d'essai alternative ou continue pour circuits non raccordés directement au réseau d'alimentation.....	185
Tableau 24 – Essai de décharge partielle	188
Tableau 25 – Essai de chaleur sèche (régime permanent).....	198
Tableau 26 – Essai de chaleur humide (régime permanent).....	199
Tableau 27 – Essai de vibration.....	200
Tableau 28 – Exigences d'informations.....	202
Tableau C.1 – Largeur des rainures en fonction du degré de pollution	219
Tableau D.1 – Facteur de correction pour les distances d'isolement dans l'air à des altitudes comprises entre 2 000 m et 20 000 m (voir 4.3.6.4.1)	225
Tableau D.2 – Tensions d'essai pour la vérification des distances d'isolement dans l'air à différentes altitudes	226
Tableau E.1 – Valeurs minimales des distances d'isolement dans l'air à la pression atmosphérique dans des conditions de champ non homogènes (Tableau 1 de la CEI 60664-4)	228
Tableau E.2 – Valeurs minimales des lignes de fuite pour différentes plages de fréquences (Tableau 2 de la CEI 60664-4).....	229
Tableau F.1 – Sections standard des conducteurs ronds	230
Tableau H.1 – Symboles utilisés	234

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ENTRAÎNEMENTS ÉLECTRIQUES DE PUISSANCE À VITESSE VARIABLE

**Partie 5-1: Exigences de sécurité –
Électrique, thermique et énergétique**

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 n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 61800-5-1 a été établie par le sous-comité 22G: Systèmes d'entraînement électrique à vitesse variable comprenant des convertisseurs à semi conducteurs, du comité d'études 22 de la CEI: Systèmes et équipements électroniques de puissance.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition, parue en 2003. Elle constitue une révision technique.

Les principaux domaines de modification dans cette deuxième édition sont les suivants:

- a) ajout du Tableau 1 alphabétique à l'Article 3,
- b) ajout du Tableau 2 en 4.1 pour la pertinence par rapport aux EEP/MEC/MEP,
- c) ajout du Tableau 4, résumé des exigences des classes de tension déterminante,
- d) extension du paragraphe sur les liaisons de protection (4.3.5.3),

- e) éclaircissement de la différence entre courant de contact et courant dans le conducteur de protection,
- f) révision du paragraphe sur l'isolement (désormais 4.3.6) pour inclure l'isolation solide,
- g) ajout de la catégorie de surtension I et II à la tension d'isolement des circuits haute tension,
- h) révision du paragraphe sur l'isolation solide (désormais 4.3.6.8),
- i) ajout d'exigences pour l'isolement haute fréquence (4.3.6.9, Annexe E),
- j) ajout d'exigences pour l'EEP à refroidissement par liquide (4.4.5),
- k) ajout d'essais climatiques et de vibration (5.2.6),
- l) éclaircissement de la procédure d'essai de tension pour éviter les sur-contraintes de l'isolement principal (5.2.3.2.3),
- m) révision de l'exigence d'essai de court-circuit pour un EEP important, à haute tension et unique (désormais 5.2.3.6),
- n) ajout de l'Annexe B informative pour la réduction de la catégorie de surtension.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
22G/178/FDIS	22G/181/RVD

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

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

Une liste de toutes les parties de la série CEI 61800, présentées sous le titre général *Entraînements électriques de puissance à vitesse variable*, peut être consultée sur le site web de la CEI.

Les termes en *italique* dans le texte sont définis à l'Article 3.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de maintenance indiquée sur le site web de la CEI sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

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

ENTRAÎNEMENTS ÉLECTRIQUES DE PUISSANCE À VITESSE VARIABLE

Partie 5-1: Exigences de sécurité – Électrique, thermique et énergétique

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 61800 spécifie les exigences pour les *entraînements électriques de puissance* à vitesse variable, ou leurs éléments, en ce qui concerne les considérations de sécurité électrique, thermique et énergétique. Elle ne couvre pas l'équipement entraîné, à l'exception des exigences pour les interfaces. Elle s'applique aux systèmes d'entraînement électrique à vitesse variable qui comprennent le convertisseur de puissance, le système de commande et un ou plusieurs moteurs. En sont exclus les entraînements pour les véhicules électriques et la traction. Elle s'applique aux systèmes d'entraînement c.c. connectés à des réseaux de tension inférieure ou égale à 1 kV c.a., 50 Hz ou 60 Hz et aux systèmes d'entraînement c.a. avec des tensions d'entrée de convertisseur inférieures ou égales à 35 kV, 50 Hz ou 60 Hz et de sortie de convertisseur inférieures ou égales à 35 kV.

Les autres parties de la CEI 61800 couvrent les spécifications des caractéristiques, les aspects de la CEM, de la sécurité fonctionnelle, etc.

Le domaine d'application de cette norme ne comprend pas les appareils utilisés comme des composants de l'*EEP* s'ils sont conformes aux exigences de sécurité de la norme de produit appropriée pour un même environnement. Par exemple, les moteurs utilisés dans les *EEP* doivent être conformes avec les parties en rapport de la CEI 60034.

Sauf spécification contraire, les exigences de cette Norme internationale s'appliquent à toutes les parties de l'*EEP*, *MEC* et *MEP* inclus (voir Figure 1).

NOTE Dans certain cas, les exigences de l'*EEP* (par exemple la protection contre les contacts directs) peuvent nécessiter l'utilisation de composants spéciaux et/ou de mesures supplémentaires.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

NOTE Cela ne signifie pas que la conformité avec tous les articles des documents en référence soit exigée, mais plutôt que cette norme internationale fait une référence qui ne peut pas être comprise en l'absence des documents référencés.

CEI 60034 (toutes les parties), *Machines électriques tournantes*

CEI 60034-1, *Machines électriques tournantes – Partie 1: Caractéristiques assignées et caractéristiques de fonctionnement*

CEI 60034-5, *Machines électriques tournantes – Partie 5: Degrés de protection procurés par la conception intégrale des machines électriques tournantes (code IP) – Classification*

CEI 60050-111, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 111: Physique et chimie*

CEI 60050-151, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Partie 151: Dispositifs électriques et magnétiques*

CEI 60050-161, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 161: Compatibilité électromagnétique*

CEI 60050-191, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 191: Sûreté de fonctionnement et qualité de service*

CEI 60050-441, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 441: Appareillage et fusibles*

CEI 60050-442, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Partie 442: Petit appareillage*

CEI 60050-551, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Partie 551: Electronique de puissance*

CEI 60050-601, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 601: Production, transport et distribution de l'énergie électrique – Généralités*

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

CEI 60068-2-2 :1974, *Essais d'environnement – Deuxième partie: Essais. Essais B: Chaleur sèche*

CEI 60068-2-6, *Essais d'environnement – Partie 2: Essais – Essai Fc: Vibrations (sinusoïdales)*

CEI 60068-2-78, *Essais d'environnement – Partie 2-78: Essais – Essai Cab: Chaleur humide, essai continu*

CEI 60112:2003, *Méthode de détermination des indices de résistance et de tenue au cheminement des matériaux isolants solides*

CEI 60204-11, *Sécurité des machines – Equipement électrique des machines – Partie 11: Prescriptions pour les équipements HT fonctionnant à des tensions supérieures à 1 000 V c.a. ou 1 500 V c.c. et ne dépassant pas 36 kV*

CEI 60309, *Prises de courant pour usages industriels*

CEI 60364-1, *Installations électriques à basse tension – Partie 1: Principes fondamentaux, détermination des caractéristiques générales, définitions*

CEI 60364-5-54:2002, *Installations électriques des bâtiments – Partie 5-54: Choix et mise en oeuvre des matériels électriques – Mises à la terre, conducteurs de protection et conducteurs d'équipotentialité de protection*

CEI 60417, *Symboles graphiques utilisables sur le matériel*

CEI 60529:1989, *Degrés de protection procurés par les enveloppes (Code IP)*

CEI 60617, *Symboles graphiques pour schémas*

CEI 60664-1:1992, *Coordination de l'isolement des matériels dans les systèmes (réseaux) à basse tension – Partie 1: Principes, prescriptions et essais* ¹⁾

Amendement 1 (2000)

Amendement 2 (2002)

CEI 60664-3:2003, *Coordination de l'isolement des matériels dans les systèmes (réseaux) à basse tension – Partie 3: Utilisation de revêtement, d'empotage ou de moulage pour la protection contre la pollution*

CEI 60664-4:2005, *Coordination de l'isolement des matériels dans les systèmes (réseaux) à basse tension – Partie 4: Considérations sur les contraintes de tension à haute fréquence*

CEI 60695-2-10, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 2-10: Essais au fil incandescent/chauffant – Appareillage et méthode commune d'essai*

CEI 60695-2-13, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 2-13: Essais au fil incandescent/chauffant – Méthode d'essai d'allumabilité pour matériaux*

CEI 60695-11-10, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 11-10: Flammes d'essai – Méthodes d'essai horizontale et verticale à la flamme de 50 W*

CEI 60695-11-20, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 11-20: Flammes d'essai – Méthodes d'essai à la flamme de 500 W*

CEI 60755 1983, *Règles générales pour les dispositifs de protection à courant différentiel résiduel*

CEI 60947-7-1:2002, *Appareillage à basse tension – Partie 7-1: Matériels accessoires – Blocs de jonction pour conducteurs en cuivre*

CEI 60947-7-2:2002, *Appareillage à basse tension – Partie 7-2: Matériels accessoires – Blocs de jonction de conducteur de protection pour conducteurs en cuivre*

CEI 60990:1999, *Méthodes de mesure du courant de contact et du courant dans le conducteur de protection*

CEI 61230, *Travaux sous tension – Dispositifs portables de mise à la terre ou de mise à la terre et en court-circuit*

CEI 61800-1, *Entraînements électriques de puissance à vitesse variable – Partie 1: Exigences générales – Spécifications de dimensionnement pour systèmes d'entraînement de puissance à vitesse variable en courant continu et basse tension*

CEI 61800-2, *Entraînements électriques de puissance à vitesse variable – Partie 2: Exigences générales – Spécifications de dimensionnement pour systèmes d'entraînement de puissance à fréquence variable en courant alternatif et basse tension*

CEI 61800-4, *Entraînements électriques de puissance à vitesse variable – Partie 4: Exigences générales – Spécifications de dimensionnement pour systèmes d'entraînements de puissance en courant alternatif de tension supérieure à 1 000 V alternatif et ne dépassant pas 35 kV*

CEI 62020, *Petit appareillage électrique – Contrôleurs d'isolement à courant différentiel résiduel (RCM) pour usages domestiques et analogues*

¹⁾ Il existe une édition consolidée 1.2 (2002) comprenant la CEI 60664-1:1992 et ses amendements 1 et 2.

CEI 62271-102, *Appareillage à haute tension – Partie 102: Sectionneurs et sectionneurs de terre à courant alternatif*

ISO 3864 (toutes les parties), *Symboles graphiques – Couleurs de sécurité et signaux de sécurité*

ISO 7000:2004, *Symboles graphiques utilisables sur le matériel – Index et tableau synoptique*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans la CEI 60050-111, la CEI 60050-151, la CEI 60050-161, la CEI 60050-191, la CEI 60050-441, la CEI 60050-442, la CEI 60050-551, la CEI 60050-601, la CEI 60664-1, la CEI 61800-1, la CEI 61800-2, la CEI 61800-3 et la CEI 61800-4 (dont quelques-uns sont répétés ci-dessous pour des raisons de commodité), ainsi que les suivants s'appliquent.

Le Tableau 1 fournit une liste de référence alphabétique des différents termes utilisés.

Tableau 1 – Liste alphabétique des termes

Terme	Numéro du terme	Terme	Numéro du terme	Terme	Numéro du terme
borne client	3.42	entraînement électrique de puissance (EEP)	3.20	module d'entraînement complet (MEC)	3.4
circuit adjacent	3.1	essai de mise en service	3.6	module d'entraînement principal (MEP)	3.2
circuit de <i>TBT</i> de protection (TBTP)	3.21	essai de type	3.41	partie active	3.17
circuit <i>TBT</i> de sécurité (TBTS)	3.35	essai individuel de série	3.34	protection de classe 0	3.24
claquage électrique	3.10	essai sur prélèvement	3.36	protection de classe I	3.25
classe de tension déterminante (CTD)	3.7	impédance de protection	3.30	protection de classe II	3.26
conducteur de terre de protection	3.29	installation	3.14	protection de classe III	3.27
courant de contact	3.40	isolement double	3.8	séparation de protection	3.32
courant de court-circuit présumé	3.22	isolement fonctionnel	3.12	surtension temporaire	3.39
courant de fuite (à la terre)	3.16	isolement principal	3.3	tension de fonctionnement	3.43
durée de vie prévue	3.11	isolement renforcé	3.33	tension système	3.38
écran de protection	3.31	isolement supplémentaire	3.37	très basse tension (TBT)	3.9
<i>EEP</i> basse tension	3.18	liaison de protection	3.23	type ouvert	3.19
<i>EEP</i> haute tension	3.13	locaux électriques fermés	3.5	zone de liaison équipotentielle	3.44
<i>EEP</i> intégré	3.15	mise à la terre de protection (PE)	3.28		

3.1

circuit adjacent

circuit n'ayant pas de connexion galvanique avec le circuit à l'étude

NOTE Une impédance de protection n'est pas considérée comme étant une connexion galvanique.

3.2**module d'entraînement principal****MEP**

module d'entraînement, constitué d'une partie convertisseur et d'une partie contrôle de vitesse, de couple, de courant ou de tension, etc. (voir Figure 1)

3.3**isolement principal**

isolement appliqué aux *parties actives* destiné à assurer une protection principale contre les chocs électriques

[VEI 826-12-14, modifié]

3.4**module d'entraînement complet****MEC**

système d'entraînement, sans le moteur ni les capteurs mécaniquement couplés à l'arbre du moteur, qui est constitué (sans y être limité) d'un *MEP* et d'extensions telles que les appareillages d'alimentation et les circuits auxiliaires (voir Figure 1)

3.5**locaux électriques fermés**

salle ou emplacement pour les équipements électriques dont l'accès est restreint aux personnes compétentes ou formées par l'ouverture d'une porte ou le retrait d'une barrière au moyen d'une clé ou d'un outil et qui est clairement indiqué(e) par des panneaux d'avertissement appropriés

3.6**essai de mise en service**

essai d'un dispositif ou d'un équipement, effectué sur site, et destiné à vérifier son installation correcte et son bon état de fonctionnement

[VEI 151-16-24, modifié]

3.7**classe de tension déterminante****CTD**

classification de la gamme de tensions utilisée afin de déterminer les mesures de protection contre les chocs électriques

3.8**isolement double**

isolement comprenant à la fois un *isolement principal* et un *isolement supplémentaire*

[VEI 826-12-16, modifié]

NOTE L'*isolement principal* et l'*isolement supplémentaire* sont séparés, chacun étant conçu pour une protection principale contre les chocs électriques.

3.9**très basse tension****TBT**

toute tension n'excédant pas 50 V c.a. efficace et 120 V c.c.

NOTE 1 Tension ondulée efficace n'excédant pas 10 % de la composante continue.

NOTE 2 Dans la présente Norme internationale, la protection contre les chocs électriques dépend de la *classification de la tension déterminante*. CTD A et B se situent dans la plage de tensions de TBT.

3.10

claquage électrique

défaillance de l'isolement sous une contrainte électrique lorsque la décharge court-circuite complètement l'isolement, réduisant ainsi presque à zéro la tension entre les électrodes

[CEI 60664-1:1992, définition 1.3.20, modifiée]

3.11

durée de vie prévue

durée minimale pendant laquelle les caractéristiques des performances de sécurité sont valides dans les conditions nominales de fonctionnement

3.12

isolement fonctionnel

isolement entre les parties conductrices d'un circuit qui est nécessaire pour le bon fonctionnement du circuit mais qui n'assure pas une protection contre les chocs électriques

3.13

EEP haute tension

produit avec une tension nominale d'alimentation comprise entre 1 kV et 35 kV c.a., 50 Hz ou 60 Hz

NOTE Ces produits entrent dans le domaine d'application de la CEI 61800-4.

3.14

installation

équipement ou ensemble d'équipements comprenant au moins l'EEP et l'équipement entraîné (voir Figure 1)

NOTE Le mot «installation» est également utilisé dans cette Norme internationale pour désigner le processus d'installation d'un EEP/MEC/MEP. Dans ces cas, le mot n'apparaît pas en italique.

3.15

EEP intégré

EEP où le moteur et les MEC/MEP sont mécaniquement intégrés dans un seul équipement

3.16

courant de fuite (à la terre)

courant qui s'écoule des *parties actives* de l'*installation* à la terre, en l'absence de tout défaut d'isolement

[VEI 442-01-24, modifiée]

3.17

partie active

conducteur ou partie conductrice prévu(e) pour être sous tension en condition normale d'utilisation, comprenant le conducteur de neutre mais pas une terre de protection au neutre

3.18

EEP basse tension

produit avec une tension nominale d'alimentation jusqu'à 1 000 V c.a., 50 Hz ou 60 Hz

NOTE Ces produits entrent dans le domaine d'application de la CEI 61800-1 ou la CEI 61800-2.

3.19

type ouvert (produit)

(produit) destiné à l'incorporation dans une enveloppe ou un assemblage qui fournira une protection d'accès

3.20**entraînement électrique de puissance****EEP**

système de contrôle de vitesse d'un moteur électrique, comprenant le *MEC* et le moteur mais pas l'équipement entraîné (voir Figure 1)

3.21**circuit de *TBT* de protection (TBTP)**

circuit électrique ayant les caractéristiques suivantes:

- la tension ne dépasse pas continuellement une *TBT* en cas de défaut unique ou dans des conditions normales;
- il existe des *séparations de protection* des circuits autres que des *TBTP* ou *TBTS*;
- il existe des moyens de mise à la terre du *circuit TBTP* ou de ses parties conductrices accessibles ou des deux à la fois

3.22**courant de court-circuit présumé**

courant qui circule lorsque les conducteurs d'alimentation du circuit sont court-circuités par un conducteur d'impédance négligeable situé le plus près possible des bornes d'alimentation des *EEP/MEC/MEP*

3.23**liaison de protection**

connexion électrique de parties conductrices pour des raisons de sécurité

3.24**protection de classe 0**

équipement dans lequel la protection contre les chocs électriques repose uniquement sur un *isolement principal*

NOTE Les appareils de cette classe deviennent dangereux en cas de défaut de *l'isolement principal*.

3.25**protection de classe I**

équipement dans lequel la protection contre les chocs électriques ne repose pas uniquement sur un *isolement principal* mais qui comprend une mesure de sécurité supplémentaire de telle manière que des moyens sont fournis pour la connexion des parties conductrices accessibles au *conducteur (de mise à la terre) de protection* dans le câblage fixe de l'*installation*, de sorte que les parties conductrices accessibles ne peuvent pas devenir actives en cas de défaut de *l'isolement principal*

3.26**protection de classe II**

équipement dans lequel la protection contre les chocs électriques ne repose pas uniquement sur un *isolement principal* mais dans lequel des mesures de sécurité supplémentaires telles qu'un *isolement supplémentaire* ou un *isolement renforcé* sont fournies, sans aucun moyen de connexion à une *terre de protection* ni dépendance aux conditions d'installation

3.27**protection de classe III**

équipement dans lequel la protection contre les chocs électriques repose sur une alimentation en *TBT* et dans lequel des tensions supérieures à celles de la *TBT* ne sont pas générées et où il n'existe pas de moyen de connexion à une *terre de protection*

[voir CEI 61140, Paragraphe 7.4]

3.28

mise à la terre de protection

PE

mise à la terre d'un point dans un système ou d'un équipement pour la protection contre les chocs électriques en cas de défaut

3.29

conducteur de terre de protection

conducteur de protection prévu pour réaliser la *mise à la terre de protection*

[VEI 195-02-11]

3.30

impédance de protection

une impédance connectée entre des *parties actives* et des parties conductrices accessibles, d'une valeur telle que le courant, en condition normale d'utilisation et sous des conditions de défaut vraisemblables, est limité à une valeur de sécurité, et qui est construite de telle sorte que sa fiabilité est maintenue tout au long de la durée de vie de l'équipement

[VEI 442-04-24, modifié]

3.31

écran de protection

séparation des circuits des parties actives dangereuses au moyen d'un écran conducteur interposé et connecté aux moyens de connexion pour un *conducteur de mise à la terre de protection*

3.32

séparation de protection

séparation entre des circuits au moyen d'une protection principale et supplémentaire (*isolement principal* plus un *isolement supplémentaire* ou un *écran de protection*) ou par une disposition de protection équivalente (par exemple, un *isolement renforcé*)

3.33

isolement renforcé

système d'isolement simple, appliqué aux *parties actives*, qui fournit un degré de protection contre les chocs électriques équivalent à un *double isolement* sous les conditions spécifiées dans la norme CEI appropriée

[CEI 60664-1:1992, définition 1.3.17.5, modifiée]

3.34

essai individuel de série

essai auquel est soumis chaque dispositif en cours ou en fin de fabrication pour vérifier qu'il satisfait à des critères définis

[VEI 151-16-17, modifié]

3.35

circuit TBT de sécurité

TBTS

circuit électrique ayant les caractéristiques suivantes:

- la tension n'excède pas la *TBT*;
- il existe des *séparations de protection* des circuits autres que des *TBTS* ou *TBTP*;
- il n'y a aucun moyen de mise à la terre du *circuit TBTS* ou de ses parties conductrices accessibles;
- il existe un *isolement principal* entre le *circuit TBTS* et la terre ainsi que les *circuits TBTP*.

3.36**essai sur prélèvement**

essai effectué sur un certain nombre de dispositifs prélevés au hasard dans un lot

[VEI 151-16-20, modifié]

3.37**isolement supplémentaire**

isolement indépendant appliqué en plus de l'*isolement principal* de façon à fournir une protection contre les chocs électriques en cas de défaut de l'*isolement principal*

[CEI 60664-1:1992, définition 1.3.17.3, modifiée]

NOTE Les *isolements principal* et *supplémentaire* sont séparés, chacun étant conçu pour une protection principale contre les chocs électriques.

3.38**tension système**

tension utilisée pour déterminer les exigences de l'isolement

NOTE Voir 4.3.6.2.1 pour des informations supplémentaires sur la *tension système*.

3.39**surtension temporaire**

surtension à la fréquence d'alimentation d'une durée relativement longue

[CEI 60664-1:1992, définition 1.3.7.1, modifiée]

3.40**courant de contact**

courant électrique passant dans le corps humain ou dans celui d'un animal lorsqu'il est en contact une ou plusieurs parties accessibles d'une installation électrique ou de matériels électriques

[VEI 826-11-12]

3.41**essai de type**

essai effectué sur un ou plusieurs dispositifs fabriqués selon une conception donnée pour vérifier que cette conception répond à certaines spécifications

[VEI 151-16-16, modifié]

3.42**borne client**

borne prévue pour une connexion externe aux *EEP/MEC/MEP*

3.43**tension de fonctionnement**

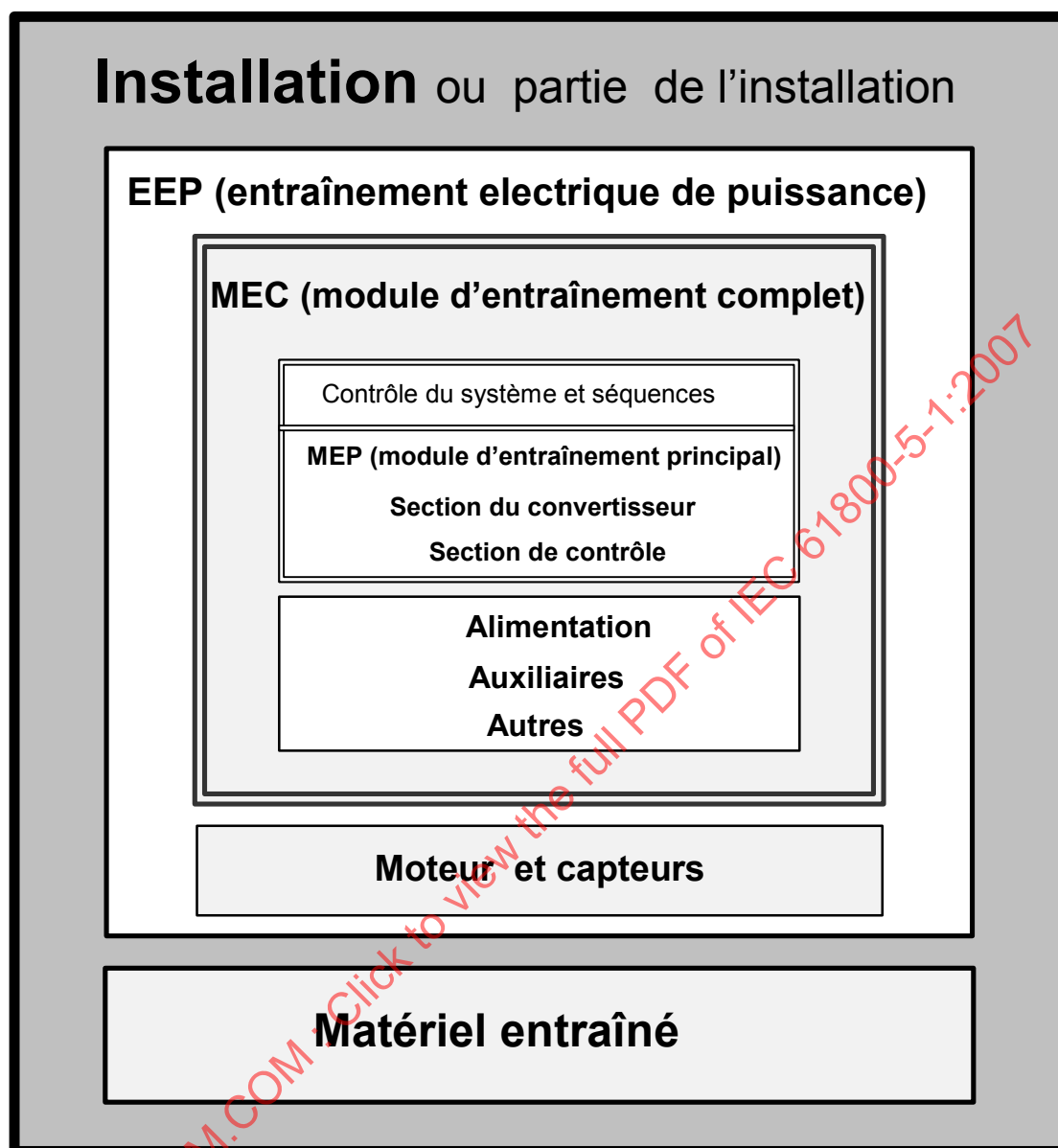
tension qui apparaît par conception dans un circuit ou au travers d'un isolement, dans les conditions nominales d'alimentation (sans tolérances) et dans les pires conditions de fonctionnement

NOTE La *tension de fonctionnement* peut être c.c. ou c.a. Les valeurs de crêtes répétitives et efficaces sont utilisées.

3.44**zone de liaison équipotentielle**

zone où toutes les parties conductrices accessibles simultanément sont connectées électriquement pour empêcher l'apparition de tensions dangereuses entre elles

NOTE Pour les liaisons équipotentielles, il n'est pas nécessaire que les parties soient mises à la terre.



IEC 1197/07

Figure 1 – Configuration matérielle d'un *EEP* dans une *installation*

4 Protection contre les chocs électriques et les dangers thermiques et énergétiques

4.1 Généralités

Cet Article 4 définit les exigences minimales pour la conception et la réalisation d'un *EEP*, afin de garantir sa sécurité pendant l'installation, les conditions normales de fonctionnement et la maintenance pour la *durée de vie prévue* de l'*EEP*. La minimisation des risques résultant d'une mauvaise utilisation raisonnablement prévisible est également prise en compte.

Le Tableau 2 illustre l'application des exigences de cet Article 4 au *EEP*, *MEC* ou *MEP*.

Tableau 2 – Pertinence des exigences pour les EEP/MEC/MEP

Paragraphe	Titre	EEP ^a	MEC/MEP
4.2	(Protection contre les chocs électriques et les dangers thermiques et énergétiques) - Conditions d'erreur	A	A
4.3.1	<i>Classification de tension déterminante</i>	A	A
4.3.2	<i>Séparation de protection</i>	A	A
4.3.3	Protection contre le contact direct	A	C
4.3.4	Protection en cas de contact direct	A	C
4.3.5.1	(Protection contre le contact indirect) - Généralités	A	A
4.3.5.2	Isolement entre les <i>parties actives</i> et les parties conductrices accessibles	A	C
4.3.5.3	Circuit de <i>liaison de protection</i>	A	C
4.3.5.4	<i>Conducteur de mise à la terre de protection</i>	A	A
4.3.5.5	Dispositifs de raccordement du <i>conducteur de mise à la terre de protection</i>	A	A
4.3.5.6	Caractéristiques spéciales des appareils pour une <i>protection de classe II</i>	A	C
4.3.6	Isolement	A	A
4.3.7	Enveloppes	A	C
4.3.8	Câblage et raccordements	A	A
4.3.9	Exigences de court-circuit en sortie	A	A
4.3.10	Compatibilité avec les dispositifs de protection à courant différentiel résiduel (DDR) ou de surveillance (RCM)	A	C
4.3.11	Décharge de condensateurs	A	A
4.3.12	Conditions d'accès pour l'EEP <i>haute tension</i>	A	C
4.4	Protection contre les risques thermiques	A	A
4.4.3	Inflammabilité des matériaux de l'enveloppe	A	C
4.4.5	Exigences spécifiques pour l'EEP refroidi par liquide	A	A
4.5.1	Dangers dus à l'énergie électrique	A	A
4.5.2	Risques liés à l'énergie mécanique	A	C
4.6	Protection contre les contraintes environnementales	A	A
A Exigence toujours appropriée.			
C Exigence appropriée sauf si le MEC ou le MEP est intégré dans un assemblage qui fournit la protection requise.			
^a L'EEP intégré doit répondre aux exigences des EEP.			

4.2 Conditions d'erreur

L'EEP doit être conçu de façon à éviter les modes ou les séquences de fonctionnement susceptibles de provoquer une condition de défaut ou une défaillance de composant conduisant à un risque, à moins que d'autres mesures ne soient fournies par l'*installation* pour empêcher ce risque.

La protection contre les risques thermiques et les chocs électriques doit être maintenue tant en conditions de défaut unique qu'en conditions normales.

L'analyse des circuits doit être exécutée pour identifier les composants (y compris les systèmes d'isolement) dont la défaillance entraînerait un risque thermique ou de choc électrique. L'analyse doit inclure les effets des conditions de court-circuit et de circuit ouvert du composant. L'analyse n'a pas besoin d'inclure les dispositifs à semi-conducteurs de puissance si les essais équivalents sont effectués au cours des essais de court-circuit, ou les composants dont il a été établi que la probabilité de défaillance est minime pendant la *durée de vie prévue* de l'EEP. Voir 5.2.3.6.4 pour l'essai.

NOTE Il est possible que l'analyse ne fasse pas ressortir de composants critiques. Dans ce cas, il n'est pas exigé d'essais de défaillance de composant.

On doit examiner les risques potentiels concernant la sécurité associés aux parties essentielles de l'EEP, telles que les pièces pivotantes du moteur et l'inflammabilité des huiles des transformateurs et condensateurs.

4.3 Protection contre les chocs électriques

4.3.1 Classification de tension déterminante

4.3.1.1 Utilisation de la classe de tension déterminante (CTD)

Les mesures de protection contre les chocs électriques dépendent de la *classification de la tension déterminante* selon le Tableau 3, qui fait la corrélation des limites de la *tension de fonctionnement* à l'intérieur du circuit avec la CTD. La CTD, quant à elle, détermine le niveau minimal de protection exigé pour le circuit.

4.3.1.2 Limites de la CTD

Tableau 3 – Résumé des limites des classes de tension déterminantes

CTD	Limites de la <i>tension de fonctionnement</i> V			Paragraphe
	Tension alternative (efficace) U_{ACL}	Tension alternative (crête) U_{ACPL}	Tension continue (moyenne) U_{DCL}	
A ^a	25	35,4	60	4.3.4.2, 4.3.4.4
B	50	71	120	4.3.5.3.1 a), b)
C	1 000	4 500 ^b	1 500	
D	> 1 000	> 4 500	> 1 500	

^a Pour les appareils n'ayant qu'un seul circuit CTD A, les limites de tension efficace et de crête sont respectivement 30 V et 42,4 V.

^b La valeur 4 500 V permet à tous les EEP basse tension d'être traités par le Tableau 7 (réflexions possibles jusqu'à $3 \times \sqrt{2} \times 1\,000\text{ V} = 4\,242\text{ V}$).

4.3.1.3 Exigences de protection

Tableau 4 présente les exigences pour l'application d'un *isolement principal* ou d'une *séparation de protection*, en fonction de la CTD du circuit à l'étude et des *circuits adjacents*.

Tableau 4 – Exigences de protection pour le circuit concerné

CTD du circuit concerné	Protection requise contre le contact direct	Isolement des parties mises à la terre	Isolement des parties conductrices accessibles qui ne sont pas mises à la terre	Isolement des <i>circuits adjacents</i> de CTD			
				A	B	C	D
A	Non	a *	a	f *	b	p ‡	p
B	Oui	b	p		b	p ‡	p
C	Oui	b	p			b	p
D	Oui	b	p				b

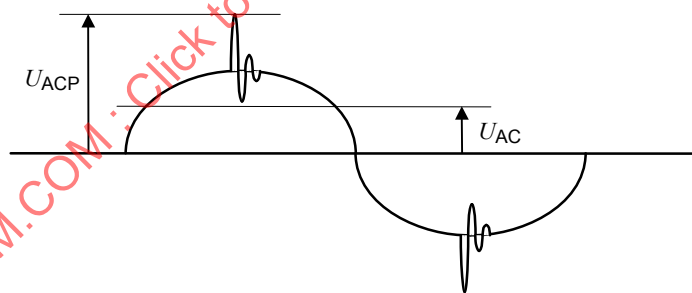
a L'isolement n'est pas nécessaire pour la sécurité mais peut être requis pour des raisons fonctionnelles.
 * Si le circuit concerné est un *circuit TBTS*, l'*isolement principal* est requis avec la terre et les *circuits TBTP*.
 f *Isolement fonctionnel* pour les circuits de tension supérieure.
 b *Isolement principal* pour les circuits de tension supérieure.
 p *Séparation de protection* pour les circuits de tension supérieure.
 ‡ Il est admis d'utiliser l'*isolement principal* pour les circuits de tension supérieure si la protection contre le contact direct est appliquée au circuit concerné par l'*isolement principal* ou *supplémentaire* pour le circuit de tension supérieure.

4.3.1.4 Evaluation des circuits

4.3.1.4.1 Généralités

La CTD d'un circuit donné est évaluée selon la méthode exposée ci-dessous, trois formes d'ondes différentes étant considérées.

4.3.1.4.2 Tension de fonctionnement alternative (voir Figure 2)



IEC 258/03

Légende

U_{AC} tension alternative efficace
 U_{ACP} tension crête répétitive

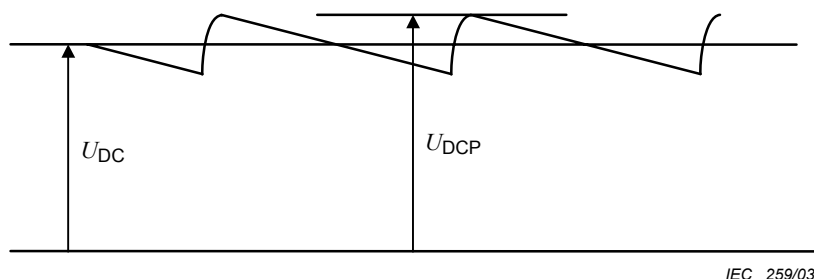
Figure 2 – Forme d'onde typique d'une tension de fonctionnement alternative

La *tension de fonctionnement* possède une valeur efficace U_{AC} et une valeur de crête répétitive U_{ACP} .

La CTD est celle de la ligne de tension la plus basse du Tableau 3 pour laquelle les deux conditions suivantes sont satisfaites.

- $U_{AC} \leq U_{ACL}$
- $U_{ACP} \leq U_{ACPL}$

4.3.1.4.3 Tension de fonctionnement continue (voir Figure 3)



Légende

U_{DC} tension moyenne
 U_{DCP} tension crête répétitive

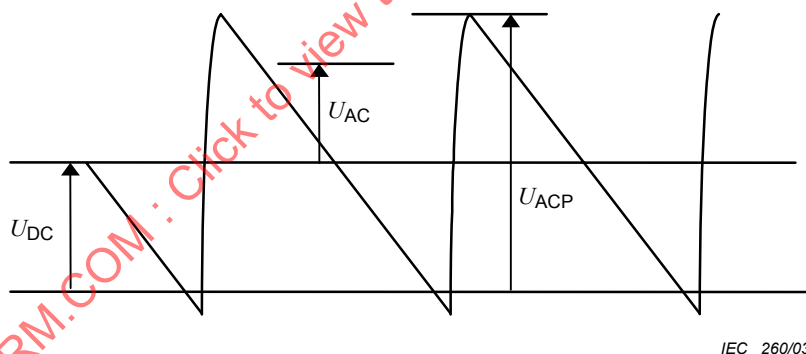
Figure 3 – Forme d'onde typique d'une tension de fonctionnement continue

La *tension de fonctionnement* possède une valeur moyenne U_{DC} et une valeur de crête répétitive U_{DCP} , provoquée par une tension d'ondulation de valeur efficace inférieure ou égale à 10 % de U_{DC} .

La *CTD* est celle de la ligne de tension la plus basse du Tableau 3 pour laquelle les deux conditions suivantes sont satisfaites.

- $U_{DC} \leq U_{DCL}$
- $U_{DCP} \leq 1,17 \times U_{DCL}$

4.3.1.4.4 Tension de fonctionnement pulsante (voir Figure 4)



Légende

U_{DC} tension moyenne
 U_{DCP} tension crête répétitive

Figure 4 – Forme d'onde typique d'une tension de fonctionnement pulsante

La *tension de fonctionnement* possède une valeur moyenne U_{DC} et une valeur de crête répétitive U_{ACP} , provoquée par une tension d'ondulation de valeur efficace U_{AC} supérieure à 10 % de U_{DC} .

La *CTD* est celle de la ligne de tension la plus basse du Tableau 3 pour laquelle les deux conditions suivantes sont satisfaites.

- $U_{AC}/U_{ACL} + U_{DC}/U_{DCL} \leq 1$
- $U_{ACP}/U_{ACPL} + U_{DC}/(1,17 \times U_{DCL}) \leq 1$

4.3.2 Séparation de protection

La *séparation de protection* doit être réalisée en utilisant des matériaux résistant à la dégradation, ainsi qu'en appliquant des mesures de fabrication spéciales; et

- par une *isolation double* ou *renforcée*,
ou
- par un *écran de protection*, c'est-à-dire par un écran conducteur relié à la terre par la *liaison de protection* de l'*EEP* ou raccordé au conducteur de terre de protection lui-même, l'écran étant séparé des *parties actives* par au moins un *isolement principal*,
ou
- par une *impédance de protection* selon 4.3.4.3 comprenant une limitation d'énergie de décharge et de courant, ou une limitation de tension selon 4.3.4.4.

La *séparation de protection* doit être totale et maintenue effective quelles que soient les conditions prévues d'utilisation de l'*EEP*.

4.3.3 Protection contre le contact direct

4.3.3.1 Généralités

La protection contre le contact direct est utilisée pour empêcher les individus de toucher des *parties actives* qui ne satisfont pas aux exigences de 4.3.4. Elle doit être fournie par au moins l'une des mesures données en 4.3.3.2 et en 4.3.3.3.

Pour l'*EEP intégré*, le moteur doit répondre aux exigences de la CEI 60034-5. Pour le *MEP*, la protection doit être fournie par au moins l'une des mesures données en 4.3.3.2 et en 4.3.3.3.

4.3.3.2 Protection au moyen de l'isolement des *parties actives*

Les *parties actives* doivent être entièrement recouvertes d'un isolant si leur *tension de fonctionnement* est supérieure aux limites maximales de la *CTD A* ou si elles ne possèdent pas de *séparation de protection* avec les *circuits adjacents* de *CTD C* ou *D*. L'isolement doit être déterminé en fonction de la tension de choc, la *surtension temporaire* ou la *tension de fonctionnement* (voir 4.3.6.2.1), selon l'exigence la plus sévère. Il ne doit pas être possible de retirer l'isolant sans utiliser d'outil.

Toute partie conductrice qui n'est pas séparée des *parties actives* au moins par un *isolement principal* est considérée comme une *partie active*. Une partie métallique accessible est considérée comme étant conductrice si sa surface est nue ou recouverte d'une couche d'isolant qui n'est pas conforme aux exigences de l'*isolement principal*.

A la place de l'isolement solide ou liquide, il est possible d'utiliser une distance d'isolement dans l'air selon 4.3.6.4, représentée par L_1 et L_2 à la Figure 5.

Le degré d'isolement – *principal*, *double* ou *renforcé* – dépend:

- de la *CTD* des *parties actives* ou des *circuits adjacents*,
et
- du raccordement des parties conductrices à la terre par la *liaison de protection*.

La Figure 5 donne des exemples de configurations d'isolement et indique également les exigences pour les ouvertures.

Type d'isolement	Configuration de l'isolement		
	a Parties accessibles conductrices et raccordées à la terre par une <i>liaison de protection</i>	b Parties accessibles non-conductrices	c Parties accessibles conductrices, mais NON raccordées à la terre par une <i>liaison de protection</i>
1) Solide ou liquide			
2) Total ou partiel par distance d'isolement dans l'air			
3) Isolement des circuits adjacents	Circuit A: circuit de tension inférieure Circuit C: circuit de tension supérieure; ligne sup. – CTD C seule, ligne inf. – CDT C ou D		
4) Exigences pour les ouvertures dans les enveloppes			
A <i>partie active</i>	L_1 distance d'isolement dans l'air pour l'isolement principal	T doigt d'essai (Article 12 de la CEI 60529)	
B <i>isolement principal</i> pour circuit A	L_2 distance d'isolement dans l'air pour l'isolement renforcé	Z <i>isolement supplémentaire</i> pour circuit A	
Bc <i>isolement principal</i> pour circuit C	M partie conductrice	Zc <i>isolement supplémentaire</i> pour circuit C	
C <i>circuit adjacent</i>	R <i>isolement renforcé</i> pour circuit A	* s'applique aussi aux vis en plastique	
D <i>isolement double</i> pour circuit A	Rc <i>isolement renforcé</i> pour circuit C	F <i>isolement fonctionnel</i> pour circuit A	
I isolement inférieur à B	S surface de l'appareillage		
NOTE 1 A la colonne c, un écrou en plastique est considéré comme métallique parce qu'un utilisateur pourrait le remplacer par un métallique au cours de la vie du produit.			
NOTE 2 A la ligne 4), l'insertion du doigt d'essai est considéré comme représentant une situation de premier défaut.			

Figure 5 – Exemples de protection contre le contact direct

Trois cas sont considérés:

Cas a): Les parties accessibles sont conductrices et raccordées à la terre par la *liaison de protection*.

- L'*isolement principal* est exigé entre les parties accessibles et les *parties actives*. La tension correspondante est celle des *parties actives* (voir Figure 5, cellules 1)a), 2)a), 3)a)).

Cas b) et c): Les parties accessibles ne sont pas conductrices (cas b)) ou conductrices mais non raccordées à la terre par la *liaison de protection* (cas c)). L'isolement exigé est:

- un *isolement double* ou *renforcé* entre les parties accessibles et les *parties actives* de la CTD C ou D. La tension correspondante est celle des *parties actives* (voir Figure 5, cellules 1)b), 1)c), 2)b), 2)c)) ;
- un *isolement supplémentaire* entre les parties accessibles et les *parties actives* des circuits de la CTD A ou B et séparées par un *isolement principal* des *circuits adjacents* de la CTD C. La tension correspondante est la tension la plus élevée des *circuits adjacents* (voir Figure 5, cellules supérieures 3)b), 3)c)) ;
- un *isolement principal* entre les parties accessibles et les *parties actives* des circuits de la CTD B dotés d'une *séparation de protection* avec les *circuits adjacents* de la CTD C ou D. La tension correspondante est celle des *parties actives* (voir Figure 5, cellules inférieures 3)b), 3)c)).

4.3.3.3 Protection au moyen d'enveloppes et de barrières

Les *parties actives* de CTD B, C ou D doivent être disposées dans des enveloppes ou situées derrière des enveloppes ou des barrières qui satisfont au moins aux exigences de l'indice de protection IPXXB conformément au Paragraphe 15.1 de la CEI 60259. Les surfaces supérieures des enveloppes ou barrières qui sont accessibles lorsque l'équipement est sous tension doivent satisfaire au moins aux exigences de l'indice de protection IP3X pour le seul accès vertical. Voir 5.2.2.3 pour l'essai. Il ne doit être possible d'ouvrir des enveloppes ou de retirer des barrières qu'avec l'aide d'un outil ou après la mise hors tension de ces *parties actives*.

Lorsque l'enveloppe doit être ouverte et que l'*EEP* est alimenté pendant l'installation ou la maintenance:

- a) les *parties actives* accessibles de la CTD B, C ou D doivent être protégées au moins au niveau IPXXA;
- b) les *parties actives* de la CTD B, C ou D qui risquent d'être touchées lors de réglages doivent être protégées au moins au niveau IPXXB;
- c) on doit s'assurer que les personnes sont averties que les *parties actives* de la CTD B, C ou D sont accessibles.

Les sous-ensembles et les dispositifs de *type ouvert* ne nécessitent pas de mesures de protection contre le contact direct.

Les produits contenant des circuits de CTD A, B ou C destinés à être installés dans des *locaux électriques fermés*, tels que définis en 3.5, n'ont pas besoin d'intégrer de mesures de protection contre le contact direct.

Les produits contenant des circuits de CTD D destinés à être installés dans un *local électrique fermé* sont sujets à des exigences supplémentaires (voir 4.3.12).

4.3.4 Protection en cas de contact direct

4.3.4.1 Généralités

La protection en cas de contact direct est nécessaire pour s'assurer que le contact avec les *parties actives* ne produit pas de choc électrique.

La protection contre le contact direct selon 4.3.3 n'est pas nécessaire si le circuit touché est séparé de tous les autres circuits selon 4.3.1.3, et

- s'il est de *CTD A* et conforme à 4.3.4.2,
ou
- s'il est de courant limité via une *impédance de protection* selon 4.3.4.3,
ou
- s'il est limité en tension selon 4.3.4.4.

Voir l'Annexe A pour des exemples de ces mesures.

NOTE Les exigences de ces paragraphes s'appliquent au circuit entier, y compris aux alimentations et aux dispositifs périphériques associés.

La conformité aux exigences de *séparation de protection* doit être vérifiée selon 5.2.1, 5.2.2 et 5.2.3, selon le cas.

4.3.4.2 Protection à l'aide de la *CTD A*

La protection contre le contact direct n'est pas nécessaire pour les circuits non reliés à la terre de *CTD A* et les circuits de *CTD A* reliés à la terre utilisés dans une *zone de liaison équipotentielle* (voir 3.44).

Les circuits mis à la terre de *CTD A* qui ne se trouvent pas dans une *zone de liaison équipotentielle* nécessitent une protection supplémentaire en cas de contact direct, par l'une des mesures données en 4.3.4.3 ou en 4.3.4.4, pour offrir une protection au cas où les potentiels de référence à la terre des circuits de *CTD A* ne seraient pas identiques. Le manuel d'instructions doit fournir des informations concernant l'utilisation de ces circuits (voir 6.3.6.5).

4.3.4.3 Protection au moyen d'*impédances de protection*

Le raccordement des *parties actives* accessibles aux circuits de *CTD B, C* ou *D*, ou aux circuits mis à la terre de *CTD A* non utilisés dans une *zone de liaison équipotentielle*, ne doit être effectué que par l'intermédiaire d'*impédances de protection* (sauf si 4.3.4.4 s'applique).

Les précautions de construction identiques à celles des *séparations de protection* doivent s'appliquer à la construction et à l'installation d'une *impédance de protection*. Les valeurs de courant énoncées ci-dessous ne doivent pas être dépassées en cas de défaillance d'un seul composant. La charge emmagasinée disponible entre des parties accessibles simultanément et protégées par l'*impédance de protection* ne doit pas dépasser 50 μC .

Les *impédances de protection* doivent être conçues pour que le courant disponible les traversant de la terre à la *partie active* accessible ne dépasse pas une valeur de 3,5 mA en courant alternatif ou 10 mA en courant continu. Voir 5.2.3.4 pour l'essai.

Les *impédances de protection* doivent être conçues et testées pour résister aux tensions de choc et aux *surtensions temporaires* des circuits auxquels elles sont raccordées. Voir 5.2.3.1 et 5.2.3.2 pour les essais.

4.3.4.4 Protection au moyen de tensions limitées

Ce type de protection implique une technique de division de tension à partir d'un circuit protégé contre le contact direct, entraînant une tension par rapport à la terre inférieure ou égale à la *CTD A*.

Ce circuit doit être conçu pour que, même en cas de défaut sur un seul composant du circuit diviseur de tension, la tension aux bornes de sortie ainsi que celle par rapport à la terre ne deviennent pas supérieures à la *CTD A*. Des mesures de construction identiques à celles utilisées pour la *séparation de protection* doivent être employées dans ce cas.

Ce type de protection ne doit pas être employé en *protection de classe II* car il est conditionné au fait qu'une terre de protection soit raccordée.

4.3.5 Protection contre le contact indirect

4.3.5.1 Généralités

La protection contre le contact indirect est nécessaire pour éviter les courants de chocs pouvant provenir des parties conductrices accessibles lors d'un défaut d'isolement. Cette protection doit satisfaire aux exigences des *classes de protection I, II ou III*.

La partie d'un *EEP* qui répond aux exigences de 4.3.5.2, 4.3.5.3 et 4.3.5.3.2 se définit en *protection de classe I*.

La partie d'un *EEP* qui répond aux exigences de 4.3.5.6 se définit en *protection de classe II*.

La partie d'un *EEP* qui répond aux exigences de *TBTS* se définit en *protection de classe III*.

La *protection de classe 0* n'est acceptable pour les parties d'un *EEP* que lorsque les instructions nécessaires sont fournies pour satisfaire aux exigences de 4.3.3.3 (*locaux électriques fermés*) (voir 6.3.6.5). Les *EEP haute tension* font l'objet d'exigences spécifiques (voir 4.3.12).

4.3.5.2 Isolement entre les parties actives et les parties conductrices accessibles

Les parties conductrices accessibles d'un appareil doivent être séparées des *parties actives* au moins par un *isolement principal* ou par les distances d'isolement dans l'air décrites en 4.3.6.4.

4.3.5.3 Circuit de liaison de protection

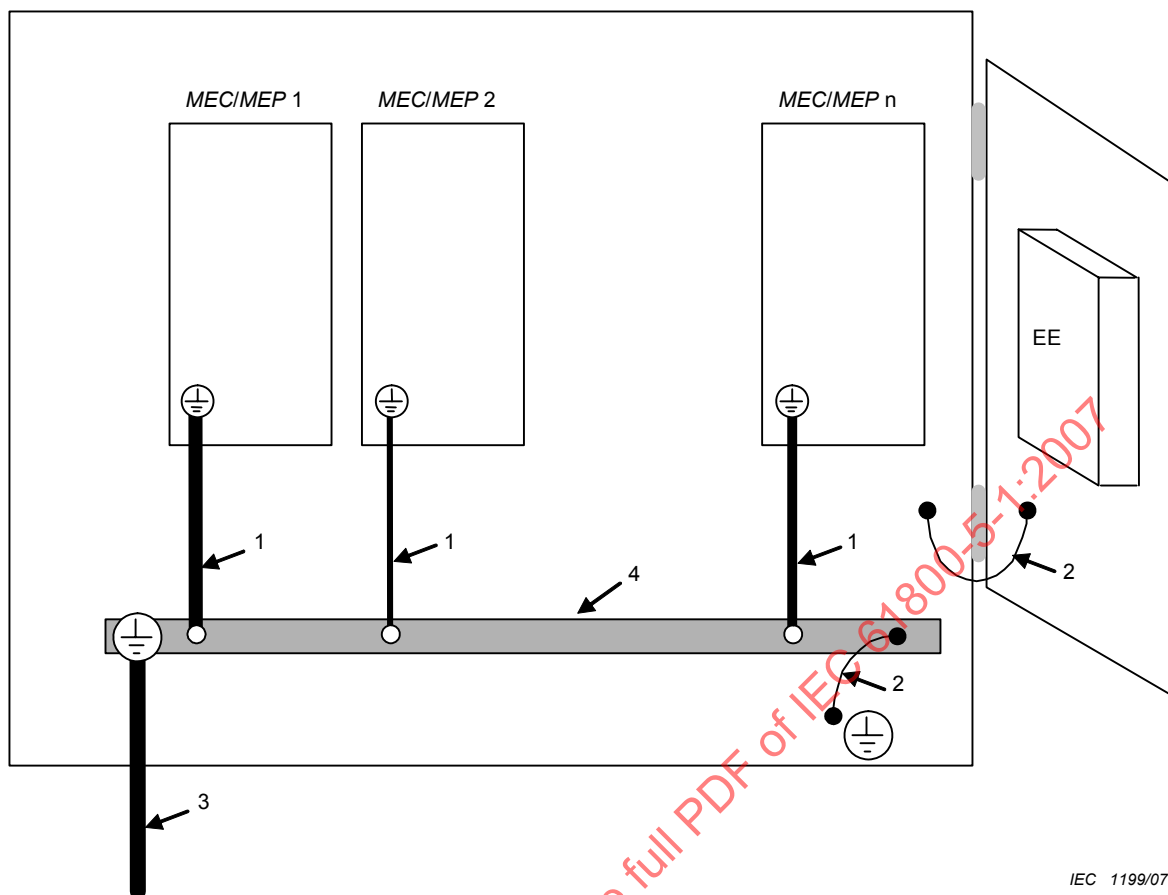
4.3.5.3.1 Généralités

Mis à part les cas a) ou b) ci-dessous, une *liaison de protection* doit être assurée entre les parties conductrices accessibles du matériel et le dispositif de raccordement du *conducteur de mise à la terre de protection*:

- a) lorsque les parties conductrices accessibles sont protégées par l'une des mesures de 4.3.4.2 à 4.3.4.4;
- b) lorsque les parties conductrices accessibles sont séparées des *parties actives* par un *isolement double* ou *renforcé*.

NOTE Certains exemples de telles parties sont les noyaux magnétiques, les vis, les rivets, les étiquettes signalétiques et les colliers pour câble.

Figure 6 montre un assemblage *MEC/MEP* et sa *liaison de protection* associée.



IEC 1199/07

Légende

- 1 conducteur de mise à la terre de protection des MEC/MEP (dimensionné selon les exigences des MEC/MEP)
- 2 liaison de protection
- 3 conducteur de mise à la terre de protection de l'EEP (dimensionné selon les exigences de l'EEP) vers un point de mise à la terre de l'installation
- 4 barre de terre
- EE autre équipement électrique (relié à la masse si cela est approprié pour cet équipement)

Figure 6 – Exemple de liaison de protection

Le contact électrique sur les dispositifs de connexion du *conducteur de mise à la terre de protection* doit être effectué par au moins l'une des méthodes suivantes:

- par l'intermédiaire d'un contact métallique direct;
- par l'intermédiaire d'autres parties conductrices accessibles qui ne sont pas retirées lorsque les EEP/MEC/MEP sont utilisés comme prévu;
- par l'intermédiaire d'un conducteur de *liaison de protection* dédié;
- par l'intermédiaire d'autres composants métalliques des EEP/MEC/MEP.

NOTE Lorsque des surfaces peintes (en particulier des surfaces peintes avec de la poudre) sont jointes ensemble, il convient qu'une connexion séparée soit réalisée pour obtenir un contact fiable.

Lorsque l'équipement électrique est monté sur des couvercles, des portes ou des capots, la continuité du circuit de *liaison de protection* doit être assurée et l'utilisation d'un conducteur dédié est recommandée. Sinon, des fixations, des charnières ou des contacts glissants conçus et maintenus pour avoir une faible résistance doivent être utilisés.

Les conduits métalliques flexibles ou rigides et les gaines métalliques ne doivent pas servir de conducteur de protection.

Pour l'*EEP haute tension*, les conduits ou gaines métalliques de tous les câbles de raccordement (par exemple armatures de câble, gaines en plomb) doivent être raccordés au circuit de *liaison de protection*. Lorsqu'une seule extrémité d'un tel conduit ou gaine est ainsi raccordée, il doit être impossible de toucher l'autre extrémité. Celle-ci doit être raccordée au circuit de *liaison de protection* avec une impédance permettant de limiter toute tension induite à une valeur maximale de 50 V c.a.

Le circuit de *liaison de protection* ne doit pas comprendre de dispositif de coupure ni de dispositif de protection contre la surintensité (par exemple interrupteur, fusible) ou de moyens de détection de courant pour de tels dispositifs.

4.3.5.3.2 Caractéristiques de la liaison de protection

La *liaison de protection* doit résister aux contraintes thermiques et dynamiques les plus élevées susceptibles de se produire sur le ou les éléments de l'*EEP/MEC/MEP* concernés lorsqu'ils sont sujets à un défaut les connectant à des parties conductrices accessibles.

La *liaison de protection* doit rester efficace tant que le défaut sur les parties conductrices accessibles persiste ou jusqu'à ce qu'un dispositif de protection en amont supprime le courant dans ces parties.

NOTE Lorsque la *liaison de protection* est acheminée par l'intermédiaire de conducteurs de faible section (par exemple des pistes de carte de circuit imprimé), il convient de s'assurer tout particulièrement qu'aucun dommage non détecté sur le circuit de liaison ne puisse survenir en cas de défaut.

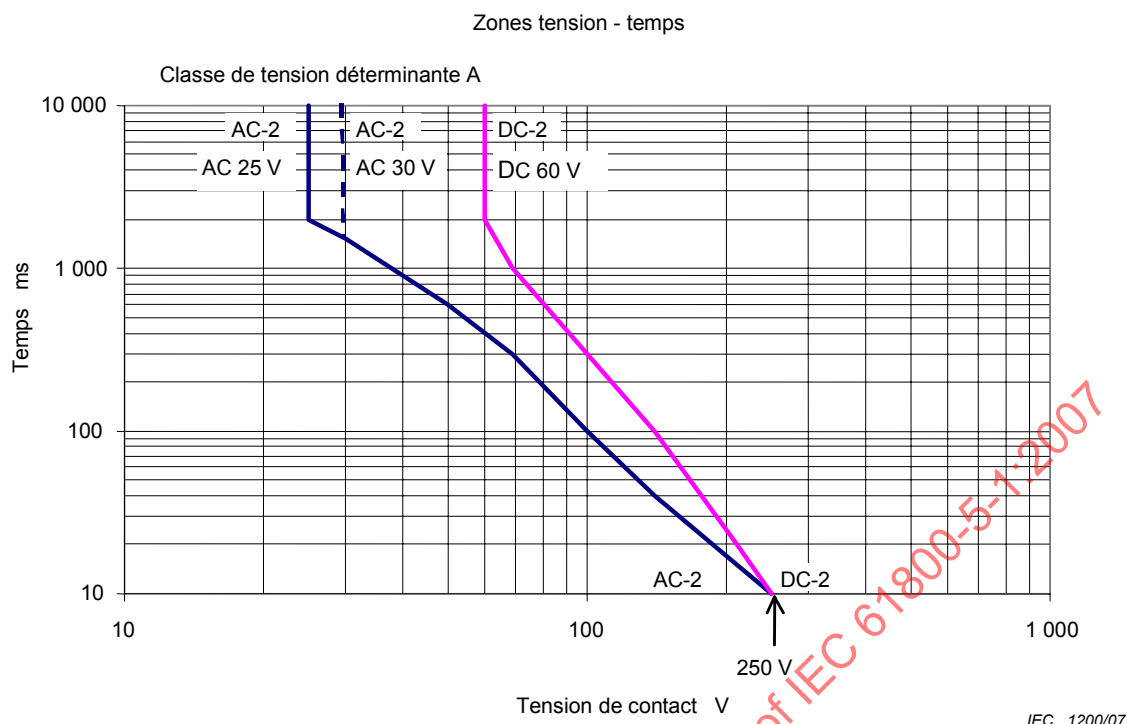
Ces conditions seront satisfaites si la section du conducteur de *liaison de protection* est la même que celle du *conducteur de mise à la terre de protection* selon 4.3.5.4. Pour les essais, voir 5.2.3.9.

Sinon, la *liaison de protection* peut être conçue pour répondre aux exigences d'impédance de 4.3.5.3.3.

4.3.5.3.3 Impédance de la liaison de protection

L'impédance de la *liaison de protection* doit être suffisamment basse pour que:

- en fonctionnement normal, aucune tension dépassant continuellement 5 V c.a. ou 12 V c.c. ne puisse persister entre les parties conductrices accessibles et le moyen de connexion du *conducteur de mise à la terre de protection*,
et
- en conditions de défaut, aucune tension dépassant AC-2 ou DC-2 à Figure 7 ne puisse persister entre les parties conductrices accessibles et le moyen de connexion du *conducteur de mise à la terre de protection* jusqu'à ce qu'un dispositif de protection en amont supprime le courant dans ces parties. Le dispositif de protection en amont concerné par cette exigence doit avoir les caractéristiques requises par le manuel d'installation selon 6.3.7.



NOTE La ligne à tirets de AC-2 ne s'applique que si un seul circuit CTD A est présent; la ligne continue s'applique si plusieurs circuits CTD A sont présents.

Figure 7 – Limites de tension en conditions de défaut

Pour les essais, voir 5.2.3.9.

4.3.5.4 Conducteur de mise à la terre de protection

Un *conducteur de mise à la terre de protection* doit toujours être connecté lorsque les *EEP/MEC/MEP* sont alimentés, sauf si les *EEP/MEC/MEP* sont conformes aux exigences de *protection de classe II* (voir 4.3.5.6). Sauf indication contraire des règlements de câblages locaux, la section du *conducteur de mise à la terre de protection* doit être déterminée à partir du Tableau 5 ou par des calculs établis selon le Paragraphe 543.1 de la CEI 60364-5-54.

Si le *conducteur de mise à la terre de protection* est raccordé par une prise ou tout autre moyen similaire de déconnexion, il ne doit pas être possible de le débrancher tant que la partie à protéger n'est pas mise simultanément hors tension.

Tableau 5 – Section du conducteur de mise à la terre de protection

Section des conducteurs de phase de l'EEP/MEC/MEP S mm ²	Section minimale du conducteur de mise à la terre de protection correspondant S_p mm ²
$S \leq 16$	S
$16 < S \leq 35$	16
$35 < S$	$S/2$

Les valeurs du Tableau 5 ne sont valables que si le *conducteur de mise à la terre de protection* est constitué du même métal que le conducteur de phase. Dans le cas contraire, la section du *conducteur de mise à la terre de protection* doit être déterminée de façon telle que la conductivité soit égale à celle résultant de l'application des valeurs Tableau 5.

La section de chaque *conducteur de mise à la terre de protection* qui ne fait pas partie du câble d'alimentation ou du câble d'armoire ne doit en aucun cas être inférieure à:

- 2,5 mm² en présence d'une protection mécanique, ou
- 4 mm² sans protection mécanique. Pour les appareils connectés par cordon, des dispositions doivent être prises pour que le *conducteur de mise à la terre de protection* du cordon, en cas de détérioration du mécanisme anti-traction, soit le dernier conducteur à être interrompu.

Pour les topologies de systèmes spéciaux, comme les moteurs à 6 phases, le concepteur de l'*EEP* doit vérifier la section exigée pour le *conducteur de mise à la terre de protection*.

4.3.5.5 Dispositifs de raccordement du *conducteur de mise à la terre de protection*

4.3.5.5.1 Généralités

Chaque *EEP* ou élément d'*EEP* (moteur, convertisseur, transformateur) nécessitant un raccordement à la terre par une *liaison de protection* doit posséder un dispositif pour raccorder le *conducteur de mise à la terre de protection* situé à proximité des bornes des conducteurs actifs associés. Les dispositifs de raccordement doivent être résistants à la corrosion et adaptés aux câbles du Tableau 5 ainsi qu'aux câbles conformes aux règles de raccordement applicables à l'*installation*. Les dispositifs de raccordement du *conducteur de mise à la terre de protection* ne doivent ni être utilisés en tant que partie de l'assemblage mécanique de l'appareil ni pour d'autres raccordements. Un dispositif de raccordement séparé doit être prévu pour chaque *conducteur de mise à la terre de protection*.

Pour l'*EEP haute tension*, les blindages de protection des câbles haute tension doivent posséder un dispositif de raccordement à la terre par une *liaison de protection* selon la CEI 60204-11 et la CEI 61800-4. Le concept de *liaison de protection* doit résulter d'un accord entre le fournisseur et l'utilisateur et être cohérent avec les exigences locales du lieu d'*installation*.

Le raccordement et les points de liaison de protection doivent être conçus pour que leur capacité de transport de courant ne soit pas altérée par des influences mécaniques, chimiques ou électromécaniques. En présence d'enveloppes et/ou de conducteurs en aluminium ou alliage d'aluminium, il convient particulièrement de veiller aux problèmes de corrosion électrolytique.

Voir les exigences de marquage en 6.3.6.6.

4.3.5.5.2 Courant de contact en cas de défaut du *conducteur de mise à la terre de protection*

Les exigences de ce paragraphe doivent être satisfaites pour maintenir la sécurité en cas de dommages ou de déconnexion du *conducteur de mise à la terre de protection*.

Pour des *EEP/MEC/MEP* monophasés et connectés par une prise de courant, n'employant pas de connecteur industriel conforme à la CEI 60309, le *courant de contact* (mesuré selon 5.2.3.5) ne doit pas excéder 3,5 mA c.a. ou 10 mA c.c.

Pour tous les autres *EEP/MEC/MEP*, une ou plusieurs des mesures suivantes doivent être appliquées, sauf si le *courant de contact* (mesuré conformément à 5.2.3.5) est inférieur à 3,5 mA c.a. ou 10 mA c.c.

a) Une connexion fixe et:

- une section du *conducteur de mise à la terre de protection* au moins égale à 10 mm² Cu ou 16 mm² Al,

ou

- une déconnexion automatique de l'alimentation en cas de discontinuité du *conducteur de mise à la terre de protection*,

ou

- la présence d'une borne supplémentaire pour un second *conducteur de mise à la terre de protection* de section identique au *conducteur de mise à la terre de protection* d'origine,

ou

- b) un raccordement avec un connecteur industriel conforme à la CEI 60309 et une section minimale du *conducteur de mise à la terre de protection* de 2,5 mm² dans un câble d'alimentation multiconducteur. Un support d'attache approprié doit être fourni.

Pour les exigences de marquage, voir 6.3.6.7.

4.3.5.6 Caractéristiques spéciales des appareils pour une *protection de classe II*

Si l'appareil est conçu pour utiliser un *isolement double* ou *renforcé* entre les *parties actives* et les surfaces accessibles selon 4.3.3.2, l'ensemble est alors considéré comme atteignant la *protection de classe II*, si ce qui suit s'applique également.

- Un appareil conçu pour une *protection de classe II* ne doit pas posséder de dispositifs de raccordement pour le *conducteur de mise à la terre de protection*. Toutefois, cela ne s'applique pas si le *conducteur de mise à la terre de protection* passe au travers de l'appareil jusqu'à l'appareil raccordé en série en aval. Dans ce dernier cas, le *conducteur de mise à la terre de protection* et ses moyens de raccordement doivent être isolés au moyen d'un *isolement principal*, de la surface accessible de l'équipement et des circuits utilisant une *séparation de protection*, une très basse tension, une *impédance de protection* et une énergie de décharge limitée selon 4.3.4. Cet *isolement principal* doit correspondre à la tension nominale de l'appareil raccordé en série.
- Un appareil au corps métallique de *protection de classe II* peut être équipé sur son enveloppe de moyens de raccordement d'un conducteur de liaison équipotentielle.
- Un appareil de *protection de classe II* peut être raccordé à un conducteur de mise à la terre pour des raisons fonctionnelles ou pour l'amortissement des surtensions; ce conducteur doit toutefois être isolé comme s'il était une *partie active*.
- Un appareil de *protection de classe II* doit faire l'objet d'un marquage selon 6.3.6.6.

4.3.6 Isolement

4.3.6.1 Généralités

4.3.6.1.1 Facteurs d'influence

Ce paragraphe fournit les exigences minimales d'isolement, basées sur les principes de la CEI 60664 et la CEI 60071.

Il doit être tenu compte des tolérances de fabrication à la conception et à l'installation des *EEP*.

Pour l'*EEP intégré*, le système d'isolement du moteur doit répondre aux exigences de la partie appropriée de la CEI 60034. Les *MEC/MEP* doivent répondre aux exigences de 4.3.6.

Le choix de l'isolement doit être effectué en tenant compte de l'influence des facteurs suivants:

- degré de pollution;
- catégorie de surtension;
- système de mise à la terre de l'alimentation;

- tension d'isolement;
- emplacement de l'isolement;
- type d'isolement.

La vérification de l'isolement doit être faite selon 5.2.2.1, 5.2.3.1, 5.2.3.2 et 5.2.3.3.

4.3.6.1.2 Degré de pollution

L'isolement, particulièrement lorsqu'il est réalisé par des distances d'isolement dans l'air et des lignes de fuite, est affecté par la pollution qui apparaît pendant la *durée de vie prévue* de l'*EEP*. Les conditions micro-environnementales concernant l'isolement doivent être appliquées selon le Tableau 6.

Tableau 6 – Définitions des degrés de pollution

Degré de pollution	Définition
1	Pas de pollution ou apparition uniquement d'une pollution sèche non-conductrice. La pollution n'a pas d'influence.
2	Normalement, il n'y a apparition que d'une pollution non-conductrice. Occasionnellement, toutefois, une conductivité temporaire causée par la condensation peut être envisagée lorsque l' <i>EEP</i> est hors de fonctionnement.
3	Une pollution conductrice ou une pollution sèche non-conductrice apparaît qui devient conductrice par de la condensation à laquelle on peut s'attendre.
4	La pollution génère une conductivité persistante causée, par exemple, par de la poussière conductrice, de l'eau ou de la neige.

Selon la CEI 61800-1, la CEI 61800-2 et la CEI 61800-4, un *EEP* standard doit être conçu pour un degré de pollution 2. Pour la sécurité, le degré de pollution 3 doit être pris en compte lors de la détermination de l'isolement. Par conséquent, l'*EEP* est utilisable pour des environnements rencontrant les degrés de pollution 1, 2 et 3.

L'isolement peut être déterminé en fonction du degré de pollution 2 si l'une des conditions suivantes s'applique:

- a) des instructions sont fournies avec l'*EEP* indiquant qu'il doit être installé dans un environnement de degré de pollution 2,
ou
- b) l'application spécifique où s'effectue l'installation de l'*EEP* est connue pour être un environnement de degré de pollution 2,
ou
- c) l'enveloppe de l'*EEP* ou les revêtements appliqués dans l'*EEP* selon 4.3.6.8.4.2 ou 4.3.6.8.6 offrent une protection adéquate pour les degrés de pollution 3 et 4 (pollution conductrice et condensation).

Si le fonctionnement en degré de pollution 4 est requis, la protection doit être réalisée au moyen d'une enveloppe adaptée.

4.3.6.1.3 Catégorie de surtension

Le concept des catégories de surtension (basé sur la CEI 60364-4-44 et la CEI 60664-1) est utilisé pour les équipements alimentés par le réseau. Quatre catégories sont concernées:

- la catégorie IV s'applique aux équipements connectés en permanence à la source d'une *installation* (en amont du tableau de distribution principal). Les multimètres, les appareils de protection contre la surintensité au primaire et d'autres appareils connectés directement à des lignes extérieures aériennes en sont des exemples;

- la catégorie III s'applique aux équipements connectés en permanence à des *installations* fixes (en aval et en incluant le tableau de distribution principal). Les dispositifs de commutation et d'autres appareils d'une *installation* industrielle en sont des exemples;
- la catégorie II, quant à elle, s'applique aux équipements non connectés en permanence à l'*installation* fixe. Exemples: les appareils ménagers, les outils portables et d'autres appareils électriques connectés par prise;
- la catégorie I s'applique aux équipements raccordés à un circuit sur lequel des mesures ont été prises pour réduire les surtensions transitoires à un faible niveau.

Annexe B donne des exemples de catégorie de surtension pour les exigences d'isolement.

NOTE Pour l'*EEP* qui n'est pas destiné à être alimenté par le réseau, il convient que la catégorie de surtension appropriée soit déterminée selon les exigences de l'application.

4.3.6.1.4 Systèmes de mise à la terre de l'alimentation

La CEI 60364-1 décrit les trois principaux systèmes de mise à la terre suivants.

- Système TN: possède un point directement à la terre, les parties conductrices accessibles de l'*installation* étant reliées à ce point par des conducteurs de protection. Trois types de systèmes TN, les systèmes TN-C, TN-S et TN-C-S sont définis suivant la disposition des conducteurs de neutre et de protection.
- Système TT: possède un point directement mis à la terre, les parties conductrices accessibles de l'*installation* étant reliées à des prises de terre électriquement distinctes de la prise de terre du système d'alimentation.
- Système IT: toutes les *parties actives* sont isolées de la terre ou un point est relié à la terre par l'intermédiaire d'une impédance, les parties conductrices accessibles de l'*installation* étant raccordées indépendamment ou collectivement au système de mise à la terre.

4.3.6.1.5 Tensions d'isolement

Le Tableau 7 et le Tableau 8 utilisent la *tension système* du circuit à l'étude et la catégorie de surtension pour définir la tension de choc. La *tension système* sert également à définir la *surtension temporaire*.

Tableau 7 – Tension d'isolement des circuits basse tension

Colonne 1	2	3	4	5	6
Tension système (4.3.6.2.1) V	Tension de choc V				Surtension temporaire (crête / efficace) ^a V
	Catégorie de surtension				
	I	II	III	IV	
≤ 50	330	500	800	1 500	1 770 / 1 250
100	500	800	1 500	2 500	1 840 / 1 300
150	800	1 500	2 500	4 000	1 910 / 1 350
300	1 500	2 500	4 000	6 000	2 120 / 1 500
600	2 500	4 000	6 000	8 000	2 550 / 1 800
1 000	4 000	6 000	8 000	12 000	3 110 / 2 200
NOTE 1 L'interpolation n'est pas autorisée.					
NOTE 2 La dernière ligne ne s'applique qu'au système monophasé, ou à la tension phase-phase pour les systèmes triphasés.					
^a Ces valeurs sont issues de la formule (1 200 V + tension système) de la CEI 60664-1.					

Tableau 8 – Tension d'isolement des circuits haute tension

Colonne 1	2	3	4	5	6
Tension système (4.3.6.2.1) V	Tension de choc V Catégorie de surtension				Surtension temporaire (crête / efficace) ^a V
	I	II	III	IV	
> 1 000	4 000	6 000	8 000	12 000	4 250 / 3 000
3 600	9 000 ^a	16 000 ^a	20 000 ^b	40 000 ^b	14 150 / 10 000 ^b
7 200	17 500 ^a	29 000 ^a	40 000 ^b	60 000 ^b	28 300 / 20 000 ^b
12 000	29 000 ^a	42 500 ^a	60 000 ^b	75 000 ^b	39 600 / 28 000 ^b
17 500	40 000 ^a	55 000 ^a	75 000 ^b	95 000 ^b	53 750 / 38 000 ^b
24 000	52 000 ^a	75 000 ^a	95 000 ^b	125 000 ^b	70 700 / 50 000 ^b
36 000	75 000 ^a	95 000 ^a	125 000 ^b	145 000 ^b	99 000 / 70 000 ^b
NOTE L'interpolation est autorisée.					
^a Ces valeurs viennent ou sont extrapolées des Tableaux 4 et 5 de la CEI 62103: 2003.					
^b Ces valeurs viennent ou sont extrapolées du Tableau 2 de la CEI 60071-1:2005.					
^c Cette valeur est issue de la CEI 60146-1-1, Ed.4 (en préparation).					

4.3.6.2 Isolement par rapport à l'environnement

4.3.6.2.1 Généralités

L'isolement *principal*, *supplémentaire* ou *renforcé* entre un circuit et son environnement doit être conçu en fonction de:

- la tension de choc,
ou
- la *surtension temporaire*,
ou
- la *tension de fonctionnement* du circuit.

NOTE 1 Pour les lignes de fuite, la valeur efficace de la *tension de fonctionnement* est utilisée. Pour les distances d'isolement dans l'air et les isolaments solides, la valeur de crête répétitive de la *tension de fonctionnement* est utilisée, comme décrit de 4.3.6.2.2 à 4.3.6.2.4.

NOTE 2 Des *tensions de fonctionnement* combinant des valeurs de crêtes répétitives c.a. et c.c. peuvent être observées sur le bus continu d'un convertisseur à source de tension indirecte ou peuvent être des oscillations amorties d'un circuit écrêteur de thyristor ou encore des tensions internes d'une alimentation à découpage.

La tension de choc et la *surtension temporaire* dépendent de la *tension système* du circuit, et la tension de choc dépend également de la catégorie de surtension, comme décrit dans Tableau 7 (pour les *EEP basse tension*) et le Tableau 8 (pour les *EEP haute tension*).

La *tension système* à la colonne 1 de ces tableaux est la suivante.

- Pour le Tableau 7
 - Dans les systèmes TN et TT: la valeur efficace de la tension nominale entre phase et terre;

NOTE Un réseau avec une phase mise à la terre est un système TN avec une phase à la terre, dans lequel la *tension système* est la valeur efficace de la tension nominale entre une phase non mise la terre et la terre (c'est-à-dire la tension entre phases).

 - Dans les systèmes IT triphasés:
 - pour la détermination de la tension de choc, la valeur efficace de la tension nominale entre une phase et un point neutre artificiel (un raccordement imaginaire entre impédances d'égale valeur et chaque phase);

NOTE Pour la plupart des systèmes, cela équivaut à diviser la tension entre phases par $\sqrt{3}$.

 - pour la détermination de la *surtension temporaire*, la valeur efficace de la tension nominale entre les phases;
 - Dans un système monophasé IT: la valeur efficace de la tension nominale entre les phases.
- Pour le Tableau 8: la valeur efficace de la tension nominale entre les phases.

NOTE 3 Pour les deux tableaux, lorsque la tension d'alimentation est alternative redressée, la *tension système* est la valeur efficace de la source alternative avant le redressement, en tenant compte des systèmes de mise à la terre de l'alimentation.

NOTE 4 Les tensions générées dans l'*EEP* par les secondaires des transformateurs fournissant un isolement galvanique à partir du réseau sont également considérées comme des *tensions système* pour la détermination des tensions de choc.

NOTE 5 Pour les *EEP* équipés de ponts de diodes connectés en série (12 impulsions, 18 impulsions, etc.), la *tension système* est la somme des tensions alternatives des ponts de diodes.

4.3.6.2.2 Circuits connectés directement au réseau

L'isolement entre l'environnement et les circuits qui sont connectés directement au réseau doit être conçu en fonction de la *tension de choc*, de la *surtension temporaire* ou de la *tension de fonctionnement*, selon ce qui répond à l'exigence la plus sévère.

Cet isolement est évalué normalement pour résister aux tensions de choc de catégorie de surtension III, à une exception: la catégorie de surtension IV doit être utilisée quand l'*EEP* est connecté à la source de l'*installation*. La catégorie de surtension II peut être utilisée pour les équipements à prise de courant à usage non industriel sans exigences particulières de fiabilité.

Si des mesures sont utilisées pour réduire les tensions de choc de catégorie IV aux valeurs de catégorie III ou de catégorie III à la catégorie II, l'*isolement principal* ou *supplémentaire* peut être conçu pour ces valeurs réduites. Si les appareils utilisés à cet effet peuvent être endommagés par des surtensions ou des tensions de choc répétées, en diminuant ainsi leur possibilité de réduire les tensions de choc, ils doivent être surveillés et une information sur leur état doit être fournie. Pour les applications de basse tension, la CEI 61643-12 fournit des informations sur la sélection et l'utilisation de tels appareils.

Les exigences d'*isolement double* ou *renforcé* ne doivent pas être réduites lorsque des mesures sont prises pour réduire les tensions de chocs.

NOTE Les circuits qui sont connectés au réseau via des *impédances de protection*, selon 4.3.4.3, ou par des dispositifs de limitation de tension, selon 4.3.4.4, ne sont pas considérés comme directement connectés au réseau.

4.3.6.2.3 Circuits non connectés directement au réseau

L'isolement entre l'environnement et les circuits alimentés par un transformateur fournissant un isolement galvanique à partir du réseau doit être conçu conformément à: a) la tension de choc déterminée en utilisant la tension secondaire du transformateur comme *tension système*; ou b) la *tension de fonctionnement*, selon celle qui répond à l'exigence la plus sévère.

Cet isolement est évalué normalement pour résister aux tensions de choc de catégorie de surtension II, à une exception: la catégorie de surtension III doit être utilisée quand l'*EEP* est connecté à la source de l'*installation*.

Si des mesures sont utilisées pour réduire les chocs de surtension de catégorie III aux valeurs de la catégorie II ou, pour les *EEP basse tension* uniquement, aux valeurs de la catégorie II à la catégorie I, l'*isolement principal* ou *supplémentaire* peut être conçu pour ces valeurs réduites. Si les appareils utilisés à cet effet peuvent être endommagés par des surtensions ou des tensions de choc répétées, en diminuant ainsi leur possibilité de réduire les tensions de choc, ils doivent être surveillés et une information sur leur état doit être fournie. Pour les applications basse tension, la CEI 61643-12 fournit des informations sur la sélection et l'utilisation de tels appareils.

Les exigences d'*isolement double* ou *renforcé* ne doivent pas être réduites lorsque des mesures sont prises pour réduire les tensions de chocs.

L'isolement entre l'environnement et les circuits de *CTDA* ou B, alimentés par un transformateur à une fréquence autre que celle du réseau, ou alimentés par d'autres dispositifs fournissant une isolation galvanique à partir du réseau, doit être évalué en fonction de la *tension de fonctionnement* (crête répétitive) du circuit.

4.3.6.2.4 Isolement entre les circuits

L'isolement entre deux circuits doit être conçu en fonction du circuit ayant les exigences les plus sévères.

4.3.6.3 Isolement fonctionnel

Pour des parties ou des circuits qui ne sont pas affectés de manière significative par des transitoires externes, un *isolement fonctionnel* doit être conçu en fonction de la *tension de fonctionnement* appliquée à l'isolement.

Pour des parties ou des circuits qui sont affectés de manière significative par des transitoires externes, l'*isolement fonctionnel* doit être conçu en fonction de la tension de choc de la catégorie de surtension II, mais la catégorie de surtension III doit être utilisée lorsque l'*EEP* est connecté à la source de l'*installation*.

Quand des mesures sont utilisées pour réduire les surtensions transitoires dans le circuit de catégorie III à des valeurs de catégorie II ou de catégorie II à la catégorie I, l'*isolement fonctionnel* peut être conçu pour les valeurs réduites.

Lorsque les caractéristiques du circuit peuvent être démontrées par des essais (voir 5.2.3.1) pour réduire les tensions de choc, l'*isolement fonctionnel* peut être conçu pour la tension de choc la plus élevée se produisant dans le circuit pendant les essais.

4.3.6.4 Distances d'isolement dans l'air

4.3.6.4.1 Détermination

Le Tableau 9 définit les distances d'isolement dans l'air minimales exigées pour satisfaire à un *isolement fonctionnel*, *principal* ou *supplémentaire* (voir l'Annexe C pour des exemples de distances d'isolement dans l'air).

Les distances d'isolement dans l'air utilisées à des altitudes comprises entre 2 000 m et 20 000 m doivent être calculées en appliquant un facteur de correction selon le Tableau A.2 de la CEI 60664-1, qui est reproduit au Les distances dans l'air sont fonction de la pression atmosphérique, selon la loi de Paschen. Les distances dans l'air fournies dans le Tableau 9 sont valables jusqu'à 2 000 m au-dessus du niveau de la mer. Il faut que les distances dans l'air au-dessus de 2 000 m soient multipliées par le facteur fourni dans le Tableau D.1.

Tableau D.1.

Pour déterminer les distances d'isolement dans l'air pour l'*isolement renforcé* du Tableau 9:

- pour les *EEP basse tension*, on doit utiliser la valeur correspondant à la tension de choc la plus élevée suivante, ou 1,6 fois la *surtension temporaire*, ou deux fois la *tension de fonctionnement*;
- pour les *EEP haute tension*, on doit utiliser la valeur correspondant à 1,6 fois la tension de choc, la *surtension temporaire* ou la *tension de fonctionnement*.

Les distances d'isolement dans l'air pour un *isolement renforcé* entre des circuits connectés directement au réseau et d'autres circuits ne doivent pas être réduites lorsque des mesures sont prises pour réduire les surtensions transitoires.

La conformité des distances d'isolement doit être vérifiée par une inspection visuelle (voir 5.2.2.1) et, si nécessaire, en effectuant l'essai de tension de choc de 5.2.3.1 et l'essai de tension alternative ou continue de 5.2.3.2.

La Figure E.1 et le Tableau E.1 fournissent des indications pour la détermination des distances dans l'air pour des fréquences supérieures à 30 kHz.

Tableau 9 – Distances d'isolement dans l'air

Colonne 1	2	3	4	5	6
Tension de choc (Tableau 7, Tableau 8, 4.3.6.3) V	Surtension temporaire (valeur crête) pour la détermination de l'isolement entre l'environnement et les circuits ou tension de fonctionnement (crête répétitive) pour la détermination de l'isolement fonctionnel V	Tension de fonctionnement (crête répétitive) pour la détermination de l'isolement entre l'environnement et les circuits V	Distance dans l'air minimale mm		
			Degré de pollution		
			1	2	3
N/A	≤ 110	≤ 71	0,01	0,20 ^a	0,80
N/A	225	141	0,01	0,20	0,80
330	340	212	0,01	0,20	0,80
500	530	330	0,04	0,20	0,80
800	700	440	0,10	0,20	0,80
1 500	960	600	0,50	0,50	0,80
2 500	1 600	1 000	1,5		
4 000	2 600	1 600	3,0		
6 000	3 700	2 300	5,5		
8 000	4 800	3 000	8,0		
12 000	7 400	4 600	14		
20 000	12 000	7 600	25		
40 000	26 000	16 000	60		
60 000	37 000	23 000	90		
75 000	48 000	30 000	120		
95 000	61 000	38 000	160		
125 000	80 000	50 000	220		
145 000	99 000	60 000	270		
NOTE 1 L'interpolation est autorisée.					
NOTE 2 L'Annexe C donne des exemples de distances d'isolement dans l'air.					
NOTE 3 Les distances d'isolement dans l'air pour les <i>surtensions temporaires</i> et les <i>tensions de fonctionnement</i> viennent du Tableau A.1 de la CEI 60664-1. A la colonne 2, la tension est approximativement 80 % de la tension de tenue; à la colonne 3, la tension est approximativement 50 % de la tension de choc.					
^a 0,1 mm sur les cartes de circuit imprimé.					

4.3.6.4.2 Homogénéité du champ électrique

Les dimensions du Tableau 9 correspondent aux exigences d'une distribution non homogène du champ électrique à travers la distance d'isolement dans l'air, qui est la condition normale rencontrée en pratique. Si une distribution homogène du champ électrique est connue et si la tension de choc est égale ou supérieure à 6 000 V pour un circuit connecté directement au réseau ou à 4 000 V au sein d'un circuit, la distance d'isolement dans l'air pour l'*isolement principal* ou *supplémentaire* peut être réduite au minimum à celle indiquée par le Tableau 2, cas B, de la CEI 60664-1. Dans ce cas, toutefois, l'essai de tension de choc de 5.2.3.1 doit être réalisé sur la distance d'isolement dans l'air.

Les distances d'isolement dans l'air pour l'*isolement renforcé* ne doivent pas être réduites pour les champs homogènes.

4.3.6.4.3 Distance d'isolement dans l'air avec des enveloppes conductrices

La distance d'isolement dans l'air entre n'importe quelle *partie active* non isolée et les parois d'une enveloppe métallique doit être conforme à 4.3.6.4.1 après les essais de déformation de 5.2.2.5.

Si la distance d'isolement dans l'air est au moins égale à 12,7 mm et si la distance exigée par 4.3.6.4.1 ne dépasse pas 8 mm, les essais de déformation peuvent ne pas être effectués.

4.3.6.5 Lignes de fuite

4.3.6.5.1 Généralités

Les lignes de fuite doivent être suffisamment importantes pour parer à une dégradation à long terme de la surface des isolants solides, selon le Tableau 10.

Pour un *isolement fonctionnel, principal et supplémentaire*, les valeurs du Tableau 10 s'appliquent directement. Pour un *isolement renforcé*, les distances du Tableau 10 doivent être doublées.

Lorsque la ligne de fuite déterminée à partir du Tableau 10 est inférieure à la distance d'isolement dans l'air exigée par 4.3.6.4.1 ou la distance d'isolement dans l'air déterminée par des essais sur les chocs (voir 5.2.3.1), elle doit être augmentée pour atteindre cette distance d'isolement dans l'air.

Les lignes de fuite doivent être vérifiées par mesure ou par inspection (voir 5.2.2.1) (voir l'Annexe C pour des exemples de lignes de fuite).

La Figure E.2 et le Tableau E.2 fournissent des indications pour la détermination des lignes de fuite pour des fréquences supérieures à 30 kHz.

4.3.6.5.2 Matériaux

Les matériaux isolants sont classés en quatre groupes correspondant à leur indice de résistance au cheminement (IRC) après essais selon le Paragraphe 6.2 de la CEI 60112:

- Groupe I de matériaux isolants $IRC \geq 600$;
- Groupe II de matériaux isolants $600 > IRC \geq 400$;
- Groupe IIIa de matériaux isolants $400 > IRC \geq 175$;
- Groupe IIIb de matériaux isolants $175 > IRC \geq 100$.

Les lignes de fuite d'une carte à circuit imprimé (CCI) exposée à des conditions d'environnement de degré de pollution 3 doivent être déterminées en se basant sur le Tableau 10, Degré de pollution 3, sous «Autres isolants».

Si la ligne de fuite est nervurée, la ligne de fuite du matériau isolant du groupe I peut alors être appliquée en utilisant un matériau isolant du groupe II, de même que peut être appliquée la ligne de fuite du matériau isolant du groupe II en utilisant un matériau isolant du groupe III. La hauteur des nervures doit être au moins de 2 mm, sauf dans le cas d'un degré de pollution 1. L'espacement des nervures doit être égal ou supérieur à la dimension «X» dans le Tableau C.1.

Concernant les matériaux isolants inorganiques, par exemple le verre ou la céramique, qui ne cheminent pas, la ligne de fuite peut être égale à la distance d'isolement dans l'air associée, telle que déterminée dans le Tableau 9.

Tableau 10 – Lignes de fuite (mm)

Colonne 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tension de fonction- nement (efficace) V	CCI ^a		Autres isolants								
	Degré de pollution		Degré de pollution								
	1	2	1	2				3			
	b	c	b	Groupe de matériau isolant				Groupe de matériau isolant			
				I	II	IIIa	IIIb	I	II	IIIa	IIIb
≤ 2	0,025	0,04	0,056	0,35	0,35	0,35	0,35	0,87	0,87	0,87	
5	0,025	0,04	0,065	0,37	0,37	0,37	0,37	0,92	0,92	0,92	
10	0,025	0,04	0,08	0,40	0,40	0,40	0,40	1,0	1,0	1,0	
25	0,025	0,04	0,125	0,50	0,50	0,50	0,50	1,25	1,25	1,25	
32	0,025	0,04	0,14	0,53	0,53	0,53	0,53	1,3	1,3	1,3	
40	0,025	0,04	0,16	0,56	0,80	1,1	1,1	1,4	1,6	1,8	
50	0,025	0,04	0,18	0,60	0,85	1,20	1,20	1,5	1,7	1,9	
63	0,04	0,063	0,20	0,63	0,90	1,25	1,25	1,6	1,8	2,0	
80	0,063	0,10	0,22	0,67	0,95	1,3	1,3	1,7	1,9	2,1	
100	0,10	0,16	0,25	0,71	1,0	1,4	1,4	1,8	2,0	2,2	
125	0,16	0,25	0,28	0,75	1,05	1,5	1,5	1,9	2,1	2,4	
160	0,25	0,40	0,32	0,80	1,1	1,6	1,6	2,0	2,2	2,5	
200	0,40	0,63	0,42	1,0	1,4	2,0	2,0	2,5	2,8	3,2	
250	0,56	1,0	0,56	1,25	1,8	2,5	2,5	3,2	3,6	4,0	
320	0,75	1,6	0,75	1,6	2,2	3,2	3,2	4,0	4,5	5,0	
400	1,0	2,0	1,0	2,0	2,8	4,0	4,0	5,0	5,6	6,3	
500	1,3	2,5	1,3	2,5	3,6	5,0	5,0	6,3	7,1	8,0	
630	1,8	3,2	1,8	3,2	4,5	6,3	6,3	8,0	9,0	10,0	
800	2,4	4,0	2,4	4,0	5,6	8,0	8,0	10,0	11	12,5	e
1 000	3,2	5,0	3,2	5,0	7,1	10,0	10,0	12,5	14	16	
1 250	4,2	6,3	4,2	6,3	9	12,5	12,5	16	18	20	
1 600	f	f	5,6	8,0	11	16	16	20	22	25	
2 000			7,5	10,0	14	20	20	25	28	32	
2 500			10,0	12,5	18	25	25	32	36	40	
3 200			12,5	16	22	32	32	40	45	50	
4 000			16	20	28	40	40	50	56	63	
5 000			20	25	36	50	50	63	71	80	
6 300			25	32	45	63	63	80	90	100	
8 000			32	40	56	81	81	100	110	125	
10 000			40	50	71	100	100	125	140	160	
12 500			50	63	90	125	125	d	d	d	
16 000			63	80	110	150	150				
20 000			80	100	140	200	200				
25 000			100	125	180	250	250				
32 000			125	160	220	320	320				

NOTE L'interpolation est autorisée.

^a Ces colonnes s'appliquent aussi à tous les composants ou parties des cartes à circuit imprimé et aux autres dispositifs ayant un contrôle de tolérance comparable.

^b Tous groupes de matériaux

^c Tous groupes de matériaux sauf IIIb

^d Les valeurs des lignes de fuite ne sont pas déterminées pour cette plage.

^e Les matériaux isolants du groupe IIIb ne sont généralement pas recommandés pour des degrés de pollution 3 supérieurs à 630 V.

^f Au delà de 1 250 V, utiliser les valeurs appropriées des colonnes 4 à 11.

4.3.6.6 Revêtement

Un revêtement peut être utilisé pour isoler, pour protéger une surface contre la pollution et pour autoriser une réduction des lignes de fuite et des distances d'isolement dans l'air (voir 4.3.6.8.4.2 et 4.3.6.8.6).

4.3.6.7 Espacements d'une carte de circuit imprimé pour un *isolement fonctionnel*

Les espacements pour un *isolement fonctionnel* sur une carte de circuit imprimé qui ne satisfont pas à 4.3.6.4 et à 4.3.6.5 sont autorisés lorsque toutes les conditions suivantes sont satisfaites:

- la carte de circuit imprimé a un taux d'inflammabilité de V-0 (voir la CEI 60695-11-10);
- le matériau de base de la carte de circuit imprimé possède un IRC (indice de résistance au cheminement) de 100;
- l'équipement satisfait à l'essai de court-circuit pour les cartes de circuit imprimé (voir 5.2.2.2).

Les lignes de fuite et les distances d'isolement dans l'air des cartes de circuit imprimé pour une *isolation fonctionnelle* à des tensions de fonctionnement inférieures à 80 V (efficace) ou 110 V (crête répétitive) peuvent être évaluées en fonction du degré de pollution 1 si les pistes sont couvertes d'un revêtement adapté.

4.3.6.8 Isolant solide

4.3.6.8.1 Généralités

Les matériaux utilisés comme isolant solide doivent être conçus pour résister aux contraintes qui se produisent. Ces contraintes d'ordre mécanique, électrique, thermique et climatique sont celles qui peuvent survenir en fonctionnement normal. Les matériaux d'isolement doivent aussi résister au vieillissement pendant la *durée de vie prévue* de l'EEP.

Les essais doivent être effectués sur des composants et des sous-ensembles utilisant un isolant solide, afin de vérifier que la phase de conception ou de fabrication n'a pas altéré les performances de l'isolant.

Les composants conformes à la norme d'un produit approprié qui présente des exigences équivalentes à celles de la présente norme ne nécessitent pas d'évaluation séparée. Les assemblages contenant de tels composants doivent être testés en fonction des exigences de la présente norme.

4.3.6.8.2 Exigences sur la capacité en tenue électrique

4.3.6.8.2.1 Isolement principal ou supplémentaire

- Essai avec tension de tenue aux chocs selon 5.2.3.1, colonne 2 ou colonne 4 du Tableau 1919, ou colonne 2 ou 4 du Tableau 2020, selon le cas;
et
- essai en tension alternative ou continue selon 5.2.3.2, colonne 2 du Tableau 21, Tableau 22, ou Tableau 23, selon le cas.

4.3.6.8.2.2 *Isolement double et renforcé*

- Essai avec tension de tenue aux chocs selon 5.2.3.1, colonne 3 ou colonne 5 du Tableau 19, ou colonne 3 ou 5 du Tableau 20, selon le cas;
et

- essai en tension alternative ou continue selon 5.2.3.2, colonne 3 du Tableau 21, Tableau 22, ou Tableau 23, selon le cas;
- et
- essai de décharge partielle en selon 5.2.3.3, si la tension de fonctionnement de crête répétitive appliquée à l'isolant est supérieure à 750 V et si la contrainte de tension sur l'isolant est supérieure à 1 kV/mm.

NOTE La contrainte de tension est la tension de crête répétitive divisée par la distance entre les deux parties de potentiels différents.

L'essai de décharge partielle doit être effectué comme un *essai de type* sur tous les composants, sous-ensembles et cartes de circuit imprimé. De plus, un *essai sur prélèvement* doit être effectué si l'isolement est constitué d'une couche unique de matériau.

Le *double isolement* doit être conçu de façon telle qu'une défaillance de l'*isolement principal* ou de l'*isolement supplémentaire* n'ait pas pour conséquence une réduction des capacités d'isolement de la partie restante de l'isolement.

4.3.6.8.2.3 Isolement fonctionnel

L'*isolement fonctionnel* doit satisfaire aux exigences de 4.3.6.3. Les essais ne sont pas nécessaires, sauf si l'analyse du circuit requise par 4.2 montre que le défaut d'isolement pourrait être dangereux. Dans ce cas, l'isolement doit satisfaire aux exigences et aux essais de l'*isolement principal*.

4.3.6.8.3 Matériau pelliculé ou ruban

4.3.6.8.3.1 Généralités

Le Paragraphe 4.3.6.8.3 concerne l'utilisation des matériaux pelliculés ou des rubans dans des assemblages tels que les composants bobinés et les bus-bars.

L'isolement constitué de matériaux pelliculés (inférieurs à 0,75 mm) ou de ruban est autorisé, à condition qu'il soit protégé contre les dégradations et qu'il ne soit pas soumis à une contrainte mécanique en conditions normales d'utilisation.

Lorsque plusieurs couches d'isolant sont utilisées, ces couches peuvent être composées de matériaux différents.

NOTE 1 Une couche de ruban isolant se chevauchant à plus de 50 % est considérée comme constituant deux couches.

NOTE 2 Un *isolement principal*, *supplémentaire* ou *double* peut être appliqué en tant que système pré assemblé de matériaux minces.

4.3.6.8.3.2 Épaisseur des matériaux supérieure ou égale à 0,2 mm

- L'*isolement principal* ou *supplémentaire* doit être composé d'au moins une couche de matériau satisfaisant aux exigences de 4.3.6.8.1 et de 4.3.6.8.2.1.
- L'*isolement double* doit être composé d'au moins deux couches de matériaux, répondant chacune aux exigences de 4.3.6.8.1, 4.3.6.8.2.1 et aux exigences de décharge partielle de 4.3.6.8.2.2, et les deux couches ensemble doivent satisfaire aux exigences de tension de choc et de tension alternative ou continue de 4.3.6.8.2.2.
- L'*isolement renforcé* doit être composé d'une couche unique de matériau satisfaisant aux exigences de 4.3.6.8.1 et de 4.3.6.8.2.2.

NOTE Les exigences de ce paragraphe indiquent que l'*isolement double* doit avoir au moins une épaisseur de 0,4 mm, alors que l'*isolement renforcé* peut avoir une épaisseur de 0,2 mm.

4.3.6.8.3.3 Épaisseur des matériaux inférieure à 0,2 mm

- L'*isolement principal* ou *supplémentaire* doit être composé d'au moins une couche de matériau satisfaisant aux exigences de 4.3.6.8.1 et de 4.3.6.8.2.1.
- L'*isolement double* doit être composé d'au moins trois couches de matériau. Chaque couche doit satisfaire aux exigences de 4.3.6.8.1 et de 4.3.6.8.2.1, et deux couches ensemble doivent satisfaire aux exigences de 4.3.6.8.2.2.
- L'*isolement renforcé* constitué d'une couche unique de matériau n'est pas autorisé.

4.3.6.8.3.4 Conformité

La conformité est vérifiée par les essais de 5.2.3.1 à 5.2.3.3.

Lorsqu'un composant ou un sous-ensemble utilise des matériaux d'isolation pelliculés, il est permis de réaliser les essais sur le composant plutôt que sur le matériau.

4.3.6.8.4 Cartes à circuits imprimés (CCI)

4.3.6.8.4.1 Généralités

L'isolement entre les couches conductrices des cartes double face, simple ou multicouche et des cartes imprimées à cœur métallique doit satisfaire aux exigences de 4.3.6.8.1. Les *isolements principal, supplémentaire, double* et *renforcé* doivent satisfaire aux exigences appropriées de 4.3.6.8.2.1 ou de 4.3.6.8.2.2. L'*isolement fonctionnel* des cartes à circuit imprimé doit satisfaire aux exigences de 4.3.6.8.2.3.

Concernant les couches internes des cartes à circuit imprimé multicouche, l'isolement entre les pistes adjacentes d'une même couche doit être traité comme:

- une ligne de fuite pour le degré de pollution 1 et une distance d'isolement comme dans l'air (voir exemple C.14 de l'Annexe C);
- ou
- un isolant solide, qui doit satisfaire aux exigences de 4.3.6.8.1 et de 4.3.6.8.2.

4.3.6.8.4.2 Utilisation d'un matériau de revêtement

Un matériau de revêtement utilisé pour fournir un *isolement fonctionnel, principal, supplémentaire* et *renforcé* doit satisfaire aux exigences spécifiées ci-dessous.

Une protection de type 1 (comme définie dans la CEI 60664-3) améliore le microenvironnement des parties protégées. La distance d'isolement dans l'air et la ligne de fuite du Tableau 9 et du Tableau 10 pour un degré de pollution 1 s'appliquent sous cette protection. Entre les deux parties conductrices, il est exigé qu'au moins l'une des deux parties conductrices, ainsi que tout l'espacement entre ces parties, soient couverts par la protection.

La protection de type 2 est considérée comme similaire à un isolant solide. Avec cette protection, les exigences d'un isolant solide spécifiées en 4.3.6.8 sont applicables, et les espacements ne doivent pas être inférieurs à ceux spécifiés dans le Tableau 1 de la CEI 60664-3. Les exigences de distance d'isolement dans l'air et de ligne de fuite dans le Tableau 9 et le Tableau 10 ne s'appliquent pas. Entre deux parties conductrices, il est exigé que ces deux parties, ainsi que l'espacement entre elles, soient couverts par la protection afin qu'il n'existe aucun espace libre entre le matériau de protection, les parties conductrices et les cartes imprimées.

Le matériau de revêtement utilisé pour offrir une protection de type 1 et de type 2 doit être conçu pour résister aux contraintes susceptibles de survenir pendant la *durée de vie prévue* des *EEP/MEC/MEP*. Un *essai de type* sur des cartes de circuit imprimé représentatives doit être effectué selon l'Article 5 de la CEI 60664-3. Pour les essais à basse température (5.7.1), une température de -25°C doit être utilisée, et pour les essais de changement rapide de température (5.7.3): -25°C à $+125^{\circ}\text{C}$.

4.3.6.8.5 Composants bobinés

L'isolement des fils au moyen d'email ou de vernis ne doit pas être employé pour un *isolement principal, supplémentaire, double ou renforcé*.

Les composants bobinés doivent répondre aux exigences de 4.3.6.8.1 et de 4.3.6.8.2.

Le composant lui-même doit satisfaire pleinement aux exigences données en 4.3.6.8.1 et 4.3.6.8.2. Si le composant possède un *isolement double ou renforcé*, l'essai de tension de 5.2.3.2 doit être effectué en *essai individuel de série*.

4.3.6.8.6 Matériaux de remplissage

Un matériau de remplissage peut être utilisé comme isolant solide ou comme revêtement de protection contre la pollution. S'il est utilisé comme isolant solide, il doit satisfaire aux exigences de 4.3.6.8.1 et de 4.3.6.8.2. S'il est utilisé comme protection contre la pollution, les exigences de la protection de type 1 en 4.3.6.8.4.2 s'appliquent.

4.3.6.9 Exigences d'isolement au-dessus de 30 kHz

Lorsque les tensions appliquées à l'isolant ont des fréquences fondamentales supérieures à 30 kHz, les données suivantes s'appliquent. Pour les circuits à basse tension, les indications sont fournies dans la CEI 60664-4.

L'Annexe E contient des organigrammes pour la détermination des distances d'isolement dans l'air et des lignes de fuite sous ces conditions. Pour information, les Tableaux 1 et 2 de la CEI 60664-4 sont également inclus dans l'Annexe E.

4.3.7 Enveloppes

4.3.7.1 Généralités

Les enveloppes métalliques doivent satisfaire aux essais de flexion de 5.2.2.5.2 ou posséder une épaisseur telle que spécifiée en 4.3.7.2 ou en 4.3.7.3.

Les enveloppes ou les parties en polymère dont dépend l'intégrité de l'enveloppe électrique doivent satisfaire aux exigences d'inflammabilité de 4.4.3 et à l'essai de choc de 5.2.2.5.3.

Pour l'*EEP intégré*, l'enveloppe des *MEC/MEP* doit satisfaire aux exigences ci-dessus. L'enveloppe du moteur doit satisfaire aux exigences des parties appropriées de la CEI 60034.

Les enveloppes doivent être adaptées à une utilisation dans leurs environnements prévus. Le fabricant doit spécifier l'environnement prévu (voir 6.3.3) et le degré IP de l'enveloppe (voir 5.2.2.4 pour les essais).

Pour l'*EEP intégré*, la combinaison du moteur et des *MEC/MEP* doit être testée en fonction de leur environnement prévu. Pour les ventilateurs externes et les orifices de vidange du moteur, les exigences de la CEI 60034-5 s'appliquent.

4.3.7.2 Métaux coulés

L'épaisseur des métaux coulés sous pression, sauf dans le cas des trous taraudés pour conduit qui requiert une épaisseur minimale de 6,4 mm, doit:

- ne pas être inférieure à 2,0 mm pour une surface supérieure à 155 cm² ou dont l'une des dimensions est supérieure à 150 mm;
- ne pas être inférieure à 1,2 mm pour une surface inférieure ou égale à 155 cm² et dont aucune dimension n'est supérieure à 150 mm.

La surface soumise à évaluation peut être délimitée par des nervures de renforcement qui subdivisent une plus grande surface.

L'épaisseur de la fonte malléable ou de l'aluminium, du laiton, du bronze ou du zinc coulés en coquille, sauf dans le cas des trous taraudés pour conduit qui requiert une épaisseur minimale de 6,4 mm, doit être:

- d'au moins 2,4 mm pour une surface supérieure à 155 cm² ou dont l'une des dimensions est supérieure à 150 mm;
- d'au moins 1,5 mm pour une surface inférieure ou égale à 155 cm² et dont aucune dimension n'est supérieure à 150 mm.

L'épaisseur minimale d'une enveloppe en métal coulé dans du sable doit être de 3,0 mm, sauf à l'emplacement des trous taraudés pour conduit, qui requiert une épaisseur minimale de 6,4 mm.

4.3.7.3 Tôle

L'épaisseur d'une enveloppe en tôle aux points où le système de câblage doit être raccordé ne doit pas être inférieure à 0,8 mm pour de l'acier nu, à 0,9 mm pour de l'acier zingué et à 1,2 mm pour des métaux non ferreux.

L'épaisseur de l'enveloppe en des points autres que ceux où doit être raccordé le système de câblage ne doit pas être inférieure à celle spécifiée dans le Tableau 11 ou dans le Tableau 12.

En ce qui concerne le Tableau 11 et le Tableau 12, un châssis support est une structure de tôle à profil angulaire, en U ou replié, fixée et ayant les mêmes encombrements extérieurs que la surface de l'enveloppe ainsi que la rigidité en torsion suffisante pour résister aux moments de flexion exercés par la surface de l'enveloppe, lorsqu'elle est soumise à une flexion.

Une structure dont la rigidité est celle d'une structure pourvue d'un châssis comportant des angles ou des profilés en U dispose d'un renfort équivalent. Les constructions ne comportant pas de châssis sont les suivantes:

- les tôles à brides et bords profilés uniques;
- les tôles ondulées ou nervurées;
- les surfaces d'enveloppes non fermement fixées à un châssis, par exemple à l'aide d'attaches à ressort; et
- les surfaces d'enveloppes dont l'un des bords ne repose pas sur le châssis.

**Tableau 11 – Epaisseur des tôles d'enveloppes électriques:
acier au carbone ou acier inoxydable**

Sans châssis support ^a		Avec châssis support ^a		Epaisseur minimale mm
Largeur maximale mm ^b	Longueur maximale mm ^c	Largeur maximale mm ^c	Longueur maximale mm ^c	
100 120	Non limitée 150	160 170	Non limitée 210	0,6 ^d
150 180	Non limitée 220	240 250	Non limitée 320	0,75 ^d
200 230	Non limitée 290	310 330	Non limitée 410	0,9
320 350	Non limitée 460	500 530	Non limitée 640	1,2
460 510	Non limitée 640	690 740	Non limitée 910	1,4
560 640	Non limitée 790	840 890	Non limitée 1 090	1,5
640 740	Non limitée 910	990 1 040	Non limitée 1 300	1,8
840 970	Non limitée 1 200	1 300 1 370	Non limitée 1 680	2,0
1 070 1 200	Non limitée 1 500	1 630 1 730	Non limitée 2 130	2,5
1 320 1 520	Non limitée 1 880	2 030 2 130	Non limitée 2 620	2,8
1 600 1 850	Non limitée 2 290	2 460 2 620	Non limitée 3 230	3,0

^a Voir 4.3.7.3.

^b La largeur représente la plus petite coté d'une pièce rectangulaire en tôle faisant partie d'une enveloppe. Les surfaces voisines d'une enveloppe peuvent avoir des supports communs et n'être faites que d'une seule feuille de tôle.

^c «Non limité» ne s'applique que si la surface possède un bord tombé d'au moins 12,7 mm ou lorsqu'elle est fixée aux surfaces voisines qui ne sont normalement pas démontées en cours d'utilisation.

^d L'épaisseur de la tôle d'une enveloppe destinée à un usage en extérieur ne doit pas être inférieure à 0,86 mm.

**Tableau 12 – Epaisseur des tôles d'enveloppes électriques:
aluminium, cuivre ou laiton**

Sans châssis support ^a		Avec châssis support ^a		Epaisseur minimale mm
Largeur maximale mm ^b	Longueur maximale mm ^c	Largeur maximale mm ^b	Longueur maximale mm ^c	
75 90	Non limitée 100	180 220	Non limitée 240	0,6 ^d
100 125	Non limitée 150	250 270	Non limitée 340	0,75
150 165	Non limitée 200	360 380	Non limitée 460	0,9
200 240	Non limitée 300	480 530	Non limitée 640	1,2
300 350	Non limitée 400	710 760	Non limitée 950	1,5
450 510	Non limitée 640	1 100 1 150	Non limitée 1 400	2,0
640 740	Non limitée 1 000	1 500 1 600	Non limitée 2 000	2,4
940 1 100	Non limitée 1 350	2 200 2 400	Non limitée 2 900	3,0
1 300 1 500	Non limitée 1 900	3 100 3 300	Non limitée 4 100	3,9

^a Voir 4.3.7.3.

^b La largeur représente la plus petite cote d'une pièce rectangulaire en tôle faisant partie d'une enveloppe. Les surfaces voisines d'une enveloppe peuvent avoir des supports communs et n'être faites que d'une seule feuille de tôle.

^c «Non limité» ne s'applique que si la surface possède un bord tombé d'au moins 12,7 mm ou lorsqu'elle est fixée aux surfaces voisines qui ne sont normalement pas démontées en cours d'utilisation.

^d L'épaisseur des parois en aluminium, cuivre ou laiton d'une enveloppe destinée à un usage en extérieur ne doit pas être inférieure à 0,74 mm.

4.3.8 Câblage et raccordements

4.3.8.1 Généralités

Le câblage et les raccordements entre les parties de l'équipement et à l'intérieur de chaque partie doivent être protégés contre tous les dommages mécaniques pendant l'installation. Les isolants, les conducteurs et le cheminement de tous les fils électriques de l'équipement doivent être adaptés aux conditions d'utilisation électriques, mécaniques, thermiques et environnementales. Les conducteurs pouvant se toucher doivent posséder un niveau d'isolement répondant aux exigences de la CTD des circuits correspondants.

La compatibilité avec 4.3.8.2 à 4.3.8.8 doit être vérifiée par une inspection visuelle (voir 5.2.1) de toute la construction et de toutes les fiches techniques, selon le cas.

NOTE Les réflexions électriques dans un câble moteur alimenté par une source à modulation de largeur d'impulsions (MLI) peuvent provoquer l'apparition de fortes tensions sur le câble. Il convient que celles-ci soient prises en considération dans le choix des composants de l'EEP.

4.3.8.2 Cheminement

Le perçage dans la paroi en tôle de l'enveloppe de l'équipement par lequel passent les fils isolés doit posséder un manchon ou œillet lisse et bien arrondi ou doit avoir une surface lisse et bien arrondie là où reposent les câbles, pour réduire tout risque d'abrasion de l'isolant.

Le cheminement du câblage doit éviter tous bords aiguisés ou non ébarbés, tous filetages, ailettes, parties mobiles, tiroirs et parties similaires qui pourraient abriter l'isolant des fils. Le rayon de courbure minimal spécifié par le fournisseur de câble ne doit pas être dépassé.

Les bords des étriers et guides fils, métalliques ou non, utilisés pour le cheminement du câblage interne fixe doivent être lisses et arrondis. L'action de blocage et la surface d'appui doivent être telles que tout frottement ou tout fluage à froid de l'isolement soit impossible. Si l'on utilise des étriers en métal pour des conducteurs dont l'isolement thermoplastique est inférieur à 0,8 mm d'épaisseur, une protection mécanique non conductrice doit être prévue.

4.3.8.3 Codage couleur

Les conducteurs isolés, autres que ceux faisant partie d'une nappe ou d'un câble signal multi-fils, identifiés par une couleur verte avec ou sans une ou plusieurs bandes jaunes ne doivent être utilisés que pour les *liaisons de protection*.

NOTE Le choix du vert ou vert/jaune pour les *liaisons de protection* est couvert par des dispositions réglementaires nationales.

4.3.8.4 Epissures et raccordements

Toutes les épissures et tous les raccordements doivent être assurés mécaniquement et doivent assurer la continuité électrique.

Les connexions électriques doivent être soudées, serties ou effectuées de façon sûre. Un joint soudé, autre qu'un composant sur une carte de circuit imprimé doit, de plus, être sécurisé mécaniquement.

Lorsqu'un câble interne multibrin est connecté par une vis de serrage, l'arrangement du câble doit être tel que des brins libres ne puissent pas faire contact:

- avec d'autres *parties actives* non isolées et n'ayant pas toujours le même potentiel que le fil;
- avec des parties métalliques hors tension.

Lorsque des connexions sont effectuées au moyen de bornes à vis, les connexions résultantes peuvent nécessiter un entretien périodique (serrage). Une référence appropriée doit être donnée dans le manuel de maintenance (voir 6.5.1).

4.3.8.5 Connexions accessibles

Outre les mesures données de 4.3.4.1 à 4.3.4.3, on doit s'assurer que ni une erreur d'insertion ni une inversion de polarité des connecteurs ne peuvent provoquer une tension sur une connexion accessible supérieure à la *CTD A* maximale. Cela s'applique, par exemple, aux sous-ensembles débrochables ou autres dispositifs débrochables qui peuvent être branchés sans l'aide d'un outil (clé) ou qui sont accessibles sans utiliser d'outil. Cela ne s'applique pas à l'appareillage destiné à être installé dans un *local électrique fermé*.

S'il y a lieu, la non-interchangeabilité et la protection contre l'inversion de polarité des connecteurs et des prises doivent être confirmées par un contrôle visuel ainsi que par des essais d'insertion.

4.3.8.6 Interconnexions entre les parties d'un *EEP*

Outre la conformité aux exigences données aux Paragraphes 4.3.8.1 à 4.3.8.5, les moyens fournis pour l'interconnexion des parties d'un *EEP* doivent satisfaire aux exigences suivantes ou à celles de 4.3.8.7.

Les assemblages de câbles et les cordons flexibles fournis pour l'interconnexion entre les parties d'un équipement ou entre les parties d'un système doivent être adaptés au service ou à l'usage auquel ils sont destinés. Les câbles doivent être protégés des dommages physiques dès qu'ils sortent de l'enveloppe et ils doivent être fournis avec des supports d'attache.

Le mauvais alignement des connecteurs mâles et femelles, l'insertion d'un connecteur multipoint mâle dans un connecteur femelle autre que celui destiné à le recevoir et d'autres manipulations de parties qui sont accessibles à l'opérateur ne doivent pas pouvoir provoquer de dégâts matériels ou de risques thermiques, de chocs électriques ou de blessures.

Lorsque des câbles externes d'interconnexion sont terminés par une prise qui se branche sur un réceptacle situé sur une surface externe de l'enveloppe, il ne doit pas y avoir de risque de choc électrique au niveau des contacts accessibles, ni sur la prise, ni sur le réceptacle, lors de la déconnexion.

NOTE Un circuit asservi au câble, mettant hors tension les contacts accessibles lorsque le câble est déconnecté satisfait aux intentions de ces exigences.

4.3.8.7 Raccordement de l'alimentation

Un *EEP* destiné à être raccordé de manière permanente à l'alimentation doit pouvoir être relié au système de câblage en vigueur conformément aux exigences relatives à son site d'installation. Les points de raccordement prévus doivent être disposés de façon appropriée pour interdire toute possibilité de brins de fil libres réduisant l'espacement entre les conducteurs lorsque l'installation est effectuée avec la plus grande attention.

4.3.8.8 Bornes de connexion

4.3.8.8.1 Exigences de construction

Toutes les pièces qui maintiennent le contact et véhiculent le courant doivent être d'un métal ayant la solidité mécanique adéquate.

Les connexions des bornes doivent être telles que les conducteurs puissent être connectés au moyen de vis, de connexions à ressort ou d'autres moyens équivalents de façon à maintenir la pression de contact nécessaire.

Les bornes doivent être réalisées de façon telle que les conducteurs puissent être fixés entre les surfaces appropriées sans dégâts significatifs tant sur les conducteurs que sur les bornes.

Les bornes ne doivent pas permettre un déplacement des conducteurs ou un déplacement d'elles-mêmes ayant pour effet de nuire au bon fonctionnement de l'équipement, et l'isolement ne doit pas être réduit au-dessous de ses valeurs nominales.

Les exigences de ce paragraphe sont satisfaites par l'utilisation de bornes conformes à la CEI 60947-7-1 ou la CEI 60947-7-2, selon le cas.

4.3.8.8.2 Capacité de raccordement

Les bornes doivent pouvoir accueillir les conducteurs spécifiés dans les manuels d'installation et de réparation (voir 6.3.6.4) et les câbles conformément aux règles de câblage applicables à l'installation. Les bornes doivent satisfaire aux essais d'échauffement de 5.2.3.8. Les bornes

doivent également convenir aux câbles ayant au moins une taille deux fois inférieure, selon les valeurs données dans la colonne appropriée du Tableau F.1.

Les valeurs standard de section des conducteurs en cuivre ronds sont indiquées à l'Annexe F, qui donne également la relation approximative entre les dimensions ISO métriques et les calibres AWG/MCM.

4.3.8.8.3 Connexion

Les bornes de raccordement des conducteurs externes doivent être facilement accessibles pendant l'installation.

Les vis et écrous de serrage ne doivent pas servir à fixer d'autres composants, bien qu'ils puissent maintenir les bornes en place ou empêcher leur rotation.

4.3.8.8.4 Espace de courbure des câbles de 10 mm² et plus

Pour les *EEP basse tension*, la distance entre une borne de raccordement au réseau d'alimentation ou entre les parties principales de l'*EEP* (par exemple moteur, transformateur, *MEP/MEC*) et l'obstacle vers lequel est dirigé le fil partant de la borne doit être au moins celle spécifiée dans le Tableau 13.

Tableau 13 – Espace de courbure des fils des bornes à l'enveloppe

Section du fil mm ²	Espace de courbure minimal, borne à enveloppe mm		
	Nombre de fils par borne		
	1	2	3
10 – 16	40	–	–
25	50	–	–
35	65	–	–
50	125	125	180
70	150	150	190
95	180	180	205
120	205	205	230
150	255	255	280
185	305	305	330
240	305	305	380
300	355	405	455
350	355	405	510
400	455	485	560
450	455	485	610

Pour les *EEP haute tension*, l'espace de courbure des fils minimal pour les conducteurs d'interconnexion entre les parties de l'*EEP* ou de raccordement au réseau doit être:

- huit fois le diamètre total pour les conducteurs non blindés,
ou
- 12 fois le diamètre total pour les conducteurs blindés ou recouverts de plomb.

4.3.9 Exigences de court-circuit en sortie

L'*EEP* ne doit pas présenter de risques thermiques, de chocs électriques ou énergétiques dans des conditions de court-circuit à n'importe quelle sortie capable de fournir de la puissance. Dans certains cas, la protection contre les courts-circuits peut être fournie par des mesures externes dont les caractéristiques doivent être spécifiées par le fabricant.

Pour se coordonner avec les dispositifs de protection en amont, le fabricant doit spécifier une valeur nominale maximale *de courant de court-circuit présumé* correspondant à chaque sortie de puissance des *MEC/MEP*. Si des dispositifs de protection ayant des caractéristiques particulières sont nécessaires, ces dernières doivent également être spécifiées.

NOTE La valeur nominale maximale *du courant de court-circuit présumé* se réfère à la capacité de la source d'alimentation qui alimente l'*EEP*.

L'évaluation du court-circuit doit être effectuée selon 5.2.3.6 sur toutes les sorties.

4.3.10 Compatibilité avec les dispositifs de protection à courant différentiel résiduel (DDR) ou de surveillance (RCM)

DDR et RCM sont utilisés pour fournir une protection contre les défauts d'isolement dans certaines *installations* domestiques et industrielles, en plus de ce qui est fourni par l'équipement installé.

Un défaut d'isolement ou un contact direct avec certains types de circuits d'*EEP* peuvent provoquer des courants à composante continue dans le *conducteur mise à la terre de protection* qui, par conséquent, réduisent la capacité d'un DDR ou d'un RCM de type A ou AC (voir la CEI 60755 et la CEI 62020) à fournir cette protection pour un autre équipement de l'*installation*.

L'Annexe G donne des recommandations permettant de choisir le type DDR ou RCM.

L'*EEP* doit satisfaire à l'une des conditions suivantes.

- a) Un *EEP* connecté sur prise monophasé avec un courant d'entrée nominal inférieur ou égal à 16 A, n'employant pas de connecteur industriel selon la CEI 60309, doit être conçu pour que, dans des conditions normales de fonctionnement et en cas de défaillance, il ne réduise pas la capacité du DDR et du RCM de type A à fournir une protection aux autres équipements de l'*installation*.
- b) Pour les *EEP* connectés sur prise autres que ceux cités au point a) avec un connecteur industriel selon la CEI 60309, et les *EEP* disposant d'une connexion fixe, si un courant c.c. peut être présent dans le *conducteur de mise à la terre de protection*, une notice d'avertissement et le symbole ISO 7000-0434 (2004-01) doivent être fournis dans le manuel de l'utilisateur, et le symbole doit être placé sur l'*EEP*.

Voir 6.3.6.7 pour plus d'informations et pour les exigences de marquage.

NOTE Lors de la conception et de la réalisation d'*installations* électriques, il convient de faire attention aux DDR ou aux RCM de Type B. Il convient que tous les DDR ou les RCM en amont d'un DDR ou d'un RCM de type B, jusqu'au transformateur d'alimentation, soient de type B.

4.3.11 Décharge de condensateurs

Les condensateurs à l'intérieur d'un *EEP* doivent être déchargés à une tension inférieure à 60 V ou à une charge résiduelle inférieure à 50 μ C, dans les 5 s suivant la coupure de l'alimentation de l'*EEP*. Si cette exigence ne peut être satisfaite pour des raisons fonctionnelles ou d'autres raisons, les informations et les exigences de marquage de 6.5.2 s'appliquent. Voir 5.2.3.7 pour l'essai.

NOTE Cette exigence s'applique également aux condensateurs utilisés pour la correction du facteur de puissance, le filtrage, etc.

Dans le cas des prises ou des dispositifs similaires pouvant être déconnectés sans utiliser d'outil, le fait de les débrancher découvre les conducteurs (par exemple les broches) et le temps de décharge ne doit pas excéder 1 s. Dans le cas contraire, ces conducteurs doivent être protégés contre le contact direct selon un degré au moins conforme à IPXXB. Lorsque ni le temps de décharge de 1 s ni la protection de niveau minimal IPXXB ne peuvent être satisfaits, on doit employer des dispositifs supplémentaires de coupure ou un dispositif d'alarme approprié.

4.3.12 Conditions d'accès pour l'EEP haute tension

Les parties sous haute tension (transformateur, convertisseur, moteur, etc.) doivent être protégées par une enveloppe conforme à la CEI 60204-11 pour la sécurité des personnes.

a) Conditions de fonctionnement

Un dispositif d'inter verrouillage des portes doit empêcher tout accès à l'intérieur de l'enveloppe de la partie haute tension du convertisseur lorsque le ou les principaux disjoncteurs fournissant la haute tension au circuit sont fermés et si des *parties actives* n'ont pas été reliées à la terre (voir point b)).

b) Accès pour la maintenance – instructions de mise à la terre

La mise à la terre s'effectue après le temps normal de décharge indiqué par le fabricant du convertisseur. On doit s'assurer que cette action est sans danger même en cas de défaillance du circuit de décharge. On doit également prendre soin que sur le côté entrée ou le côté sortie, les capacités parasites des câbles, moteur et/ou transformateur soient aussi déchargées avant que tout accès aux *parties actives* ne soit possible. Les exigences de 4.3.11 s'appliquent.

Des dispositifs de mise à la terre (sectionneurs de terre et/ou câbles de mise à la terre) doivent être fournis en quantité suffisante pour faciliter un travail en toute sécurité sur les *parties actives* de l'équipement HT de l'EEP. Les dispositifs de mise à la terre doivent être conformes aux exigences appropriées de la CEI 62271-102 ou de la CEI 61230. Les contacts de mise à la terre ou un moyen permettant d'indiquer que les contacts des sectionneurs sont fermés doivent être visibles par le personnel de maintenance avant qu'il n'accède à l'équipement.

NOTE Dans certains cas particuliers (par exemple convertisseurs à charge commutée), deux dispositifs de mise à la terre (un côté réseau, un côté charge) peuvent être exigés.

Pour les parties qui ne sont pas directement mises à la terre par un sectionneur de terre, les fabricants de composants doivent fournir les instructions de sécurité pour effectuer la mise à la terre (voir 6.3.6.6).

4.4 Protection contre les risques thermiques

4.4.1 Limitation du risque d'inflammation

Le risque d'inflammation dû à des températures importantes doit être minimisé par le bon choix et la bonne utilisation des composants et par une fabrication adéquate.

Les composants électriques doivent être utilisés de façon telle que leur température maximale de fonctionnement en conditions normales de charge soit inférieure à celle nécessaire à l'inflammation des matériaux environnants avec lesquels il est probable qu'ils entrent en contact. Les limites du Tableau 15 ne doivent pas être dépassées pour les matériaux environnants.

Lorsqu'il n'est pas pratique de protéger les composants contre la surchauffe en condition de défaut, tous les matériaux en contact avec de tels composants doivent être de classe d'inflammabilité V-1, selon la CEI 60695-11-10, ou meilleure.

La conformité à 4.4.2 jusqu'à 4.4.5 doit être confirmée en inspectant les composants et les fiches techniques des matériaux et, si nécessaire, par des essais.

4.4.2 Matériaux isolants

4.4.2.1 Généralités

Un matériau utilisé pour le support direct d'une *partie active* non isolée doit satisfaire aux exigences suivantes.

NOTE Un matériau est habituellement jugé comme en support direct d'une *partie active* non isolée lorsque:

- a) il est en contact physique direct avec la *partie active* non isolée, et
- b) il supporte physiquement ou maintient la position relative de la *partie active* non isolée.

Le matériau isolant doit convenir à la température maximale qu'il atteint telle que déterminée par l'essai d'échauffement de 5.2.3.8. On doit considérer si oui ou non le matériau isolant donne en plus de la solidité mécanique et si oui ou non la partie peut être sujette à des impacts pendant le fonctionnement.

4.4.2.2 Exigences des matériaux

Les matériaux isolants doivent avoir un IRC de 100 ou plus.

Aucune évaluation supplémentaire n'est requise lorsque des matériaux génériques sont utilisés conformément au Tableau 14.

Tableau 14 – Matériaux génériques pour le support direct des parties actives non isolées

Matériau générique	Épaisseur minimale mm	Température maximale ° C
Toute composition moulée à froid	Pas de limite	Pas de limite
Céramique, porcelaine	Pas de limite	Pas de limite
Diallyl phthalate	0,7	105
Epoxy	0,7	105
Mélamine	0,7	130
Mélamine-phénolique	0,7	130
Phénolique	0,7	150
Nylon non rempli	0,7	105
Polycarbonate non rempli	0,7	105
Urée formaldéhyde	0,7	100

Dans les autres cas, le matériau isolant doit être conforme à l'essai de rougeoiement du fil décrit en 5.2.5.2 à une température d'essai de 850 °C. L'autre essai d'inflammation au fil chaud de 5.2.5.3 peut être utilisé.

Lorsqu'un matériau isolant est utilisé dans un dispositif comportant des contacts électriques et qu'il se trouve à une distance inférieure ou égale à 12,7 mm des contacts, il doit être conforme à l'essai d'inflammation par formation d'arc sous courant électrique élevé de 5.2.5.1.

Le fabricant peut fournir des informations en provenance du fournisseur du matériau isolant pour prouver la conformité aux exigences ci-dessus. Dans ce cas, il n'est pas exigé d'essai supplémentaire.

4.4.3 Inflammabilité des matériaux de l'enveloppe

Les matériaux utilisés pour l'enveloppe de l'*EEP* doivent satisfaire aux exigences de 5.2.5.4.

Les métaux, les matières céramiques et le verre trempé résistant à la chaleur, armé ou feuilleté, sont considérés comme satisfaisants sans qu'un essai soit nécessaire.

Les matériaux sont considérés comme satisfaisants sans essai si, pour l'épaisseur minimale utilisée, ils sont de classe d'inflammabilité 5 VA, selon la CEI 60695-11-20.

Les composants bouchant une ouverture dans une enveloppe et qui sont destinés à être installés à cet effet n'ont pas besoin d'être évalués quant aux exigences d'inflammabilité de 5.2.5.4, pourvu qu'ils satisfassent aux aspects d'inflammabilité de la norme de composant CEI applicable.

NOTE Ces composants peuvent être, par exemple, des porte-fusibles, des interrupteurs, des voyants lumineux, des connecteurs et des prises de courant d'appareil.

La conformité se vérifie par une inspection visuelle et, si nécessaire, par des essais.

Le fabricant peut fournir des informations en provenance du fournisseur du matériau isolant pour prouver la conformité aux exigences ci-dessus. Dans ce cas, il n'est pas exigé d'essai supplémentaire.

4.4.4 Limites de température

4.4.4.1 Parties internes

L'équipement et les parties qui le composent ne doivent pas atteindre des températures dépassant celles du Tableau 15 lorsqu'ils sont essayés aux valeurs nominales de l'équipement.

Tableau 15 – Températures maximales mesurées pour les composants et matériaux internes

Matériaux et composants		Méthode thermocouple °C	Méthode résistance °C
1	Conducteurs isolés en caoutchouc ou thermoplastique ^a	75	
2	Bornes client ^b	c	
3	Bus et barrettes ou barres de raccordement	d	
4	Systèmes d'isolement		
	Classe A (105)	105	125
	Classe E (120)	120	135
	Classe B (130)	125	145
	Classe F (155)	135	155
	Classe H (180)	155	175
	Classe N (220)	195	215
5	Composition phénolique ^a	165	
6	Sur matériau résistant nu	415	
7	Condensateur	e	
8	Semi-conducteurs de puissance	f	
9	Carte de circuit imprimé	g	
10	Liquide de refroidissement	h	
^a La limitation sur les compositions à base de phénol et sur les isolants en caoutchouc et thermoplastique ne s'applique pas aux composants qui ont été examinés et qui ont satisfait aux exigences pour des températures supérieures. ^b La température d'une borne de raccordement ou d'une cosse est mesurée au point où il y a le plus grand risque qu'elle entre en contact avec l'isolant d'un conducteur installé en fonctionnement réel. ^c La température maximale de la borne ne doit pas dépasser de 15 °C la température nominale de l'isolant du conducteur ou du câble spécifiée par le fabricant (voir 6.3.6.4). ^d Les températures maximales autorisées sont déterminées par les limitations de température du matériau de support ou de l'isolant des câbles ou d'autres composants. Une température maximale de 140 °C est recommandée. ^e Pour un condensateur, la température maximale spécifiée par le constructeur ne doit pas être dépassée. ^f La température maximale du boîtier doit être la température maximale de boîtier pour la puissance à dissiper spécifiée par le fabricant du semi-conducteur. ^g La température maximale de fonctionnement de la carte de circuit imprimé ne doit pas être dépassée. ^h La température maximale du liquide de refroidissement spécifiée par le fabricant liquide ou déterminée à partir des caractéristiques connues du liquide ne doit pas être dépassée.			

La méthode de résistance pour les mesures de température telles que spécifiées dans Tableau 15 consiste à calculer l'échauffement d'un enroulement en utilisant l'équation suivante:

$$\Delta t = \frac{r_2}{r_1} (k + t_1) - (k + t_2)$$

où

- Δt est l'échauffement;
- r_2 est la résistance à la fin de l'essai (Ω);
- r_1 est la résistance au début de l'essai (Ω);

- t_1 est la température ambiante au début de l'essai (°C);
- t_2 est la température ambiante à la fin de l'essai (°C);
- k a pour valeur 234,5 pour le cuivre, 225,0 pour un conducteur électrique en aluminium de niveau (EC); les valeurs de la constante pour les autres conducteurs doivent être déterminées.

4.4.4.2 Parties externes du MEC

La température maximale des parties extérieures accessibles du MEC doit être en conformité avec le Tableau 16. Il est permis que des parties aient des températures dépassant ces valeurs, mais elles doivent alors être marquées d'un avertissement tel que mentionné en 6.4.3.4. En aucun cas la température des parties accessibles ne doit dépasser 150 °C.

Tableau 16 – Températures maximales mesurées pour les parties externes du MEC

Partie	Matériau	
	Métal °C	Thermoplastique ou verre °C
Dispositifs manipulés par un opérateur (boutons, poignées, interrupteurs, afficheurs, etc.)	55	65
Parties de l'enveloppe accessibles à l'utilisateur occasionnellement	70	80
Parties de l'enveloppe en contact avec les matériaux de construction de l'installation	90	90

4.4.5 Exigences spécifiques pour l'EEP refroidi par liquide

NOTE Les systèmes de refroidissement par caloduc étanche, utilisés pour transférer la chaleur d'un composant chaud vers un radiateur, ne sont pas considérés comme des systèmes à refroidissement par liquide dans cette Norme internationale. Toutefois, il convient que la défaillance possible de tels composants soit prise en compte pendant l'analyse du circuit de 4.2.

4.4.5.1 Liquide de refroidissement

Le liquide de refroidissement spécifié (voir 6.2) doit être adapté aux températures ambiantes prévues. La température du liquide de refroidissement en fonctionnement ne doit pas dépasser la limite spécifiée dans le Tableau 15.

4.4.5.2 Exigences de la conception

4.4.5.2.1 Résistance à la corrosion

Tous les composants des systèmes de refroidissement doivent convenir au liquide de refroidissement spécifié. Ils doivent résister à la corrosion et ne doivent pas se corroder à l'issue d'une action électrolytique ou d'une exposition prolongée au liquide de refroidissement et/ou à l'air.

4.4.5.2.2 Tuyauterie, durites et joints d'étanchéité

La tuyauterie, les durites et les joints d'étanchéité du système de refroidissement doivent être conçus pour empêcher les fuites pendant les excursions de pression au cours de la vie de l'équipement. Tout le système de refroidissement, tuyauterie comprise, doit satisfaire aux exigences de l'essai de pression hydrostatique de 5.2.7.

4.4.5.2.3 Disposition pour la condensation

Lorsqu'une condensation interne se produit pendant le fonctionnement normal ou la maintenance, des mesures doivent être prises pour empêcher la dégradation de l'isolant. Dans les zones où une condensation peut survenir, les distances d'isolement dans l'air et les lignes de fuite doivent être évaluées pour un environnement à degré de pollution au moins égal à 3 (voir Tableau 6), et des dispositions doivent être prises pour empêcher une accumulation d'eau (par exemple en fournissant un drain).

4.4.5.2.4 Fuite du liquide de refroidissement

Des mesures doivent être prises pour empêcher une fuite du liquide de refroidissement sur les *parties actives* au cours du fonctionnement normal, d'une réparation ou du desserrage des tuyaux ou d'autres parties du système de refroidissement pendant *la durée de vie prévue*. Si un mécanisme limiteur de pression est fourni, il doit être situé de telle manière qu'aucune fuite de liquide de refroidissement ne puisse se produire sur les composants actifs lorsqu'il est activé.

4.4.5.2.5 Perte de liquide de refroidissement

La perte du liquide de refroidissement dans le système de refroidissement ne doit pas entraîner de risques thermiques, d'explosion ou de choc électrique. Les exigences de l'essai concernant la perte de liquide de refroidissement décrites en 5.2.4.5.4 doivent être satisfaites.

4.4.5.2.6 Conductivité du liquide de refroidissement

Lorsque du liquide de refroidissement est intentionnellement en contact avec les *parties actives* (par exemple des radiateurs non connectés à la terre), la conductivité du liquide de refroidissement doit être continuellement surveillée et contrôlée, pour éviter une circulation de courant dangereuse dans le liquide de refroidissement.

4.4.5.2.7 Exigences d'isolement pour les tuyaux du liquide de refroidissement

Lorsque le liquide de refroidissement est intentionnellement en contact avec des *parties actives* (par exemple des radiateurs non connectés à la terre), les tuyaux du liquide de refroidissement font partie du système d'isolement. Selon l'emplacement de ces tuyaux, les exigences de 4.3.6 pour un *isolement fonctionnel* ou *principal* ou *une séparation de protection* doivent être appliquées si nécessaire.

4.5 Protection contre les risques énergétiques

4.5.1 Dangers dus à l'énergie électrique

La défaillance de n'importe quel composant à l'intérieur de l'*EEP* ne doit pas libérer l'énergie suffisante pour entraîner des risques, comme par exemple l'expulsion de matière à l'intérieur d'une zone occupée par le personnel.

S'il y a lieu, il convient que l'éventualité d'un transfert d'énergie du moteur de l'*EEP* vers les *MEC/MEP* soit prise en compte lorsque l'équipement entraîné surcharge le contrôle des *MEC/MEP*.

NOTE Il n'y a pas d'essai dans cette partie de la CEI 61800 pour cette exigence.

4.5.2 Risques liés à l'énergie mécanique

4.5.2.1 Généralités

Une défaillance mécanique provoquée par des facteurs de vitesse critique ou des problèmes de torsion peuvent créer un danger pour le personnel de production. Ces considérations s'appliquent à tous les *EEP*, bien que les dangers augmentent de façon significative avec l'augmentation de la taille de l'équipement, comme c'est le cas avec les *EEP haute tension*. Comme ces sujets dépendent de l'application, il n'est pas possible d'inclure des exigences spécifiques dans cette norme.

4.5.2.2 Vitesse de torsion critique

S'il y a lieu, il convient qu'une concertation s'établisse entre le fournisseur des *EEP/MEC/MEP*, celui de l'équipement entraîné, l'installateur et l'utilisateur au sujet de toutes les considérations de vitesse de torsion critique anticipées.

4.5.2.3 Analyse du couple transitoire

L'analyse des couples transitoires est un outil précieux lors de la conception d'un *EEP* pour vérifier les contraintes de torsion sur toute la chaîne mécanique. Par exemple, les conditions de fonctionnement suivantes sont concernées:

- démarrage;
- court-circuit en monophasé ou en triphasé aux bornes d'un moteur à courant alternatif;
- impact de la défaillance possible de commutation d'un *MEC* à courant alternatif;
- impact des harmoniques d'un *MEC* à courant alternatif;
- perte d'alimentation de l'inducteur dans un *MEC* à courant continu;
- court-circuit sur les bornes de l'induit d'un moteur à courant continu.

Si cela est approprié, il convient qu'il y ait concertation avec le fournisseur de l'équipement entraîné et que les informations exigées par 6.3.5.4 soient fournies.

4.5.3 Emission de bruit acoustique

A l'étude. Les exigences pour l'émission de bruit acoustique sont souvent présentes dans les réglementations locales. En l'absence de telles réglementations, il est recommandé que les limites de la CEI 60034-9 soient appliquées.

4.6 Protection contre les contraintes environnementales

Les *EEP/MEC/MEP* ne doivent présenter aucun risque suite aux contraintes environnementales spécifiées. Au minimum, les *EEP/MEC/MEP* doivent satisfaire aux essais d'endurance environnementaux de 5.2.6. Des exigences plus fortes peuvent être spécifiées par le fabricant, auquel cas les essais moins exigeants de cette norme ne seront pas nécessaires.

5 Exigences d'essais

5.1 Généralités

5.1.1 Objectifs et classification des essais

Les essais, tels que définis cet Article 5, sont nécessaires pour démontrer que l'*EEP* est entièrement conforme aux exigences de la présente partie de la CEI 61800. Les essais peuvent être évités si le paragraphe approprié de l'Article 4 relatif aux exigences l'autorise.

Les paragraphes de cet Article 5 décrivent les procédures à adopter pour les essais propres à l'EEP. Les essais sont classés comme suit:

- les *essais de type*;
- les *essais individuels de série*;
- les *essais sur prélèvement*.

Le fabricant et/ou le laboratoire d'essai doivent s'assurer que les valeurs d'environnement (ou d'essai) maximales et/ou minimales spécifiées sont imposées, en ayant déjà pris totalement en compte les tolérances et les incertitudes de mesure.

Avertissement ! Ces essais peuvent créer des situations à risques. Les précautions nécessaires doivent être prises pour éviter toute blessure.

5.1.2 Sélection des échantillons pour les essais

Lors des essais d'une gamme ou d'une série de produits similaires, il n'est pas forcément nécessaire de tester tous les modèles de la gamme. Chaque essai doit être effectué sur un ou plusieurs modèles possédant des caractéristiques mécaniques et électriques qui représentent de façon adéquate toute la gamme pour cet essai particulier.

5.1.3 Séquence d'essais

En général, il n'y a aucune exigence pour que les essais soient effectués dans un ordre donné et il n'est pas non plus nécessaire qu'ils soient tous réalisés sur le même échantillon d'équipement. Toutefois, les critères de réussite de certains essais requièrent qu'ils soient suivis par un ou plusieurs essais supplémentaires.

5.1.4 Conditions de mise à la terre

Le fabricant doit définir les systèmes de mise à la terre (voir 4.3.6.1.4) acceptables pour l'EEP. Les exigences d'essais doivent être déterminées en utilisant le système de mise à la terre le plus défavorable (avec le maximum de contraintes) autorisé par le fabricant. Ces systèmes peuvent inclure:

- neutre à la terre;
- phase à la terre;
- neutre à la terre par une forte impédance;
- isolé (non mis à la terre).

Les systèmes non acceptables doivent être indiqués de la manière suivante:

- systèmes interdits;
- systèmes avec modification des valeurs et/ou des niveaux de sécurité qui doivent être quantifiés par un *essai de type*.

5.1.5 Conformité

La conformité avec la présente partie de la CEI 61800 doit être vérifiée en effectuant les essais appropriés spécifiés dans cet Article 5.

La conformité ne peut être affirmée que lorsque tous les essais appropriés donnent des résultats satisfaisants.

La conformité aux exigences de construction et aux informations devant être fournies par le fabricant doit être vérifiée par un examen, une inspection visuelle et/ou des mesures appropriés.

Dès que des modifications de conception ou de composant ont un impact potentiel sur la conformité, de nouveaux *essais de type* doivent être effectués pour confirmer la conformité. Il est souhaitable que le produit modifié soit identifié, par exemple en utilisant un code de date ou un numéro de série adaptés comme décrit en 6.2.

5.1.6 Vue d'ensemble des essais

Le Tableau donne une vue d'ensemble des *essais de type*, des *essais individuels de série* et des *essais sur prélèvement* des composants/dispositifs électroniques et des *EEP/MEC/MEP*.

Tableau 17 – Vue d'ensemble des essais

Essai	De type	Individuel de série	Echantillonnage	Exigence(s)	Spécification
Inspection visuelle	X	X	X		5.2.1
Essais mécaniques					5.2.2
Distances d'isolement dans l'air et lignes de fuite	X			4.3.6.1, 4.3.6.4, 4.3.6.5	5.2.2.1
Fonctionnement anormal de la CCI	X			4.3.6.7	5.2.2.2
Non-accessibilité	X			4.3.3.3	5.2.2.3
Intégrité de l'enveloppe	X			4.3.7.1	5.2.2.4
Essais de déformation				4.3.6.4.3	5.2.2.5
Flexion	X			4.3.7.1	5.2.2.5.2
Choc	X			4.3.7.1	5.2.2.5.3
Essais électriques				4.3.4.1, 4.3.6.8.2	5.2.3
Tension de choc	X		X	4.3.3.2, 4.3.4.3, 4.3.6.1, 4.3.6.8.2.1, 4.3.6.8.2.2, 4.3.6.8.3	5.2.3.1
Tension alternative ou continue	X	X		4.3.3.2, 4.3.4.3, 4.3.6.1, 4.3.6.8.2.1, 4.3.6.8.2.2, 4.3.6.8.4.2	5.2.3.2
Décharge partielle	X		X	4.3.6.1, 4.3.6.8.2.2, 4.3.6.8.3	5.2.3.3
Impédance de protection	X	X		4.3.4.3	5.2.3.4
Mesure du courant de contact	X			4.3.5.5.2	5.2.3.5
Essai de court-circuit	X			4.3.9	5.2.3.6.3
Défaillance de composants	X			4.2	5.2.3.6.4
Décharge de condensateur	X			4.3.11	5.2.3.7
Echauffement	X			4.3.8.8.2, 4.4.2.1	5.2.3.8
Liaison de protection	X	X		4.3.5.3	5.2.3.9
Essais de fonctionnement anormal				4.2	5.2.4
Perte de phase	X			4.2	5.2.4.4
Ventilateur inopérant	X			4.2	5.2.4.5.2
Filtre colmaté	X			4.2	5.2.4.5.3
Perte du liquide de refroidissement	X			4.4.5.2.5	5.2.4.5.4
Essais de matériaux					5.2.5
Allumage d'un arc à forte intensité	X			4.4.2.2	5.2.5.1
Rougeolement de fil	X			4.4.2.2	5.2.5.2
Allumage avec fil chaud	X			4.4.2.2	5.2.5.3
Inflammabilité	X			4.4.3	5.2.5.4

Tableau 17 – Vue d'ensemble des essais (suite)

Essai	De type	Individuel de série	Echantillonnage	Exigence(s)	Spécification
Essais d'environnement	X			4.6	5.2.6
Chaleur sèche	X			4.6	5.2.6.3.1
Chaleur humide	X			4.6	5.2.6.3.2
Essai de vibration	X			4.6	5.2.6.4
Pression hydrostatique	X	X		4.4.5.2.2	5.2.7

5.2 Spécifications des essais

5.2.1 Inspections visuelles (*essai de type, essai sur prélèvement et essai individuel de série*)

Des inspections visuelles doivent être effectuées:

- comme *essais individuels de série*, pour vérifier les fonctionnalités telles que l'adéquation de l'étiquetage, des avertissements et d'autres aspects relatifs à la sécurité;
- comme critères d'acceptation des *essais de type* individuels, *des essais sur prélèvement* ou *des essais individuels de série*, pour vérifier que les exigences de cette norme ont été satisfaites.

Les inspections individuelles de série peuvent faire partie du processus de production ou d'assemblage.

Avant les *essais de type*, il doit être vérifié que l'*EEP* fourni pour l'essai est tel que prévu eu égard à la tension d'alimentation, aux gammes d'entrée et de sortie, etc.

5.2.2 Essais mécaniques

5.2.2.1 Distances d'isolement dans l'air et lignes de fuite (*essai de type*)

La conformité des distances d'isolement dans l'air et des lignes de fuite avec le Tableau 9 et le Tableau 10 doit être vérifiée par mesurage ou inspection visuelle. Voir l'Annexe C pour des exemples de mesures. Lorsque cette vérification est impossible à effectuer, un essai de tension de choc (voir 5.2.3.1) doit être réalisé entre les circuits concernés.

5.2.2.2 Essai de court-circuit des cartes de circuit imprimé (*essai de type*)

Sur les cartes de circuit imprimé, un *isolement fonctionnel* fourni par des distances plus faibles que celles spécifiées au Tableau 9 et au Tableau 10 (voir 4.3.6.7) doit être soumis à l'*essai de type* tel que décrit ci-dessous.

Un échantillon de l'équipement contenant les cartes de circuit imprimé doit être connecté comme prévu à un circuit d'alimentation électrique calibré et protégé, afin de simuler les conditions d'utilisation finales. Pour le cas d'un *EEP/MEP/MEC* livré sans enveloppe, on peut utiliser une cage en treillis métallique d'une fois et demie les dimensions linéaires de la partie à l'étude pour simuler l'enveloppe.

Du coton hydrophile doit être disposé sur toutes les ouvertures, poignées, brides, tous les joints et autres emplacements similaires sur les côtés extérieurs de l'enveloppe, ainsi que sur la cage grillagée (si elle est utilisée), d'une manière qui n'affecte pas de façon significative le refroidissement.

Les distances d'isolement réduites doivent être court-circuitées une par une, sur des échantillons représentatifs, et le court-circuit doit être maintenu jusqu'à ce qu'aucun autre dommage ne survienne.

A la suite de l'essai de court-circuit sur les cartes de circuit imprimé, les *EEP/MEP/MEC* doivent satisfaire aux conditions suivantes:

- il ne doit y avoir aucune émission de flamme ou de métal fondu;
- l'indicateur en coton hydrophile ne doit pas s'être enflammé;
- le raccordement à la terre ne doit pas être ouvert;
- la porte ou le capot de protection ne doit pas être ouvert(e);
- pendant et après l'essai, les *circuits TBTS* et *TBTP* accessibles ne doivent pas présenter des tensions supérieures aux tensions temporelles de la Figure 7;
- pendant et après l'essai, les *parties actives* à des tensions supérieures à la *classe de tension déterminante A* ne doivent pas devenir accessibles.

Il n'est pas nécessaire que les *EEP/MEP/MEC* fonctionnent après les essais et il est possible que l'enveloppe puisse se déformer. Il est admis que la protection contre la surintensité, partie intégrante des *EEP/MEC/MEP* ou devant être utilisée avec ledit ensemble, puisse s'ouvrir.

5.2.2.3 Essai de non-accessibilité (*essai de type*)

Cet essai est destiné à montrer que les *parties actives* protégées par des enveloppes et autres barrières conformes à 4.3.3.3 ne sont pas accessibles.

Cet essai doit être effectué comme un *essai de type* de l'enveloppe d'un *EEP*, tel que spécifié dans la CEI 60529 pour la classification de l'enveloppe dans le cadre d'une protection contre l'accès aux parties dangereuses. Exception:

- le doigt d'épreuve pour le degré de protection IP3X ne doit pas pénétrer la surface supérieure de l'enveloppe lorsque sa pénétration par rapport à l'axe vertical est de $\pm 5^\circ$ uniquement.

5.2.2.4 Essai d'intégrité de l'enveloppe (*essai de type*)

La classification IP annoncée de l'enveloppe doit être vérifiée. Cet essai doit être effectué comme un *essai de type* de l'enveloppe d'un *EEP*, tel que spécifié dans la CEI 60529 pour la classification de l'enveloppe.

5.2.2.5 Essais de déformation

5.2.2.5.1 Généralités

Les essais de flexion et de choc s'appliquent à l'*EEP* et aux *MEC/MEP* fermés lorsqu'ils sont destinés à fonctionner sans une enveloppe supplémentaire dont l'accès est limité au personnel de maintenance formé. Après la réalisation des essais de flexion (voir 5.2.2.5.2) des enveloppes métalliques et de l'essai de choc (voir 5.2.2.5.3) des enveloppes polymères, les *EEP/MEC/MEP* doivent satisfaire aux essais de 5.2.3.1 et 5.2.3.2 et doivent faire l'objet d'une inspection permettant de vérifier que:

- les *parties actives* ne sont pas devenues accessibles (voir 4.3.3.3);
- les enveloppes ne présentent pas de fissures ou d'ouvertures susceptibles d'entraîner un risque;
- les distances d'isolement dans l'air ne sont pas inférieures aux valeurs autorisées et les autres isollements sont intacts;
- les cloisons ne sont pas endommagées ou desserrées;

- aucune partie mobile susceptible d'entraîner un risque n'est exposée.

Les essais de flexion et de choc doivent être effectués sur le point le plus défavorable du ou des côtés représentatifs de l'enveloppe.

Il n'est pas nécessaire que les *EEP/MEC/MEP* soient opérationnels après les essais et l'enveloppe peut être tellement déformée que sa classification IP originale ne sera pas maintenue.

5.2.2.5.2 Essai de flexion (essai de type)

L'enveloppe doit être solidement maintenue contre un support rigide et soumise à une force constante de 250 N appliquée pendant 5 s par l'extrémité d'une tige ayant une surface plane carrée en acier de 12,7 mm de côté.

Les dommages affectant le revêtement ainsi que les entailles et autres éclats peu importants qui n'altèrent pas la protection contre les chocs électriques ou l'humidité peuvent être ignorés.

5.2.2.5.3 Essai de choc (essai de type)

Un échantillon composé de l'enveloppe ou d'une partie de celle-ci représentant la surface non renforcée la plus large doit être supporté dans sa position normale. Il doit être possible de laisser librement tomber sur l'échantillon une sphère d'acier lisse initialement au repos, d'un diamètre approximatif de 50 mm et d'une masse de 500 g $\pm$ 25 g, sur une hauteur de 1 300 mm. (Les surfaces verticales ne sont pas concernées par cet essai.)

Cette sphère d'acier doit de plus être suspendue à un cordon et balancée comme un pendule afin de lui appliquer un choc horizontal, en la laissant tomber d'une hauteur de 1 300 mm. (Les surfaces horizontales ne sont pas concernées par cet essai.)

Si l'essai de choc au pendule ne convient pas, il est admis de simuler des chocs horizontaux sur des surfaces verticales ou en pente en montant l'échantillon à un angle de 90° par rapport à sa position normale et en appliquant l'essai de choc vertical en lieu et place de l'essai au pendule.

5.2.3 Essais électriques

5.2.3.1 Essai de tension de choc (essai de type et sur prélèvement)

L'essai de tension de choc est réalisé avec une tension ayant une forme d'onde de 1,2/50 μ s (voir la Figure 6 de la CEI 60060-1) et il est destiné à simuler des surtensions d'origine atmosphérique. Il couvre également les surtensions dues aux commutations d'appareillages. Voir le Tableau 18 pour les conditions de l'essai de tension de choc.

Les essais sur les distances d'isolement dans l'air inférieures à celles requises par Tableau 9 et sur l'isolant solide sont effectués comme des *essais de type* en utilisant des tensions appropriées du Tableau 19 ou du Tableau 20.

Les essais sur les composants et dispositifs pour la *séparation de protection* sont effectués comme un *essai de type* et un *essai sur prélèvement* avant que lesdits composants et dispositifs ne soient intégrés à l'*EEP*, en utilisant les tensions de tenue aux chocs énumérées à la colonne 3 ou la colonne 5 du Tableau 19 ou du Tableau 20, selon le cas.

Afin de s'assurer que les dispositifs limiteurs (voir 4.3.6.2.2, 4.3.6.2.3, 4.3.6.3) sont capables de réduire la surtension, les valeurs des colonnes 2 ou 4 du Tableau 19 ou du Tableau 20, selon le cas, doivent être appliquées à l'*EEP* comme un *essai de type*, et les valeurs réduites correspondant à la tension inférieure suivante de la même colonne de ce tableau sont vérifiées.

S'il est nécessaire de tester une distance d'isolement dans l'air conçue pour des altitudes comprises entre 2 000 m et 20 000 m (au moyen du Tableau A.2 de la CEI 60664-1), la tension d'essai appropriée peut être déterminée à partir de la distance d'isolement dans l'air, en utilisant le Tableau 9 à l'envers.

Tableau 18 – Essai de tension de choc

Objet	Conditions d'essai	
Référence de l'essai	Articles 19, 20.1.1 et Figure 6 de la CEI 60060-1; 4.1.1.2.1 de la CEI 60664-1	
Référence des exigences	Selon 4.3.3.2, 4.3.4.2 et 4.3.6	
Conditionnement préalable	Les <i>parties actives</i> appartenant au même circuit doivent être reliées entre elles. Les <i>impédances de protection</i> doivent être déconnectées à moins qu'elles ne doivent être soumises à l'essai. La tension de choc est à appliquer 1) entre le circuit essayé et l'environnement, et 2) entre les circuits à essayer. Les circuits en essai ne sont pas mis sous tension	
Mesure initiale	Selon spécification de l'EEP, du composant ou de l'appareil	
Appareillage d'essai	Générateur d'impulsion 1,2/50 μ s avec une impédance interne effective inférieure ou égale à: 2 Ω pour l'essai des distances d'isolement dans l'air et des limiteurs de tension; et à 500 Ω pour l'essai de l'isolement solide et des composants.	
Mesure et vérification	a)	b)
	Distances d'isolement dans l'air inférieures aux exigences du Tableau 9	<i>Isolement renforcé solide</i>
	Distances d'isolement dans l'air réduites par un limiteur de surtension ou par les caractéristiques du circuit	Distances d'isolement dans l'air, composants et appareils pour la <i>séparation de protection</i>
	<i>Isolement principal</i> ou <i>supplémentaire solide</i>	
	Trois impulsions de 1,2/50 μ s de chaque polarité dans un intervalle ≥ 1 s, tension crête (± 5 %) selon:	
Tension d'essai	colonne 2 ou colonne 4 du Tableau 19 colonne 2 ou colonne 4 du Tableau 20 selon le cas	colonne 3 ou colonne 5 du Tableau 19 colonne 3 ou colonne 5 du Tableau 20 selon le cas
	Quand l'essai est réalisé sur une distance d'isolement dans l'air à une altitude inférieure à 2 000 m, la tension d'essai doit être augmentée selon le Tableau 5 (et 4.1.1.2.1.2) de la CEI 60664-1, qui est reproduit comme Tableau D.2 de la présente Norme internationale.	

L'essai de tension de choc est satisfaisant si aucun claquage, aucun contournement ou aucune décharge disruptive ne se produit. Concernant les composants et dispositifs qui utilisent un isolant solide pour la *séparation de protection*, un essai ultérieur de décharge partielle (voir 5.2.3.3) doit également être effectué avec succès.

Il existe une alternative pour les *EEP haute tension*. L'essai est réussi si

a) trois chocs consécutifs de chaque polarité ont été appliqués et:

- il n'est pas apparu de décharge disruptive,
- ou
- une décharge apparaît dans la partie de l'isolation auto-régénératrice puis neuf chocs supplémentaires ont alors été appliqués sans apparition de décharge disruptive;
- ou

b) 15 chocs consécutifs ont été appliqués pour chaque polarité et:

- le nombre de décharges disruptives sur l'isolation auto-régénératrice ne dépasse pas deux pour chaque série,
- et
- il n'apparaît pas de décharge disruptive sur l'isolation non auto-régénératrice.

Tableau 19 – Tension d'essai de choc pour *EEP basse tension*

Colonne 1	2	3	4	5
<i>Tension système</i> (voir 4.3.6.2.1)	Tension de tenue aux chocs pour l'isolement entre les circuits non connectés directement au réseau d'alimentation et leur environnement selon la catégorie de surtension II		Tension de tenue aux chocs pour l'isolement entre les circuits connectés directement au réseau d'alimentation et leur environnement selon la catégorie de surtension III	
	<i>Isolement principal ou supplémentaire</i>	<i>Renforcé</i>	<i>Isolement principal ou supplémentaire</i>	<i>Renforcé</i>
V	V	V	V	V
≤ 50	500	800	800	1 500
100	800	1 500	1 500	2 500
150	1 500	2 500	2 500	4 000
300	2 500	4 000	4 000	6 000
600	4 000	6 000	6 000	8 000
1 000	6 000	8 000	8 000	12 000
-	Interpolation admise		Interpolation non admise	
	NOTE Les tensions d'essai pour les catégories de surtension I et III peuvent être trouvées de façon similaire à partir du Tableau 7.		NOTE Les tensions d'essai pour les catégories de surtension II et IV peuvent être trouvées de façon similaire à partir du Tableau 7.	

Tableau 20 – Tension d'essai de choc pour *EEP haute tension*

Colonne 1	2	3	4	5
<i>Tension système</i> (voir 4.3.6.2.1)	Tension de tenue aux chocs pour l'isolement entre les circuits et leur environnement selon la catégorie de surtension III		Tension de tenue aux chocs pour l'isolement entre les circuits et leur environnement selon la catégorie de surtension IV	
	<i>Isolement principal ou supplémentaire</i>	<i>Renforcé</i>	<i>Isolement principal ou supplémentaire</i>	<i>Renforcé</i>
V	V	V	V	V
>1 000	8 000	12 800	12 000	19 200
3 600	20 000	32 000	40 000	64 000
7 200	40 000	64 000	60 000	96 000
12 000	60 000	96 000	75 000	120 000
17 500	75 000	120 000	95 000	152 000
24 000	95 000	152 000	125 000	200 000
36 000	125 000	200 000	145 000	232 000
Interpolation admise.				
NOTE Les tensions d'essai pour les catégories de surtension I et II peuvent être trouvées de façon similaire du Tableau 8.				

5.2.3.2 Essai de tension en courant alternatif ou en courant continu (*essai de type et individuel de série*)

5.2.3.2.1 But de l'essai

L'essai est utilisé pour vérifier que les distances d'isolement dans l'air et l'isolement solide des composants et des *EEP/MEC/MEP* assemblés possèdent une rigidité diélectrique appropriée permettant de résister aux conditions de surtension.

5.2.3.2.2 Valeur et type de la tension d'essai

Les valeurs de la tension d'essai sont déterminées dans la colonne 2 ou 3 du Tableau 21, du Tableau 22 ou du Tableau 23, selon que le circuit testé est connecté au réseau d'alimentation basse tension, au réseau d'alimentation haute tension ou n'est pas connecté à un réseau.

La tension d'essai de la colonne 2 est utilisée pour soumettre à l'essai les circuits ayant un *isolement principal*.

La tension d'essai de la colonne 3 doit être appliquée entre les circuits avec une *séparation de protection (isolement double ou renforcé)* pour les *essais de type*. Pour les *essais individuels de série* entre les circuits avec *séparation de protection*, les valeurs de la colonne 2 doivent être appliquées afin de prévenir tout endommagement de l'isolement solide par décharge partielle.

Les valeurs de la colonne 3 doivent s'appliquer à l'EEP avec une protection contre le contact direct selon 4.3.3. L'essai est effectué entre les circuits et les surfaces accessibles de l'EEP, qui sont non conductrices ou conductrices mais non reliées au *conducteur de mise à la terre de protection*.

L'essai de tension doit être effectué avec une tension sinusoïdale de 50 Hz ou 60 Hz. Si le circuit contient des condensateurs, l'essai peut être effectué avec une tension continue égale à la valeur de crête de la tension alternative spécifiée.

Les *essais individuels de série* sont exécutés pour vérifier que les distances d'isolement dans l'air n'ont pas été réduites pendant les opérations de fabrication. Les dispositifs de protection conçus pour réduire les tensions de choc sur les circuits soumis à des essais (voir 4.3.6.2.2 et 4.3.6.2.3) et les circuits appartenant aux circuits de surveillance ou de protection, qui ne sont pas conçus pour supporter la surtension d'essai pendant la durée de l'essai, doivent être déconnectés pour éviter les dommages et pour garantir que la tension de l'essai peut être appliquée sans fausse indication de défaut.

Tableau 21 – Tension d'essai alternative ou continue pour circuits raccordés directement au réseau d'alimentation basse tension

Colonne 1 <i>Tension système</i> (voir 4.3.6.2.1)	2 <i>Tension pour essais de type des circuits avec isolement principal et pour tous les essais individuels de série</i>		3 ^b <i>Tension pour essais de type des circuits avec séparation de protection, et entre les circuits et les surfaces accessibles (non conductrices ou conductrices mais non raccordées à la terre de protection, protection de classe II selon 4.3.5.6)</i>	
	alternatif efficace ^a V	continu V	alternative efficace V	continu V
≤ 50	1 250	1 770	2 500	3 540
100	1 300	1 840	2 600	3 680
150	1 350	1 910	2 700	3 820
300	1 500	2 120	3 000	4 240
600	1 800	2 550	3 600	5 090
1 000	2 200	3 110	4 400	6 220
NOTE Interpolation admise.				
^a Correspondant à 1 200 V + <i>tension système</i> .				
^b Une source de tension avec un courant de court-circuit d'au moins 0,1 selon 5.2.2.2 de la CEI 61180-1 est utilisée pour cet essai.				

Tableau 22 – Tension d'essai alternative ou continue pour circuits raccordés directement au réseau d'alimentation haute tension

Colonne 1 <i>Tension système composée (voir 4.3.6.2.1)</i>	2 ^b <i>Tension pour essais de type des circuits avec isolement principal et pour tous les essais individuels de série</i>		3 ^b <i>Tension pour essais de type des circuits avec séparation de protection, et entre les circuits et les surfaces accessibles (non conductrices ou conductrices mais non raccordées à la terre de protection, protection de classe II selon 4.3.5.6)</i>	
	alternatif efficace ^a	continu	alternative efficace	continu
	V	V	V	V
>1 000	3 000	4 250	4 800	6 800
3 600	10 000	14 150	16 000	22 650
7 200	20 000	28 300	32 000	45 300
12 000	28 000	39 600	44 800	63 350
17 500	38 000	53 700	60 800	85 900
24 000	50 000	70 700	80 000	113 100
36 000	70 000	99 000	112 000	158 400
NOTE Interpolation admise.				
^a Valeurs du Tableau 2 de la CEI 60071-1				
^b Une source de tension avec un courant de court-circuit d'au moins 0,1 selon 5.2.2.2 de la CEI 61180-1 est utilisée pour cet essai.				

Tableau 23 – Tension d'essai alternative ou continue pour circuits non raccordés directement au réseau d'alimentation

Colonne 1 <i>Tension de fonctionnement</i> (crête répétitive) (voir 4.3.6.2.1)	2 ^a <i>Tension pour essais de type des circuits avec isolement principal et pour tous les essais individuels de série</i>		3 ^a <i>Tension pour essais de type des circuits avec séparation de protection, et entre les circuits et les surfaces accessibles (non conductrices ou conductrices mais non raccordées à la terre de protection, protection de classe II selon 4.3.5.6)</i>	
	alternatif efficace ^a	continu	alternative efficace	continu
V	V	V	V	V
≤71	80	110	160	220
141	160	225	320	450
212	240	340	480	680
330	380	530	760	1 100
440	500	700	1 000	1 400
600	680	960	1 400	1 900
1 000	1 100	1 600	2 200	3 200
1 600	1 800	2 600	2 900	4 200
2 300	2 600	3 700	4 200	5 900
3 000	3 400	4 800	5 400	7 700
4 600	5 200	7 400	8 300	11 800
7 600	8 500	12 000	14 000	19 000
16 000	18 000	26 000	29 000	42 000
23 000	26 000	37 000	42 000	59 000
30 000	34 000	48 000	54 000	77 000
38 000	43 000	61 000	69 000	98 000
50 000	57 000	80 000	91 000	130 000
60 000	70 000	99 000	109 000	154 000

NOTE 1 Interpolation admise.

NOTE 2 Les tensions d'essai de ce tableau sont basées sur 80 % de la tension de tenue pour la distance d'isolement dans l'air correspondante du Tableau 9 comme indiqué par le Tableau A.1 de la CEI 60664-1.

^a Une source de tension avec un courant de court-circuit d'au moins 0,1 selon 5.2.2.2 de la CEI 61180-1 est utilisée pour cet essai.

5.2.3.2.3 Exécution de l'essai de tension

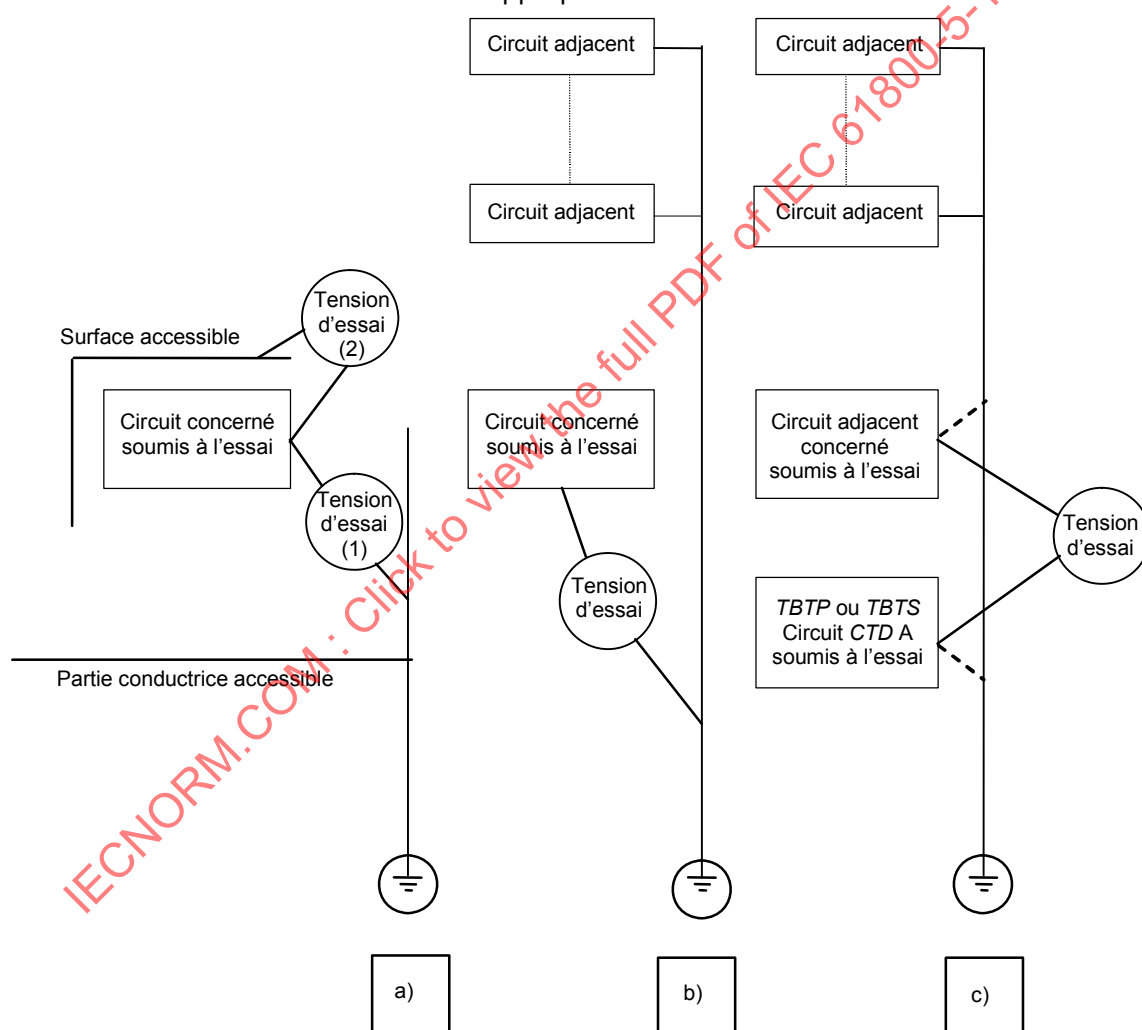
L'essai doit être appliqué comme suit, selon la Figure 8.

- Essai (1) entre la partie conductrice accessible (reliée à la terre) et chaque circuit de manière séquentielle (excepté les circuits *CTD A*). La tension d'essai est conforme au Tableau 21, Tableau 22 ou Tableau 23, colonne 2, et correspond à la tension du circuit concerné soumis à l'essai.

Essai (2) entre la surface accessible (non conductrice ou conductrice mais non reliée à la terre) et chaque circuit de manière séquentielle (excepté les circuits *CTD A*). La tension d'essai est conforme au Tableau 21, Tableau 22 ou Tableau 23, colonne 3 (pour l'essai *de type*) ou colonne 2 (pour l'essai *individuel de série*), et correspond à la tension du circuit concerné soumis à l'essai.
- Essai entre chaque circuit concerné de manière séquentielle et les autres *circuits adjacents* reliés entre eux. La tension d'essai est conforme au Tableau 21, Tableau 22 ou Tableau 23, colonne 2, et correspond à la tension du circuit concerné soumis à l'essai.

- c) Essai entre un circuit de *CTD A* et chaque *circuit adjacent* de manière séquentielle. La tension d'essai est conforme au Tableau 21, Tableau 22 ou Tableau 23, colonne 3 (pour les *essais de type*) ou colonne 2 (pour les *essais individuels de série*), et correspond au circuit ayant la plus forte tension. Le *circuit adjacent* ou le circuit de *CTD A* peut être relié à la terre pour cet essai. Il est nécessaire de tester l'*isolement principal* entre les *circuits TBTP* et *TBTS*, mais il n'est pas nécessaire de tester l'*isolement fonctionnel* entre les *circuits TBTP adjacents* ou les *circuits TBTS adjacents*.

Comme les *circuits TBTP / TBTS* et les circuits de *CTD C* et *D* sont généralement séparés du châssis (terre) par l'*isolement principal*, il est généralement impossible de tester l'*isolement double* ou *renforcé* séparant les circuits basse tension des circuits haute tension dans un *EEP* entièrement assemblé sans surcharger l'*isolement principal*. A cause de cela, il peut être nécessaire de démonter l'*EEP*, ou il peut être impossible d'effectuer des *essais de type* sur l'isolement de protection à des tensions conformes à la colonne 3 du Tableau 21, du Tableau 22 et du Tableau 23. Dans ces cas, l'*essai de type* de l'isolement utilisé pour la *séparation de protection* doit être effectué à des tensions conformes à la colonne 2 du tableau approprié.



IEC 1201/07

Figure 8 – Procédures d'essais de tension

Les essais doivent être effectués avec les portes de l'enveloppe fermées.

Lorsque le circuit est connecté électriquement aux parties conductrices accessibles, l'essai de tension n'est pas pertinent et peut être omis.

Pour créer un circuit continu pour la tension d'essai sur l'*EEP*, les bornes, les contacts ouverts de commutateurs ainsi que les semi-conducteurs de puissance, etc. doivent être pontés si nécessaire. Avant de procéder à l'essai, les semi-conducteurs et autres composants vulnérables à l'intérieur d'un circuit peuvent être déconnectés et/ou leurs bornes peuvent être pontées pour éviter qu'ils ne soient endommagés pendant l'essai.

Dans tous les cas réalisables, les composants individuels formant partie intégrante de l'isolement soumis à l'essai, par exemple les condensateurs de suppression d'interférences, ne doivent pas être déconnectés ou pontés avant l'essai. Dans ce cas, il est recommandé d'utiliser la tension d'essai en courant continu selon 5.2.3.2.2.

Lorsque l'*EEP* est couvert totalement ou partiellement par une surface accessible non conductrice, une feuille conductrice, à laquelle est appliquée la tension d'essai, doit être enroulée autour de cette surface d'essai. Dans ce cas, l'essai d'isolement entre un circuit et une surface accessible non conductrice peut être effectué comme *essai sur prélèvement* en lieu et place d'un *essai individuel de série*.

L'*essai individuel de série* de l'*EEP* assemblé n'est pas nécessaire si:

- l'*essai individuel de série* pour tous les sous-ensembles liés au système d'isolement de l'*EEP* est réalisé
- et
- il peut être démontré que l'assemblage final ne compromettra pas le système d'isolement
- et
- les *essais de type* de tout l'*EEP* assemblé ont été effectués avec succès.

Les *impédances de protection* selon 4.3.4.3 doivent être incluses dans les essais, ou la liaison avec la partie séparée et protégée du circuit doit être ouverte avant de procéder aux essais. Dans ce dernier cas, la connexion doit être rétablie à l'issue de l'essai de tension avec la plus grande prudence afin d'éviter tout endommagement de l'isolement. Les écrans de protection selon 4.3.2 doivent rester reliés aux parties conductrices accessibles pendant l'essai de tension.

Dans le cas de l'*EEP haute tension*, la tension doit être appliquée en utilisant une rampe pouvant atteindre 5 s. De plus, pour l'*EEP haute tension*, si l'essai est requis ou s'il doit être répété, la tension doit être déclassée à 80 % de la tension d'essai d'origine.

5.2.3.2.4 Durée de l'essai de tension en courant alternatif ou en courant continu

La durée de l'essai doit être au moins de 5 s pour l'*essai de type* et de 1 s pour l'*essai individuel de série*. La tension d'essai peut être appliquée avec une rampe de tension croissante et/ou décroissante mais la tension maximale doit être maintenue pendant 5 s et 1 s respectivement pour les *essais de type* et *individuels de série*.

5.2.3.2.5 Vérification de l'essai de tension en courant alternatif ou continu

L'essai est satisfaisant si aucun *claquage électrique* n'intervient pendant l'essai.

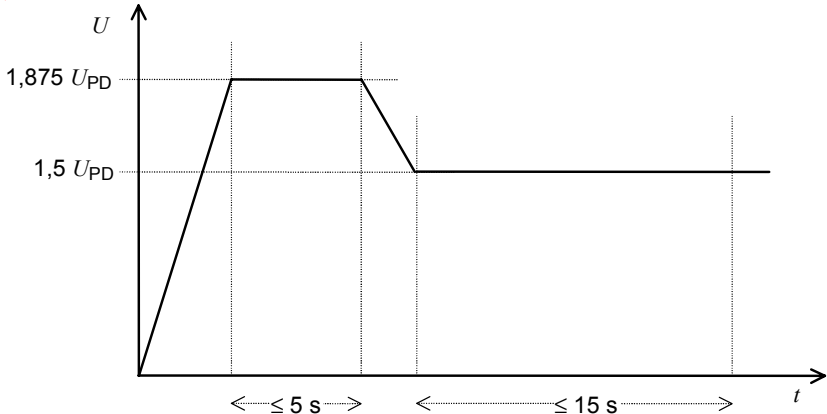
5.2.3.3 Essai de décharge partielle (*essai de type, sur prélèvement*)

L'essai de décharge partielle (voir Tableau 24) doit confirmer que l'isolement solide (voir 4.3.6.8) utilisé dans les composants et les sous-ensembles pour la *séparation de protection* des circuits électriques demeure exempt de toute décharge partielle dans la plage de tensions spécifiée (voir 4.3.6.8).

Cet essai doit être effectué comme *essai de type* et *essai sur prélèvement*. Il peut être supprimé pour les matériaux isolants qui ne sont pas abîmés par des décharges partielles, par exemple la céramique.

Les tensions d'inception et d'extinction de décharge partielle sont influencées par les facteurs climatiques (par exemple température et humidité), l'auto-échauffement des appareillages et la tolérance de fabrication. Ces variables peuvent être importantes dans certaines conditions et doivent par conséquent être prises en compte au cours des *essais de type*.

Tableau 24 – Essai de décharge partielle

Objet	Conditions d'essai
Référence d'essai	4.1.2.4 de la CEI 60664-1
Référence des exigences	4.3.6.8
Conditionnement préalable	Les échantillons doivent être préalablement conditionnés selon la méthode b) de 4.1.2.1 de la CEI 60664-1 Les parties actives appartenant au même circuit doivent être reliées entre elles. Il est recommandé d'effectuer l'essai de décharge partielle après l'essai de tension de choc (voir 5.2.3.1) afin que tout dommage dû à l'essai de tension de choc soit visible. Il est recommandé de réaliser l'essai de décharge partielle avant d'intégrer les composants ou les dispositifs à l'appareillage, du fait que l'essai de décharge partielle n'est normalement pas possible lorsque l'appareillage est assemblé.
Mesure initiale	Selon spécification du composant ou dispositif
Appareillage d'essai	Dispositif de mesure de la charge calibrée ou appareil de mesure des interférences radioélectriques sans filtres de pondération
Circuit d'essai	Article C.1 de la CEI 60664-1
Tension d'essai	La valeur crête de la tension alternative 50 Hz ou 60 Hz
Méthode d'essai	4.1.2.4 de la CEI 60664-1: $F_1 = 1,2$; $F_2, F_3 = 1,25$. Procédure d'essai 4.1.2.4.2 de la CEI 60664-1.
Etalonnage de l'appareillage d'essai	Article C.4 de la CEI 60664-1
Mesure	En commençant avec une valeur inférieure à la tension de décharge nominale U_{PD}^a, la tension doit être augmentée de façon linéaire jusqu'à 1,875 fois U_{PD} et maintenue pendant une durée maximale de 5 s. La tension doit être diminuée de façon linéaire jusqu'à 1,5 fois U_{PD} ($\pm 5\%$) et maintenue pendant une durée maximale de 15 s, au cours de laquelle on mesure la décharge partielle.
Vérification	L'essai doit être considéré satisfaisant si la décharge partielle est inférieure à 10 pC pendant la période de mesure.  IEC 263/03
^a La tension de décharge nominale est la somme des tensions de crête répétitives dans chacun des circuits séparés par l'isolement.	

5.2.3.4 Impédance de protection (essai de type et essai individuel de série)

Un *essai de type* doit être effectué pour vérifier que le courant circulant dans une *impédance de protection*, dans des conditions normales de fonctionnement, ne dépasse pas les valeurs indiquées en 4.3.4.3. L'essai doit être exécuté en utilisant le circuit de la Figure 4 de la CEI 60990.

NOTE La CEI 60990 indique que l'utilisation d'un réseau unique pour les mesures d'un courant alternatif associé à un courant continu n'a pas été étudiée mais aucune suggestion n'est faite pour les mesures dans de tels cas.

La valeur de l'*impédance de protection* doit être vérifiée dans un *essai individuel de série*.

5.2.3.5 Mesure du courant de contact (essai de type)

Le *courant de contact* doit être mesuré pour déterminer si les mesures de protection ne sont pas nécessaires (voir 4.3.5.5.2). L'essai peut être utilisé pour un *MEP* mais le *MEP* doit alors être connecté à un moteur. Le moteur peut être à vide, mais la longueur et le type du câble de moteur indiqués par le fabricant doivent être respectés.

L'*EEP* doit être isolé sans aucune connexion à la terre et doit être utilisé à la tension nominale. Dans ces conditions, le *courant de contact* doit être mesuré entre le dispositif de raccordement du *conducteur de mise à la terre de protection* et le *conducteur de mise à la terre de protection* lui-même, avec le réseau de mesure décrite à la Figure 4 de la CEI 60990.

- Pour un *EEP* à relier à un réseau avec neutre mis à la terre, le neutre du réseau du site d'essai doit être directement relié au *conducteur de mise à la terre de protection*.
- Pour un *EEP* à relier à un réseau isolé ou à un réseau à impédance, le neutre doit être relié par une résistance de 1 k Ω au *conducteur de mise à la terre de protection* qui doit être relié à chaque phase d'entrée tour à tour. La valeur la plus élevée sera considérée comme le résultat définitif.
- Pour un *EEP* devant être relié à un réseau avec une phase mise à la terre, le *conducteur de mise à la terre de protection* doit être relié à chaque phase d'entrée tour à tour. La valeur la plus élevée est considérée comme le résultat définitif.
- Pour un *EEP* avec un système de mise à la terre spécifique, ce système doit fonctionner comme cela a été prévu pendant l'essai.
- Si un *EEP* est destiné à être connecté à plusieurs systèmes, chacun de ces systèmes différents (ou le cas le plus défavorable, si cela peut être déterminé) doit être utilisé pour effectuer les mesures du *courant de contact*.

Cela s'effectue sous forme d'*essai de type*.

5.2.3.6 Essai de court-circuit et essai de défaillance de composants (essais de type)

5.2.3.6.1 Généralités

La protection contre les risques thermiques ou énergétiques et les chocs électriques en cas de court-circuit ou de défaillance d'un composant pour un *MEC/MEP* ou un *EEP* combiné avec son *installation* doit être évaluée par:

- a) les essais définis en 5.2.3.6.3 et 5.2.3.6.4,
ou
- b) un calcul ou une simulation basé(e) sur des essais tels que définis en 5.2.3.6.3 et 5.2.3.6.4 sur un modèle représentatif des *EEP/MEC/MEP*, où aucun dommage autre que l'ouverture de fusibles ou le déclenchement des disjoncteurs ne s'est produit sur l'échantillon d'essai,

NOTE Un modèle représentatif contient un *EEP/MEC/MEP* avec des éléments de puissance similaires (par exemple des semi-conducteurs de puissance, des fusibles, des disjoncteurs, des condensateurs, des circuits de détections de courts-circuits et des inductances de sortie) et des topologies de circuits similaires à ceux de l'*EEP/MEC/MEP* à l'étude.

ou

- c) pour un *EEP haute tension*:

un calcul ou une simulation basé(e) sur des essais d'éléments qui représentent de manière adéquate ceux utilisés dans l'*EEP*. Les éléments, les essais et les conditions d'essais doivent être sélectionnés pour que les résultats des essais soient jugés suffisamment fiables pour être transférés (par exemple en échelonnant de la plus petite puissance à la plus grande) vers les *EEP/MEC/MEP* à l'étude,

ou

- d) pour un *EEP personnalisé*:

l'analyse des risques et des dangers de l'application concernée et l'analyse des caractéristiques de la construction. Voir les exigences pour les informations de mise en service en 6.3.9.

NOTE L'*EEP* personnalisé se base sur les caractéristiques de construction de l'installation pour fournir une protection.

5.2.3.6.2 Configuration des essais

Pour le cas d'un *EEP/MEP/MEC* livré sans enveloppe, une cage en treillis métallique d'une fois et demi les dimensions linéaires de la partie de l'*EEP/MEC/MEP* à l'étude doit être utilisée pour simuler l'enveloppe prévue.

Les *EEP/MEC/MEP* et la cage grillagée (s'il y a lieu) doivent être mis à la terre conformément aux exigences de 4.3.5.3.2.

Du coton hydrophile doit être disposé sur toutes les ouvertures, poignées, brides, tous les joints et autres emplacements similaires sur les côtés extérieurs de l'enveloppe ou autour de la cage grillagée (s'il y a lieu).

Lorsque l'*EEP* soumis à l'essai fait état, dans son manuel d'installation, d'exigences de moyens externes de protection contre les défauts, ces moyens spécifiques doivent être fournis pour l'essai.

Les tensions des circuits *TBTS* et *TBTP* de *CTD A* accessibles doivent être surveillées.

5.2.3.6.2.1 Tension et courant réseau

Les *EEP* prévus pour un courant d'entrée continu doivent être soumis à l'essai à l'aide d'une source de courant continu. Les *EEP* prévus pour un courant d'entrée alternatif doivent être soumis à l'essai à leur fréquence d'entrée nominale.

La tension du circuit de l'alimentation à vide doit être comprise entre 100 % et 105 % de la tension d'entrée nominale. La tension de circuit d'alimentation à vide peut dépasser 105 % de la tension d'entrée nominale sur demande du fabricant.

Pour l'essai de court-circuit, l'alimentation doit être capable de fournir le *courant de court-circuit prévu* spécifié (voir 4.3.9) au point de raccordement de l'*EEP*, sauf si une analyse du circuit montre qu'une valeur inférieure peut être utilisée.

Pour l'essai sur la défaillance de composants, l'alimentation doit être capable de fournir un *courant de court-circuit présumé* compris entre 1 kA et 5 kA, sauf si l'analyse de 4.2 montre qu'une valeur différente est nécessaire.