

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



GROUP SAFETY PUBLICATION
PUBLICATION GROUPEE DE SÉCURITÉ

**Safety requirements for power electronic converter systems and equipment –
Part 1: General**

**Exigences de sécurité applicables aux systèmes et matériels électroniques de
conversion de puissance –
Partie 1: Généralités**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62477-1:2022



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2022 IEC, Geneva, Switzerland

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

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

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

Tel.: +41 22 919 02 11
info@iec.ch
www.iec.ch

About the IEC

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

About IEC publications

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

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

IEC Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

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

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch

Discover our powerful search engine and read freely all the publications previews. With a subscription you will always have access to up to date content tailored to your needs.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary on electrotechnology, containing more than 22 300 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 19 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

A propos de l'IEC

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

A propos des publications IEC

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

Recherche de publications IEC -

webstore.iec.ch/advsearchform

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch

Découvrez notre puissant moteur de recherche et consultez gratuitement tous les aperçus des publications. Avec un abonnement, vous aurez toujours accès à un contenu à jour adapté à vos besoins.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire d'électrotechnologie en ligne au monde, avec plus de 22 300 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 19 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



GROUP SAFETY PUBLICATION
PUBLICATION GROUPEE DE SÉCURITÉ

Safety requirements for power electronic converter systems and equipment – Part 1: General

**Exigences de sécurité applicables aux systèmes et matériels électroniques de
conversion de puissance –
Partie 1: Généralités**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 29.200

ISBN 978-2-8322-2199-0

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

CONTENTS

FOREWORD.....	11
INTRODUCTION.....	14
1 Scope.....	16
2 Normative references	17
3 Terms and definitions	20
4 Protection against hazards	33
4.1 General.....	33
4.2 <i>Single fault conditions and abnormal operating conditions</i>	33
4.3 Short-circuit and overload protection.....	34
4.3.1 General	34
4.3.2 Input short-circuit withstand strength and <i>output short-circuit current</i> ability.....	36
4.3.3 Short-circuit coordination (backup protection)	37
4.3.4 Protection by several devices	37
4.4 Protection against electric shock.....	37
4.4.1 General	37
4.4.2 <i>Decisive voltage class</i>	40
4.4.3 Means for <i>basic protection</i> (protection against direct contact)	44
4.4.4 Means for <i>fault protection</i> (protection against indirect contact)	45
4.4.5 Means for <i>enhanced protection</i>	55
4.4.6 Protective means for equipment classes	56
4.4.7 <i>Insulation</i>	58
4.4.8 Compatibility with residual current-operated protective devices (RCD).....	75
4.4.9 Capacitor discharge.....	76
4.5 Protection against electrical energy hazards	76
4.5.1 <i>General access areas</i>	76
4.5.2 <i>Service access areas</i>	77
4.6 Protection against fire and thermal hazards	77
4.6.1 Circuits representing a fire hazard	77
4.6.2 <i>Components</i> representing a fire hazard	77
4.6.3 <i>Fire enclosures</i>	79
4.6.4 Temperature limits	83
4.6.5 Limited power sources	86
4.7 Protection against mechanical hazards	87
4.7.1 General	87
4.7.2 Specific requirements for liquid cooled <i>PECS</i>	88
4.7.3 Mechanical hazards from rotating parts	89
4.7.4 Sharp edges	90
4.8 <i>PECS</i> with multiple sources of supply	90
4.9 Protection against environmental stresses	91
4.10 Protection against excessive acoustic noise hazards	92
4.11 Wiring and connections.....	93
4.11.1 General	93
4.11.2 <i>Insulation</i> of conductors.....	93
4.11.3 Stranded wire	95
4.11.4 Routing and clamping	95
4.11.5 Identification of conductors and terminals	95

4.11.6	Splices and connections	96
4.11.7	<i>Accessible connections</i>	96
4.11.8	Interconnections between parts of the <i>PECS</i>	97
4.11.9	Supply connections	97
4.11.10	<i>Field wiring terminals</i> and internal terminals	99
4.11.11	Means for shield connection of shielded wire or shielded cable	101
4.12	<i>Enclosures</i>	101
4.12.1	General	101
4.12.2	Handles and manual controls	102
4.12.3	Cast metal	102
4.12.4	Sheet metal	103
4.12.5	Stability requirement for <i>enclosure</i>	105
4.12.6	Strain relief	106
4.12.7	Polymeric <i>enclosure</i> stress relief	106
4.12.8	Polymeric <i>enclosure</i> UV resistance	106
4.13	<i>Components</i>	106
4.13.1	General	106
4.13.2	PTC thermistors	107
4.13.3	<i>Mains supply cords</i>	107
4.13.4	Capacitors and RC units bridging <i>insulation</i>	107
4.13.5	Wound components	107
4.13.6	Plug and socket-outlets	108
4.14	Protection against electromagnetic fields	108
5	Test requirements	108
5.1	General	108
5.1.1	Test objectives and classification	108
5.1.2	Selection of test samples	108
5.1.3	Sequence of tests	108
5.1.4	Earthing conditions	109
5.1.5	General conditions for tests	109
5.1.6	Compliance	110
5.1.7	Test overview	110
5.2	Test specifications	112
5.2.1	<i>Visual inspection (type test and routine test)</i>	112
5.2.2	Mechanical tests	112
5.2.3	Electrical tests	121
5.2.4	<i>Abnormal operation</i> and simulated faults tests	141
5.2.5	Material tests	148
5.2.6	Environmental tests (<i>type tests</i>)	153
5.2.7	Hydrostatic pressure test (<i>type test, routine test</i>)	157
5.2.8	Electromagnetic fields (EMF)	158
6	Information and marking requirements	158
6.1	General	158
6.2	Information for selection	160
6.2.1	General	160
6.2.2	Instructions and markings pertaining to <i>accessories</i>	162
6.3	Information for installation and commissioning	162
6.3.1	General	162
6.3.2	Mechanical considerations	162

6.3.3	Environment	162
6.3.4	Handling and mounting	162
6.3.5	<i>Enclosure</i> temperature	163
6.3.6	<i>Open type PECS</i>	163
6.3.7	Connections	163
6.3.8	Commissioning	165
6.3.9	Protection requirements	165
6.4	Information for intended use	167
6.4.1	General	167
6.4.2	Adjustment	167
6.4.3	Labels, signs, symbols and signals	168
6.4.4	Hot surfaces	170
6.4.5	Control and device marking	170
6.5	Supplementary information	170
6.5.1	Maintenance	170
6.5.2	Capacitor discharge	171
6.5.3	Auto restart/bypass connection	171
6.5.4	Other hazards	171
6.5.5	<i>PECS</i> with multiple sources of supply	171
6.5.6	Replaceable fuses in neutral of single-phase <i>PECS</i>	171
Annex A (normative)	Additional information for protection against electric shock	173
A.1	General	173
A.2	Protection by means of <i>DVC As</i>	173
A.3	Protection by means of <i>protective impedance</i>	173
A.4	Protection by using limited voltages	174
A.5	Evaluation of the <i>working voltage</i> of circuits	175
A.5.1	General	175
A.5.2	Classification of the <i>working voltage</i>	175
A.5.3	<i>AC working voltage</i>	176
A.5.4	<i>DC working voltage</i>	176
A.5.5	<i>Pulsating working voltage</i>	177
A.6	The concept of protective means according to 4.4	178
A.6.1	General	178
A.6.2	Examples of the use of elements of protective means	178
Annex B (informative)	Considerations for the reduction of the <i>pollution degree</i>	180
B.1	General	180
B.2	Factors influencing the <i>pollution degree</i>	180
B.3	Reduction of influencing factors	180
Annex C (informative)	Symbols referred to in this document	181
C.1	Symbols used	181
C.2	Determination of contrast	182
Annex D (normative)	Evaluation of <i>clearance</i> and <i>creepage distances</i>	184
D.1	Measurement	184
D.2	Relationship of measurement to <i>pollution degree</i>	184
D.3	Examples	185
Annex E (normative)	Altitude correction for <i>clearances</i>	191
E.1	Correction factor for <i>clearances</i> at altitudes above 2 000 m	191
E.2	Test voltages for verifying <i>clearances</i> at different altitudes	191

Annex F (normative) <i>Clearance and creepage distance</i> determination for frequencies greater than 30 kHz	193
F.1 General influence of the frequency on the withstand characteristics	193
F.2 <i>Clearance</i>	193
F.2.1 General	193
F.2.2 <i>Clearance</i> for inhomogenous fields	194
F.2.3 <i>Clearance</i> for approximately homogenous fields	195
F.3 <i>Creepage distance</i>	196
F.4 <i>Solid insulation</i>	197
F.4.1 General	197
F.4.2 Approximately uniform field distribution without air gaps or voids	197
F.4.3 Other cases	198
Annex G (informative) Cross-sections of round conductors	199
Annex H (informative) Guidelines for RCD compatibility	200
H.1 Selection of RCD type	200
H.2 Fault current waveforms	201
Annex I (informative) Examples of <i>overvoltage category</i> reduction	204
I.1 General	204
I.2 Protection to the surroundings (see 4.4.7.2)	204
I.2.1 Circuits connected to <i>mains supply</i> (see 4.4.7.2.3)	204
I.2.2 Circuits connected to the <i>non-mains supply</i> (see 4.4.7.2.4)	207
I.2.3 Protection between circuits (see 4.4.7.2.7)	207
I.3 <i>Functional insulation</i> (see 4.4.7.3)	208
I.4 Further examples	208
I.5 Circuits with multiple supplies (see 4.4.7.2.1)	209
Annex J (informative) Burn thresholds for touchable surfaces	210
J.1 General	210
J.2 Burn thresholds	210
Annex K (informative) Table of electrochemical potentials	214
Annex L (informative) Measuring instrument for <i>touch current</i> measurements	215
L.1 Measuring instrument 1	215
L.2 Measuring instrument 2	215
L.3 Measuring instrument 3	216
Annex M (normative) Test probes for determining access	217
Annex N (informative) Guidance regarding short-circuit current	220
N.1 General	220
N.2 Coordination of short-circuit current	221
N.2.1 General	221
N.2.2 <i>Conditional short-circuit current</i> (I_{CC}) and <i>minimum required prospective short-circuit current</i> ($I_{CP, mr}$)	221
N.2.3 <i>Short-time withstand current</i> (I_{CW})	223
N.3 Guidance for specification of short-circuit current and <i>short-circuit protective device</i>	224
N.3.1 General	224
N.3.2 Example 1: Two or more <i>PECS</i> with different ratings	225
N.3.3 Specification of I_{CC}	226
N.3.4 Specification of I_{CW}	226

N.3.5	Example 2: One <i>PECS</i> with more than one rating	227
N.3.6	Additional explanation on terms, definitions and specifications	228
N.4	Short-circuit rating and <i>single fault conditions</i> testing	229
N.4.1	General	229
N.4.2	Exemption from <i>short-time withstand current</i> testing	231
N.5	Guideline for short-circuit analysis	231
Annex O (informative)	Guidelines for determination of <i>clearance</i> and <i>creepage distances</i>	232
O.1	Guideline for determination of <i>clearances</i>	232
O.2	Guideline for determination of <i>creepage distances</i>	233
O.3	Minimum spacings within <i>solid insulation</i> or similar	233
Annex P (informative)	Protection of persons against electromagnetic fields for frequencies from 0 Hz up to 300 GHz	235
P.1	General influence of electromagnetic fields to persons	235
P.1.1	General	235
P.1.2	Low-frequency electric fields effects (1 Hz to 100 kHz)	235
P.1.3	Low-frequency magnetic fields effects (1 Hz to 100 kHz)	235
P.1.4	Low-frequency electric and magnetic fields effects	235
P.1.5	High-frequency electromagnetic fields effects (100 kHz to 300 GHz)	235
P.1.6	Current knowledge on low-level effects	236
P.1.7	Biological effects versus adverse health effects	236
P.1.8	Influence of EMF on passive and active medical implants	236
P.2	Requirements from ICNIRP LF guidelines against exposure to EMF	236
P.2.1	Adoption of exposure limits from ICNIRP	236
P.2.2	Limits of EMF exposure for transportation and storage	238
P.3	Protection of persons against exposure of EMF	238
P.3.1	General	238
P.3.2	EMF requirements for general public access areas	239
P.3.3	EMF requirements for <i>general access areas</i> , <i>service access areas</i> and <i>restricted access areas</i>	239
P.3.4	EMF requirements for transportation and storage	239
P.4	Electromagnetic fields (EMF) test (<i>type test</i>)	240
P.4.1	General test set up for EMF	240
P.4.2	EMF test (<i>type test</i>)	240
P.5	Electromagnetic fields (EMF) marking	240
Annex Q (informative)	Maximum disconnection times	241
Annex R (informative)	Risk assessment according to IEC Guide 116	242
R.1	General	242
R.2	Risk assessment	242
Annex S (informative)	Guidance to product technical committees	244
Bibliography		245
Figure 1	– Protective means for protection against electric shock considering <i>Class I equipment</i> and <i>Class II equipment</i>	39
Figure 2	– Protective means for protection against electric shock considering <i>Class III equipment</i> or <i>accessible circuits</i> of <i>DVC As</i>	40
Figure 3	– Example of a <i>PECS</i> assembly and its associated <i>protective equipotential bonding</i>	47

Figure 4 – Example of a <i>PECS</i> assembly and its associated <i>protective equipotential bonding</i> through direct metallic contact.....	48
Figure 5 – Time-voltage zones for <i>accessible circuits</i> of <i>DVC As</i> and <i>DVC B</i> – DC during <i>single fault conditions</i>	52
Figure 6 – Time-voltage zones for <i>accessible circuits</i> of <i>DVC As</i> and <i>DVC B</i> – AC peak during <i>single fault conditions</i>	53
Figure 7 – Time-voltage zones for conductive <i>accessible parts</i> during <i>single fault conditions</i>	54
Figure 8 – <i>Fire enclosure</i> bottom openings below an unenclosed or partially enclosed fire-hazardous <i>component</i>	81
Figure 9 – <i>Fire enclosure</i> baffle construction.....	82
Figure 10 – Example for interconnections within <i>permanently connected PECS</i> and between parts of them	93
Figure 11 – Example of cable as an arrangement of insulated conductors.....	94
Figure 12 – Detachable <i>mains supply</i> cords and connections.....	98
Figure 13 – Example for evaluation of wire bending space	101
Figure 14 – Supported and unsupported <i>enclosure</i> parts	103
Figure 15 – Impact test using a steel ball	118
Figure 16 – Voltage test procedures	127
Figure 17 – Partial discharge test procedure.....	129
Figure 18 – <i>Protective equipotential bonding</i> impedance test for separate <i>PECS</i> with power fed from the <i>PECS</i> with protection for the power cable	134
Figure 19 – <i>Protective equipotential bonding</i> impedance test for sub-assembly with <i>accessible parts</i> and with power fed from the <i>PECS</i>	135
Figure 20 – Electric strength test instrument.....	138
Figure 21 – Mandrel.....	139
Figure 22 – Initial position of mandrel	139
Figure 23 – Final position of mandrel	139
Figure 24 – Position of metal foil on insulating material.....	140
Figure 25 – Circuit for high-current arcing test	148
Figure 26 – Test fixture for hot-wire ignition test	150
Figure A.1 – Protection by <i>DVC As</i> with <i>enhanced protection</i>	173
Figure A.2 – Protection by means of <i>protective impedance</i>	174
Figure A.3 – Protection by using limited voltages	174
Figure A.4 – Typical waveform for <i>AC working voltage</i>	176
Figure A.5 – Typical waveform for <i>DC working voltage</i>	176
Figure A.6 – Typical waveform for pulsating <i>working voltage</i>	177
Figure D.1 – Example of measurements including a groove	185
Figure D.2 – Example of measurements including a groove	185
Figure D.3 – Example of measurements including a groove	185
Figure D.4 – Example of measurements including a rib.....	186
Figure D.5 – Example of measurements providing protection of type 2.....	186
Figure D.6 – Example of measurements providing protection of type 1.....	186
Figure D.7 – Example of measurements providing protection of type 1.....	187
Figure D.8 – Example of measurements providing protection of type 1.....	187
Figure D.9 – Example of measurements including a barrier (cemented joint).....	187

Figure D.10 – Example of measurements including a barrier	188
Figure D.11 – Example of measurements including a gap	188
Figure D.12 – Example of measurements including a gap	189
Figure D.13 – Example of measurements including an isolated conductive part	189
Figure D.14 – Example of measurements in inner layer of PWB	189
Figure D.15 – Example of measurements on <i>enclosure</i> of insulating material to a part inside.....	190
Figure F.1 – Diagram for dimensioning of <i>clearances</i>	194
Figure F.2 – Diagram for dimensioning of <i>creepage distances</i>	196
Figure F.3 – Permissible field strength for dimensioning of <i>solid insulation</i> according to Formula (F.1).....	198
Figure H.1 – Flow chart leading to selection of the RCD type upstream of a <i>PECS</i>	200
Figure H.2 – Symbols for marking depending on the type of RCD	201
Figure H.3 – Fault current waveforms in connections with <i>power electronic converter</i> devices	203
Figure I.1 – <i>Basic protection</i> evaluation for circuits connected to the origin of the <i>installation mains supply</i>	204
Figure I.2 – <i>Basic protection</i> evaluation for circuits connected to the <i>mains supply</i>	205
Figure I.3 – <i>Basic protection</i> evaluation for single and three phase <i>PECS</i> not <i>permanently connected</i> to the <i>mains supply</i>	205
Figure I.4 – <i>Basic protection</i> evaluation for circuits connected to the origin of the <i>installation mains supply</i> where internal <i>SPDs</i> are used.....	205
Figure I.5 – <i>Basic protection</i> evaluation for circuits connected to the <i>mains supply</i> where internal <i>SPDs</i> are used.....	206
Figure I.6 – Example of <i>enhanced protection</i> evaluation for circuits connected to the <i>mains supply</i> where internal <i>SPDs</i> are used	206
Figure I.7 – Example of <i>enhanced protection</i> evaluation for circuits connected to the <i>mains supply</i> where internal <i>SPDs</i> are used	206
Figure I.8 –Example of <i>enhanced protection</i> evaluation for circuits connected to the <i>mains supply</i> where internal <i>SPDs</i> are used	207
Figure I.9 – <i>Basic protection</i> evaluation for circuits connected to the <i>non-mains supply</i>	207
Figure I.10 – <i>Basic protection</i> evaluation for circuits connected to the the origin of the <i>installation non-mains supply</i>	207
Figure I.11 – <i>Functional insulation</i> evaluation within circuits affected by external transients.....	208
Figure I.12 – <i>Basic protection</i> evaluation for circuits connected to the <i>mains supply</i>	208
Figure I.13 – <i>Insulation</i> evaluation for <i>accessible circuit</i> of <i>DVC As</i>	208
Figure I.14 – <i>PEC</i> with <i>mains supply</i> and <i>non-mains supply</i> without galvanic isolation	209
Figure I.15 – Transformer (basic protected) <i>PEC</i> inverter with <i>SPD</i> and transformer to reduce impulse voltage for functional and <i>basic protection</i>	209
Figure J.1 – Burn threshold spread when the skin is in contact with a hot smooth surface made of bare (uncoated) metal.....	210
Figure J.2 – Rise in the burn threshold spread from Figure J.1 for metals which are coated by shellac varnish.....	211
Figure J.3 – Rise in the burn threshold spread from Figure J.1 for metals coated with the specific materials	211
Figure J.4 – Burn threshold spread when the skin is in contact with a hot smooth surface made of ceramics, glass and stone materials	212

Figure J.5 – Burn threshold spread when the skin is in contact with a hot smooth surface made of plastics	213
Figure L.1 – Measuring instrument 1	215
Figure L.2 – Measuring instrument 2	215
Figure M.1 – Sphere 50 mm probe according to IEC 61032:1997, test probe A	217
Figure M.2 – Jointed test finger according to IEC 61032:1997, test probe B	218
Figure M.3 – Test rod 2,5 mm according to IEC 61032:1997, test probe C	219
Figure M.4 – Sphere 12,5 mm test probe according to IEC 61032:1997, test probe 2	219
Figure N.1 – Example of short-circuit current curve under specification of I_{CC}	222
Figure N.2 – Example of tripping characteristic of a circuit breaker	223
Figure N.3 – Example of tripping characteristic of a current-limiting fuse	223
Figure N.4 – Example of short-circuit current curve under specification of I_{CW}	224
Figure N.5 – Two PECS with different specifications	225
Figure N.6 – One PECS with different specification for each input <i>mains supply port</i>	227
Figure N.7 – Flowchart for classification of I_{CC} or I_{CW}	230
Figure O.1 – Flowchart for determination of <i>clearance</i>	232
Figure O.2 – Flowchart for determination of <i>creepage distance</i>	233
Table 1 – Alphabetical list of terms	20
Table 2 – Voltage limits for the <i>decisive voltage classes DVC</i>	42
Table 3 – Minimum protection requirements for circuit under consideration	43
Table 4 – <i>PE conductor</i> cross-sectional area	49
Table 5 – Limits for access of <i>touch current</i>	56
Table 6 – Definitions of <i>pollution degrees</i>	59
Table 7 – <i>Impulse withstand voltage</i> and <i>temporary overvoltage</i> versus <i>system voltage</i>	61
Table 8 – <i>Clearances</i> for <i>functional insulation</i> , <i>basic insulation</i> or <i>supplementary insulation</i> for inhomogeneous fields	66
Table 9 – <i>Creepage distances</i>	69
Table 10 – Generic materials for the direct support of uninsulated <i>live parts</i>	71
Table 11 – Thin sheet material thickness through <i>insulation</i> requirements	72
Table 12 – Flammability classes and classification standards	78
Table 13 – Permitted openings in <i>fire enclosure</i> bottoms	82
Table 14 – Maximum measured temperatures for internal materials and <i>components</i>	84
Table 15 – Maximum measured temperatures for <i>accessible parts</i> of the PECS	86
Table 16 – Limits for sources without an <i>overcurrent protective device</i>	87
Table 17 – Limits for power sources with an <i>overcurrent protective device</i>	87
Table 18 – Environmental service conditions	92
Table 19 – Wire bending space from terminals to <i>enclosure</i>	100
Table 20 – Thickness of sheet metal for <i>enclosures</i> : carbon steel or stainless steel	104
Table 21 – Thickness of sheet metal for <i>enclosures</i> : aluminium, copper or brass	105
Table 22 – Environmental conditions for tests	109
Table 23 – Test overview	110
Table 24 – Pull values for handles and manual control securement	120

Table 25 – Values for physical tests on strain relief of <i>enclosure</i>	120
Table 26 – <i>Impulse withstand voltage</i> test procedure	122
Table 27 – <i>Impulse withstand voltage test</i>	123
Table 28 – AC or DC test voltage for circuits connected directly to <i>mains supply</i>	125
Table 29 – AC or DC test voltage for circuits connected to <i>non-mains supply</i> without <i>temporary overvoltages</i>	125
Table 30 – Partial discharge test.....	129
Table 31 – Test duration for <i>protective equipotential bonding</i> test.....	136
Table 32 – AC <i>short-time withstand current</i> test, minimum <i>PECS</i> requirements	145
Table 33 – Environmental tests	153
Table 34 – Dry heat test (steady state)	154
Table 35 – Damp heat test (steady state).....	155
Table 36 – Vibration test.....	156
Table 37 – Salt mist test	156
Table 38 – Dust test.....	157
Table 39 – Sand test.....	157
Table 40 – Marking location	159
Table A.1 – Examples for protection against electric shock.....	179
Table C.1 – Symbols used	181
Table D.1 – Width of grooves by <i>pollution degree</i>	184
Table E.1 – Correction factor for <i>clearances</i> at altitudes between 2 000 m and 20 000 m	191
Table E.2 – Test voltages for verifying <i>clearances</i> at different altitudes	192
Table F.1 – Minimum values of <i>clearances</i> in air at atmospheric pressure for inhomogeneous field conditions	195
Table F.2 – Multiplication factors for <i>clearances</i> in air at atmospheric pressure for approximately homogeneous field conditions	195
Table F.3 – Minimum values of <i>creepage distances</i> for different frequency ranges	197
Table G.1 – Standard cross-sections of round conductors.....	199
Table K.1 – Table of electrochemical potentials	214
Table O.1 – Minimum spacings within <i>solid insulation</i> or similar.....	234
Table P.1 – Limits of EMF for general public exposure.....	237
Table P.2 – Limits of EMF for occupational exposure.....	238
Table P.3 – Limits for magnetic flux density of static magnetic fields (2013/35/EU).....	238
Table P.4 – EMF test overview	240
Table 41.1 – Maximum disconnection times	241
Table R.1 – Risk assessment.....	242

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**SAFETY REQUIREMENTS FOR POWER ELECTRONIC
CONVERTER SYSTEMS AND EQUIPMENT –****Part 1: General****FOREWORD**

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

IEC 62477-1 has been prepared by IEC technical committee 22: Power electronic systems and equipment. It is an International Standard.

This document is developed according to the intent of ISO/IEC Guide 51 and IEC Guide 116.

It has the status of a group safety publication in accordance with IEC Guide 104.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 2012 and Amendment 1:2016. This edition constitutes a technical revision.

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

- a) PECS emitting or receiving radio waves added in the Scope;
- b) simplification of the concept of DVC As including the voltage-time-zones;

- c) improved consistency of the concept "protection" versus "insulation" according to IEC 61140;
- d) limits for touch current updated and limits for PE conductor currents added;
- e) thin sheet of tape materials reworked and tests added;
- f) inner layers of multi-layer printed wiring boards added;
- g) mechanical hazards updated;
- h) requirements for enclosures updated;
- i) requirements for wiring and connections updated;
- j) polymeric enclosure requirements updated;
- k) requirements for components added;
- l) several test added (e.g. UV, working voltage, SPD, preconditioning);
- m) information and marking requirements updated;
- n) requirements for the contrast of symbols added;
- o) several annexes updated.

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

Draft	Report on voting
22/355/FDIS	22/356/RVD

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

The language used for the development of this International Standard is English.

This document was drafted in accordance with ISO/IEC Directives, Part 2, and developed in accordance with ISO/IEC Directives, Part 1 and ISO/IEC Directives, IEC Supplement, available at www.iec.ch/members_experts/refdocs. The main document types developed by IEC are described in greater detail at www.iec.ch/standardsdev/publications.

A list of all the parts in the IEC 62477 series, published under the general title *Safety requirements for power electronic converter systems and equipment*, can be found on the IEC website.

In this document, terms in *italic* are defined in Clause 3.

NOTE Due to the requirement in ISO/IEC Directive Part 2, the defined term is in singular. In this document, also the plural is in *italic*.

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

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62477-1:2022

INTRODUCTION

This document relates to products that include *power electronic converters*, with a rated *system voltage* not exceeding 1 000 V AC or 1 500 V DC. It specifies requirements to reduce risks of fire, electric shock, thermal, energy and mechanical hazards, except functional safety as defined in IEC 61508 (all parts). The objectives of this document are to establish a common terminology and basis for the safety requirements of products that contain *power electronic converters* across several IEC technical committees.

During the update of the document, feedback from technical committees which used the IEC 62477-1 as reference document has been taken into consideration.

Modifications have been made to 4.4.2 and Annex A considering the safe to touch voltage *DVC As* under normal operating conditions and *single fault conditions*. On request from TCs using this document as a reference document, the determination of *DVC As* has been simplified. The determination of *DVC As* in IEC 62477-1:2012 and IEC 62477-1:2012/AMD1:2016 was developed based on IEC TS 60479-1:2005¹ and IEC TR 60479-5:2007 and in details taking different environmental condition, size of body contact area and body reaction into consideration. This change also included time-voltage zones in Annex A for relevant body reactions, environmental conditions and contact area.

NOTE See IEC 60479-1:2018 for further information about effects of current on human beings and livestock.

This document follows the simplified concepts of the basic safety standard IEC 61140:2016, 5.2.6, considering two situations in Table 2 of this document:

- a) dry and large contact areas;
- b) all other cases.

For the temporary increase of voltage during *single fault conditions*, it was decided to use the more simplified approach to limit the voltage to the maximum voltage of *DVC B* which is also used by other committees.

This document has been developed with the intention

- to be used as a reference document for product committees inside TC 22 in the development of product standards for *power electronic converter systems* and equipment,
- to replace IEC 62103² as a product family standard providing minimum requirements for safety aspects of *power electronic converter systems* and equipment in apparatus for which no product standard exists, and

NOTE The scope of IEC 62103 contains reliability and electromagnetic compatibility aspects, which are not covered by this document.

- to be used as a reference document for product committees outside TC 22 in the development of product standards of *power electronic converter systems* and equipment intended renewable energy sources. TC 82, TC 88, TC 105 and TC 114, in particular, have been identified as relevant technical committees at the time of publication.

Technical committees using this document should carefully consider the relevance of each paragraph in this document for the product under consideration and reference, add, replace or modify requirement as relevant. Product specific topics not covered by this document are in the responsibility of the technical committees using this document as reference document.

¹ This publication has been withdrawn.

² This publication has been withdrawn.

This group safety standard will not take precedence over any product specific standard according to IEC Guide 104. IEC Guide 104 provides information about the responsibility of product committees to use group safety standards for the development of their own product standards.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62477-1:2022

SAFETY REQUIREMENTS FOR POWER ELECTRONIC CONVERTER SYSTEMS AND EQUIPMENT –

Part 1: General

1 Scope

This part of IEC 62477 applies to *power electronic converter systems (PECS)*, any specified *accessories*, and their *components* for *electronic power conversion* and electronic power switching, including the means for their control, protection, monitoring and measurement, such as with the main purpose of converting electric power, with rated system *voltages* not exceeding 1 000 V AC or 1 500 V DC.

This document also applies to *PECS* which intentionally emit or receive radio waves for the purpose of radio communication.

This document can also be used as a reference standard for product committees producing product standards for:

- adjustable speed electric power drive systems (PDS);
- standalone uninterruptible power systems (UPS);
- *low voltage* stabilized DC power supplies;
- bidirectional power converters.

For *PECS* and their specified *accessories* for which no product standard exists, this document provides minimum requirements for safety aspects.

This document has the status of a group safety publication in accordance with IEC Guide 104 for *power electronic converter systems* for solar, wind, tidal, wave, fuel cell or similar energy sources.

According to IEC Guide 104, one of the responsibilities of technical committees is, wherever applicable, to make use of basic safety publications and/or group safety publications in the preparation of their product standards.

Guidance for use of this group safety publication for product committees is given in Annex S.

This document

- establishes a common terminology for safety aspects relating to *PECS*,
- establishes minimum requirements for the coordination of safety aspects of interrelated parts within a *PECS*,
- establishes a common basis for minimum safety requirements for the *PECS* portion of products that contain *PECS*,
- specifies requirements to reduce risks of fire, electric shock, thermal, energy and mechanical hazards, during use and operation and, where specifically stated, during service and maintenance, and
- specifies minimum requirements to reduce risks with respect to *PECS* designed as pluggable and *permanently connected equipment*, whether it consists of a system of interconnected units or independent units, subject to installing, operating and maintaining the *PECS* in the manner prescribed by the manufacturer.

This document does not cover

- telecommunications apparatus other than power supplies to such apparatus,
- functional safety aspects as covered by, for example, IEC 61508 (all parts), and
- electrical equipment and systems for railways applications and electric vehicles.

2 Normative references

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

IEC 60050-112, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 112: Quantities and units* (available at www.electropedia.org)

IEC 60050-113, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 113: Physics for electrotechnology* (available at www.electropedia.org)

IEC 60050-114, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 114: Electrochemistry* (available at www.electropedia.org)

IEC 60050-151, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 151: Electrical and magnetic devices* (available at www.electropedia.org)

IEC 60050-161, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 161: Electromagnetic compatibility* (available at www.electropedia.org)

IEC 60050-192, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 192: Dependability* (available at www.electropedia.org)

IEC 60050-426, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 426: Explosive atmospheres* (available at www.electropedia.org)

IEC 60050-441, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 441: Switchgear, controlgear and fuses* (available at www.electropedia.org)

IEC 60050-442, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 442: Electrical accessories* (available at www.electropedia.org)

IEC 60050-551, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 551: Power electronics* (available at www.electropedia.org)

IEC 60050-601, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 601: Generation, transmission and distribution of electricity – General* (available at www.electropedia.org)

IEC 60050-826, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 826: Electrical installations* (available at www.electropedia.org)

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

IEC 60068-2-6:2007, *Environmental testing – Part 2-6: Tests – Test Fc: Vibration (sinusoidal)*

IEC 60068-2-52:2017, *Environmental testing – Part 2-52: Tests – Test Kb: Salt mist, cyclic (sodium chloride solution)*

IEC 60068-2-68:1994, *Environmental testing – Part 2-68: Tests – Test L: Dust and sand*

IEC 60068-2-78:2012, *Environmental testing – Part 2-78: Tests – Test Cab: Damp heat, steady state*

IEC 60320 (all parts), *Appliance couplers for household and similar general purposes*

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

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

IEC 60364-4-41:2005/AMD1:2017

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

IEC 60364-5-54:2011/AMD1:2021

IEC 60384-14:2013, *Fixed capacitors for use in electronic equipment – Part 14: Sectional specification – Fixed capacitors for electromagnetic interference suppression and connection to the supply mains*

IEC 60417, *Graphical symbols for use on equipment* (available at <http://www.graphical-symbols.info/equipment>)

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

IEC 60529:1989/AMD1:1999

IEC 60529:1989/AMD2:2013

IEC 60617, *Graphical symbols for diagrams* (available from <http://std.iec.ch/iec60617>)

IEC 60664-1:2020, *Insulation coordination for equipment within low-voltage systems – Part 1: Principles, requirements and tests*

IEC 60664-3:2016, *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 60695-2-10:2013, *Fire hazard testing – Part 2-10: Glowing/hot-wire based test methods – Glow-wire apparatus and common test procedure*

IEC 60695-2-11:2021, *Fire hazard testing – Part 2-11: Glowing/hot-wire based test methods – Glow-wire flammability test method for end-products (GWEPT)*

IEC 60695-2-13:2010, *Fire hazard testing – Part 2-13: Glowing/hot-wire based test methods – Glow-wire ignition temperature (GWIT) test method for materials*

IEC 60695-2-13:2010/AMD1:2014

IEC 60695-10-2:2014, *Fire hazard testing – Part 10-2: Abnormal heat – Ball pressure test*

IEC 60695-11-20:2015, *Fire hazard testing – Part 11-20: Test flames – 500 W flame test methods*

IEC 60721-3-3:1994, *Classification of environmental conditions – Part 3-3: Classification of groups of environmental parameters and their severities – Stationary use at weatherprotected locations*

IEC 60721-3-3:1994/AMD1:1995

IEC 60721-3-3:1994/AMD2:1996

IEC 60721-3-4:1995, *Classification of environmental conditions – Part 3: Classification of groups of environmental parameters and their severities – Stationary use at non-weatherprotected locations*

IEC 60721-3-4:1995/AMD1:1996

IEC 60730-1:2013, *Automatic electrical controls – Part 1: General requirements*

IEC 60730-1:2013/AMD1:2015

IEC 60730-1:2013/AMD2:2020

IEC 60738-1-1:2008, *Thermistors – Directly heated positive step-function temperature coefficient – Part 1-1: Blank detail specification – Current limiting application – Assessment level EZ*

IEC 60755:2017, *General safety requirements for residual current operated protective devices*

IEC 60799:2018, *Electrical accessories – Cord sets and interconnection cord sets*

IEC 60947-7 (all parts), *Low-voltage switchgear and controlgear – Part 7: Ancillary equipment*

IEC 60949:1988, *Calculation of thermally permissible short-circuit currents, taking into account non-adiabatic heating effects*

IEC 60949:1988/AMD1:2008

IEC 60990:2016, *Methods of measurement of touch current and protective conductor current*

IEC 61032:1997, *Protection of persons and equipment by enclosures – Probes for verification*

IEC 61180:2016, *High-voltage test techniques for low-voltage equipment – Definitions, test and procedure requirements, test equipment*

IEC 61189-3:2007, *Test methods for electrical materials, printed boards and other interconnection structures and assemblies – Part 3: Test methods for interconnection structures (printed boards)*

IEC 61204-7:2016, *Low-voltage switch mode power supplies – Part 7: Safety requirements*

IEC 61558-1:2017, *Safety of transformers, reactors, power supply units and combinations thereof – Part 1: General requirements and tests*

IEC 62109-1:2010, *Safety of power converters for use in photovoltaic power systems – Part 1: General requirements*

ISO/IEC Guide 51:2014, *Safety aspects – Guidelines for their inclusion in standards*

IEC Guide 104:2019, *The preparation of safety publications and the use of basic safety publications and group safety publications*

IEC Guide 116:2018, *Guidelines for safety related risk assessment and risk reduction for low voltage equipment*

ISO 3746:2010, *Acoustics – Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure – Survey method using an enveloping measurement surface over a reflecting plane*

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

ISO 3864-1:2011, *Graphical symbols – Safety colours and safety signs – Part 1: Design principles for safety signs and safety markings*

ISO 7000, *Graphical symbols for use on equipment – Registered symbols* (available from <http://www.graphical-symbols.info/equipment>)

ISO 7010, *Graphical symbols – Safety colours and safety signs – Registered safety signs* (available at <https://www.iso.org/obp>)

ISO 9614-1:1993, *Acoustics – Determination of sound power levels of noise sources using sound intensity – Part 1: Measurement at discrete points*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC 60050-112:2010, IEC 60050-113:2011, IEC 60050-114:2014, IEC 60050-426:2020, IEC 60050-151:2001, IEC 60050-161:1990, IEC 60050-192:2015, IEC 60050-441:1984, IEC 60050-442:1998, IEC 60050-551:1998, IEC 60050-601:1985, IEC 60050-826:2004, IEC 60664-1:2020, and the following 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
abnormal operating condition abnormal operation	3.1	fire enclosure	3.29	power semiconductor device	3.57
accessible	3.2	functional insulation	3.30	prospective short-circuit current (I_{cp})	3.58
accessory	3.3	hand-held equipment	3.31	protective equipotential bonding	3.59
adjacent circuit	3.4	hazardous live part	3.32	protective impedance	3.60
basic insulation	3.5	installation	3.33	electrically protective screening protective screening	3.61
basic protection	3.6	impulse withstand voltage	3.34	reinforced insulation	3.62
class I equipment	3.7	live part	3.35	restricted access area	3.63
class II equipment	3.8	low voltage (LV)	3.36	routine test	3.64
class III equipment	3.9	mains supply	3.37	sample test	3.65
clearance	3.10	minimum required prospective short-circuit current ($I_{cp,mr}$)	3.38	service access area	3.66
commissioning test	3.11	movable equipment	3.39	short-circuit backup protection	3.67
component	3.12	non-mains supply	3.40	short-circuit protective device (SCPD)	3.68

Term	Term number	Term	Term number	Term	Term number
conditional short-circuit current (I_{cc})	3.13	open type PECS	3.41	short-time withstand current (I_{cw})	3.69
creepage distance	3.14	general access area	3.42	single fault condition	3.70
decisive voltage class (DVC)	3.15	ordinary person	3.43	skilled person	3.71
de-energized	3.16	output short-circuit current	3.44	solid insulation	3.72
double insulation	3.17	overcurrent protective device (OCPD)	3.45	supplementary insulation	3.73
direct plug-in equipment	3.18	overvoltage category (OVC)	3.46	surge protective device (SPD)	3.74
DVC As	3.19	PE	3.47	system	3.75
DVC B	3.20	peak withstand current (I_{pk})	3.48	system voltage	3.76
DVC C	3.21	PE conductor	3.49	temporary overvoltage	3.77
electric breakdown	3.22	permanently connected equipment	3.50	touch current	3.78
electrical insulation insulation	3.23	pluggable equipment type A	3.51	type test	3.79
electronic power conversion	3.24	pluggable equipment type B	3.52	ventricular fibrillation	3.80
enclosure	3.25	pollution degree	3.53	visual inspection	3.81
enhanced protection	3.26	port	3.54	working voltage	3.82
fault protection	3.27	power electronic converter (PEC)	3.55	zone of equipotential bonding	3.83
field wiring terminal	3.28	power electronic converter system (PECS)	3.56		

3.1

abnormal operating condition

abnormal operation

temporary operating condition that is not a normal operating condition and is not a *single fault condition* of the equipment itself

Note 1 to entry: An *abnormal operating condition* may be introduced by the equipment or by a person and may result in a failure of a *component*, a device or *insulation*.

[SOURCE: IEC 62368-1:2018, 3.3.7.1, modified – Note 1 to entry has been removed, and Notes 2 and 3 to entry have been grouped and rephrased.]

3.2

accessible

able to be touched by means of the standard test finger

Note 1 to entry: For standard test finger, refer to Figure M.2.

Note 2 to entry: The term "accessible" is used to refer to an accessible circuit, an accessible connection, an accessible part or an accessible surface.

3.3

accessory

additional part, component or equipment intended to expand capabilities and/or functionality of the *PECS*

Note 1 to entry: Some examples are:

- external filter,
- communication, control or input/output interface kits,
- external SPD for reduction of transient.
- additional enclosure parts or kits,
- additional ventilation kits,
- mechanical bonding or cable support kits, or
- additional measuring device, instrument etc.

Note 2 to entry: Expanded capabilities is considered to be electrical, mechanical, thermal or acoustic characteristics of the *PECS* when installed and operating as intended.

Note 3 to entry: *Accessories* and *accessory* kits might be factory or field installed.

3.4

adjacent circuit

circuit having a requirement to be protected from the circuit under consideration

3.5

basic insulation

insulation applied to *hazardous live parts* to provide *basic protection* against electric shock

[SOURCE: IEC 60050-826:2004, 826-12-14, modified – The definition has been reformulated.]

3.6

basic protection

protection against electric shock under fault-free conditions through the use of *insulation* or distance or a combination of both

Note 1 to entry: For more information, refer to 4.4.3.

[SOURCE: IEC 60050-195:2021, 195-06-01, modified – The words " under fault-free conditions through the use of *insulation* or distance or a combination of both" have been added, as well as the note to entry.]

3.7

class I equipment

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

3.8

class II equipment

PECS in which protection against electric shock does not rely on *basic protection* only, but in which additional safety precautions are provided, there being no means of connection for the *PE conductor* or reliance upon *installation* conditions

Note 1 to entry: *Supplementary insulation* or *reinforced insulation* are additional safety precautions.

3.9

class III equipment

PECS in which protection against electric shock relies on supply at *DVC* As and in which voltages higher than those of *DVC* As are not generated and there is no means for protective earthing

3.10

clearance

shortest distance in air between two conductive parts

Note 1 to entry: This distance can be measured along a string stretched the shortest way between these conductive parts.

[SOURCE: IEC 60664-1:2020, 3.1.4, modified – The note to entry has been added.]

3.11

commissioning test

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

[SOURCE: IEC 60050-411:1996, 411-53-06, modified – The word "machine" has been replaced by "device" and "equipment" with "*PECS*".]

3.12

component

part of a *PEC* or *PECS*, which cannot be physically divided into smaller parts without losing its particular function

[SOURCE: IEC 60050-151:2001, 151-11-21, modified – The words "constituent part of a device" have been replaced by "part of a *PEC* or *PECS*".]

3.13

conditional short-circuit current

I_{cc}

RMS value of a *prospective short-circuit current* available from a source, under conditions specified by the *PECS* manufacturer, using a specific type of *short-circuit protective device*

Note 1 to entry: See also Figure N.1.

Note 2 to entry: The source might be a mains supply or non-mains supply.

Note 3 to entry: The declared I_{cc} is the minimum current value used for calibration of the supply source.

3.14

creepage distance

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

[SOURCE: IEC 60664-1:2020, 3.1.5]

3.15

decisive voltage class

DVC

classification of voltage range used to determine the protective means against electric shock and the requirements of protection between circuits

3.16

de-energized

free from all potential energy hazards

3.17

double insulation

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

[SOURCE: IEC 60050-826:2004, 826-12-16]

3.18

direct plug-in equipment

PECS in which the *mains supply* plug forms an integral part of the *PECS enclosure* so that the *PECS* is supported by the *mains supply* socket-outlet

[SOURCE: IEC 60050-903:2014, 903-04-07, modified – "Equipment" replaced by "*PECS*" and "mains" by "mains supply".]

3.19

DVC As

voltage classification of a circuit providing only safe to touch voltage, under normal operating conditions and *single fault condition*, and limited overvoltages

Note 1 to entry: See 4.4.2.2 and Table 2.

3.20

DVC B

voltage classification of a *circuit* which stays within the voltage limits between *DVC As* and *DVC B* under normal operating conditions and *single fault conditions*

Note 1 to entry: See 4.4.2.3 and Table 2.

3.21

DVC C

voltage classification of any circuit not meeting the protection requirements or voltage limits for *DVC B* or *DVC As*

Note 1 to entry: See 4.4.2.4 and Table 2.

3.22

electric breakdown

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

[SOURCE: IEC 60664-1:2020, 3.1.44]

3.23

electrical insulation insulation

electrical protection between circuits or conductive parts provided by *clearance* or *creepage distance* or *solid insulation* or combinations of them

Note 1 to entry: For the protection against electric shock, insulation types like clearance, creepage distances and solid insulation are used as means for basic protection, fault protection and enhanced protection. Further means for basic protection, fault protection and enhanced protection are specified in 4.4.3, 4.4.4 and 4.4.5.

3.24

electronic power conversion

change of one or more of the characteristics of an electric power *system* essentially without appreciable loss of power by means of *power semiconductor devices*

Note 1 to entry: Characteristics are, for example, voltage, number of phases and frequency, including zero frequency.

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-11-02, modified – The words "electronic valve devices" have been replaced by "*power semiconductor devices*".]

3.25 enclosure

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

Note 1 to entry: This document provides requirements for the *enclosure* according to IEC 60529:1989, IEC 60529:1989/AMD1:1999 and IEC 60529:1989/AMD2:2013 as well as additional requirements for mechanical and environmental impact. The purpose of the additional requirements is to ensure the ability of an *enclosure* to provide *basic protection* under the environmental conditions specified by the manufacturer.

[SOURCE: IEC 60050-151:2001, 151-13-08, modified – Note 1 to entry has been added.]

3.26 enhanced protection

protective means having a reliability of protection not less than that provided by two independent protective means

Note 1 to entry: *Enhanced protection* can be realized through the use of insulation or distance or a combination of both. For more information, refer to 4.4.5.

[SOURCE: IEC 61140:2016, 3.19, modified – The words "protective provision" has been replaced by "protection" in the term, and "provision" by "means" in the definition.]

3.27 fault protection

protection against electric shock under *single fault conditions*

Note 1 to entry: For low-voltage *installations, systems* and equipment, *fault protection* generally corresponds to protection against indirect contact as used in IEC 60364-4-41:2005 and IEC 60364-4-41:2005/AMD1:2017, mainly with regard to failure.

Note 2 to entry: For more information, refer to 4.4.4.

[SOURCE: IEC 60050-195:2021, 195-06-02, modified – The notes to entry have been added.]

3.28 field wiring terminal

terminal provided for connection of external conductors to the *PECS*

3.29 fire enclosure

part of the *PECS* intended to minimize the spread of fire or flames from within the *enclosure* to outside the *enclosure*

3.30 functional insulation

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

Note 1 to entry: *Functional insulation* may, however, reduce the likelihood of ignition and fire.

3.31 hand-held equipment

PECS intended to be held in the hand during normal use

[SOURCE: IEC 60050-195:2004, 826-16-05, modified – The words "electric equipment" have been replaced by "*PECS*".]

3.32

hazardous live part

live part which can give a harmful electric shock

Note 1 to entry: In this document a *hazardous live part* does not meet the requirements of DVC As in 4.4.2.2.

[SOURCE: IEC 60050-195:2021, 195-06-05, modified – The hyphens have been deleted from the term, the words "under certain conditions" have been deleted from the definition and the note to entry added.]

3.33

installation

equipment including at least the *PECS*

Note 1 to entry: The word "installation" is also used in this document to denote the process of installing a *PECS*. In these cases, the word does not appear in italics.

3.34

impulse withstand voltage

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

[SOURCE: IEC 60050-442:2014, 442-09-18]

3.35

live part

conductor or conductive part intended to be energized in normal operating conditions, including a neutral conductor, but by convention not a *PE conductor* or *protective earth* neutral

Note 1 to entry: This concept does not necessarily imply a risk of electric shock.

[SOURCE: IEC 60050-195:2021, 195-02-19, modified – The words "and mid-point conductor, but excluding the PEN conductor, PEM conductor and PEL conductor" have been replaced by "but by convention not a *PE conductor* or *protective earth* neutral".]

3.36

low voltage

LV

set of voltage levels used for the distribution of electricity and whose upper limit is generally accepted to be 1 000 V AC or 1 500 V DC

[SOURCE: IEC 60050-601:1985, 601-01-26, modified – The words "for alternating current" have been replaced by "AC", and the words "or 1 500 V DC" have been added.]

3.37

mains supply

low voltage AC or DC power distribution *system* for supplying power to AC or DC *PECS*

Note 1 to entry: In the USA and Canada, the term "*mains supply*" is called "utilities".

3.38

minimum required prospective short-circuit current

$I_{cp,mr}$

RMS value of a minimum *prospective short-circuit current*, which shall be available from the source to ensure operation of the specific type of *short-circuit protective device*

3.39**movable equipment**

PECS that is either

- 18 kg or less in mass and not fixed in place, or
- provided with wheels, casters, or other means to facilitate movement by an *ordinary person* as required to perform its intended use

3.40**non-mains supply**

low voltage AC or DC power network that is not energized directly from the *AC mains supply* or *DC mains supply*

Note 1 to entry: Examples of *non-mains supplies* are those which are isolated by a transformer or supplied by a battery, generator, solar arrays, wind generator, tidal *systems*, wave, fuel cell or similar sources not directly connected to the AC or DC power distribution *system*.

3.41**open type PECS**

PECS intended for incorporation within an *enclosure* or assembly that will provide protection against hazards

3.42**general access area**

area of the *PECS* to which both *ordinary persons* and *skilled persons* are permitted access

Note 1 to entry: *General access areas* do not require the use of a tool or key.

3.43**ordinary person**

person who is not a *skilled person*

Note 1 to entry: *Ordinary person* is the term applied to all persons other than *skilled persons*. *Ordinary persons* include not only users of the equipment, but also all persons who may have access to the equipment or who may be in the adjacency of the equipment. Under normal operating conditions or *abnormal operating conditions*, *ordinary persons* should not be exposed to parts comprising energy sources capable of causing pain or injury. Under a *single fault condition*, *ordinary persons* should not be exposed to parts comprising energy sources capable of causing injury.

Note 2 to entry: Instructed person is not used in this document.

[SOURCE: IEC 60050-826:2004, 826-18-03, modified – Instructed person deleted, notes to entry added.]

3.44**output short-circuit current**

available current that flows at the output *port* of the *PECS* when a short-circuit is applied

3.45**overcurrent protective device****OCPD**

device provided to interrupt an electric circuit in case the current in the electric circuit exceeds a predetermined value for a specified duration

[SOURCE: IEC 60050-826:2004, 826-14-14, modified – The abbreviated term "OCPD" has been added, and the word "conductor" have been deleted from "conductor current".]

3.46**overvoltage category****OVC**

numeral defining a transient overvoltage condition

Note 1 to entry: *Overvoltage categories* I, II, III and IV are used. See 4.4.7.1.4 for information.

[SOURCE: IEC 60664-1:2020, 3.1.20, modified – The abbreviated term "OVC" has been added, and the reference has been updated in the note to entry.]

3.47

PE

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

Note 1 to entry: In the USA and Canada, the term "ground" is used instead of "earth".

3.48

peak withstand current

I_{pk}

value of peak short-circuit current, declared by the *PECS* manufacturer, which can flow under specified conditions

Note 1 to entry: For the purpose of this document, I_{pk} refers to the initial asymmetric peak value of the prospective test current.

[SOURCE: IEC 61439-1:2020, 3.8.10.2, modified – The definition is modified for *PECS* application.]

3.49

PE conductor

conductor in the building *installation* wiring, or in the power supply cord, connecting a main protective earthing terminal in the equipment to an earth point in the building *installation* for safety purposes

3.50

permanently connected equipment

PECS that can only be connected to or disconnected from the electric power system by the use of a tool

Note 1 to entry: In this document, electric power system is considered as either *mains supply* or *non-mains supply*.

[SOURCE: IEC 60050-151:2014, 151-11-29, modified – "Equipment" replaced by "*PECS*" and note to entry added.]

3.51

pluggable equipment type A

PECS that is intended for connection to the *mains supply* via a non-industrial plug and socket-outlet or via a non-industrial appliance coupler, or both

Note 1 to entry: For non-industrial plug and socket-outlets, see IEC TR 60083:2015 or a national equivalent. For non-industrial appliance couplers, see IEC 60320-1.

[SOURCE: IEC 60050-903:2014, 903-04-08, modified – The word "equipment" has been replaced by "*PECS*" and "mains" by "*mains supply*".]

3.52

pluggable equipment type B

PECS that is intended for connection to the *mains supply* via an industrial plug and socket-outlet or an appliance coupler, or both

Note 1 to entry: For industrial plug and socket-outlets, see IEC 60309-1 or a national equivalent. For non-industrial appliance couplers, see IEC 60320-1.

[SOURCE: IEC 60050-903:2014, 903-04-09, modified – The word "equipment" has been replaced by "*PECS*" and "mains" by "*mains supply*".]

3.53**pollution degree**

numeral characterizing the expected pollution of the micro-environment.

Note 1 to entry: Pollution degrees 1, 2, 3 and 4 are used in this document. See 4.4.7.1.3 for information.

[SOURCE: IEC 60664-1:2020, 3.1.25, modified – Note to entry added.]

3.54**port**

access to a device or network where electromagnetic energy or signals may be supplied or received or where the device or network variables may be observed or measured

[SOURCE: IEC 60050-131:2002, 131-12-60, modified – The note has been deleted.]

3.55**power electronic converter****PEC**

device or part thereof for the purpose of *electronic power conversion*, including signalling, measurement, control circuitries and other parts, if essential for the *power conversion* function

3.56**power electronic converter system****PECS**

system consisting of *power electronic converter(s)* intended to work together with other equipment

3.57**power semiconductor device**

semiconductor device used for *electronic power conversion*

3.58**prospective short-circuit current** I_{cp}

RMS value of the current which would flow if the supply conductors to the circuit are short-circuited by a conductor of negligible impedance located as near as practicable to the supply terminals of the *PECS*

[SOURCE: IEC 61439-1:2020, 3.8.7, modified – The word "current" has been replaced by "RMS value of the current", and "assembly" by "PECS" and Note to entry deleted.]

3.59**protective equipotential bonding**

equipotential bonding for the purposes of safety

EXAMPLE Protection against electric shock

[SOURCE: IEC 60050-195:2021, 195-01-15, modified – The hyphens have been removed from the term, and the example has been added.]

3.60**protective impedance**

impedance connected between *hazardous live parts* and conductive *accessible parts*, of such value that the current, in intended use and under *single fault conditions*, is limited to a safe value, and which is so constructed that its ability is maintained throughout the life of the *PECS*

3.61

electrically protective screening **protective screening**

separation of electric circuits and/or conductors from *hazardous live parts* by an electrically protective screen connected to the *protective equipotential bonding system* and intended to provide protection against electric shock

[SOURCE: IEC 60050-195:2021, 195-06-18, modified – The word "electrically" has been added to "protective screening", and the term "protective shielding" has been deleted.]

3.62

reinforced insulation

insulation of hazardous live parts which provides a degree of protection against electric shock equivalent to *double insulation*

Note 1 to entry: *Reinforced insulation* may comprise several layers which cannot be tested separately as *basic insulation* or *supplementary insulation*.

[SOURCE: IEC 60664-1:2020, 3.1.33]

3.63

restricted access area

area to which only electrically skilled persons with the proper authorization have access

[SOURCE: IEC 60050-195:2021, 195-04-04, modified – The words "and electrically instructed persons" have been removed.]

3.64

routine test

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

[SOURCE: IEC 60050-411:1996, 411-53-02, modified – The word "machine" has been replaced by "device".]

3.65

sample test

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

3.66

service access area

enclosed electrical area intended for service, maintenance and commissioning while the *PECS* is energized and to which only *skilled persons* are permitted access

Note 1 to entry: *Service access areas* require the use of a tool or key.

3.67

short-circuit backup protection

protection that is intended to operate when other protective means within a *system* or equipment fail to clear a fault

3.68

short-circuit protective device

SCPD

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

Note 1 to entry: A *short-circuit protective device* is suitable for protection against short-circuit only, not for protection against overload. An *OCPD* may also incorporate the function of a *SCPD*.

[SOURCE: IEC 61439-1:2020, 3.1.11, modified – The note to entry has been added.]

3.69

short-time withstand current

I_{cw}

RMS value of short-time current, declared by the *PECS* manufacturer, which can flow under specified conditions, defined in terms of current and time

[SOURCE: IEC 61439-1:2020, 3.8.10.3, modified – The word "rated" has been removed from the term, the words "AC or mean value of DC" have been removed from the definition, "assembly" has been replaced by "*PECS*", and "that can be withstood" by "which can flow".]

3.70

single fault condition

condition in which one failure is present which could cause a hazard covered by this document

Note 1 to entry: If a *single fault condition* results in other subsequent failures, the set of failures is considered as one *single fault condition*.

Note 2 to entry: Examples of hazards include, but are not limited to, electric shock, fire, energy, mechanical, sound pressure etc.

3.71

skilled person

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

Note 1 to entry: *Skilled person* is a term applied to persons who have training or experience in the equipment technology, particularly in knowing the various energies and energy magnitudes used in the equipment. *Skilled persons* are expected to use their training and experience to recognize energy sources capable of causing pain or injury and to take action for protection from injury from those energies. *Skilled persons* should also be protected against unintentional contact or exposure to energy sources capable of causing injury.

Note 2 to entry: It has not been considered necessary to differentiate between the safety means applicable for *skilled persons* and instructed (trained) persons as defined in IEC 61140:2016. The same safety means apply for both.

[SOURCE: IEC 60050-826:2004, 826-18-01, modified – The adverb "electrically" has been removed from the term, the word "electricity" has been replaced by "the equipment", and the note to entry has been added.]

3.72

solid insulation

solid insulating material or a combination of solid insulating materials, placed between two conductive parts or between a conductive part and a body part

[SOURCE: IEC 60664-1:2020, 3.1.6]

3.73

supplementary insulation

independent insulation applied in addition to *basic insulation* for *fault protection*

Note 1 to entry: *Basic insulation* and *supplementary insulation* are separate, each designed for *basic protection* against electric shock.

[SOURCE: IEC 60664-1: 2020, 3.1.31, modified – The note to entry has been added.]

3.74

surge protective device

SPD

device that contains at least one non-linear *component* that is intended to limit surge voltages and divert surge currents

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.1, modified – The note to entry has been removed.]

3.75

system

set of interrelated and/or interconnected independent elements

Note 1 to entry: A *system* is generally defined with the view of achieving a given objective, for example by performing a definite function.

3.76

system voltage

voltage used to determine *insulation* requirements

Note 1 to entry: See 4.4.7.1.7 for further consideration of *system voltage*.

3.77

temporary overvoltage

overvoltage at power frequency of relatively long duration

[SOURCE: IEC 60664-1:2020, 3.1.12]

3.78

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

[SOURCE: IEC 60050-826:2004, 826-11-12]

3.79

type test

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

3.80

ventricular fibrillation

cardiac fibrillation, limited to the ventricles, leading to ineffective circulation and then to heart failure

Note 1 to entry: *Ventricular fibrillation* stops blood circulation.

[SOURCE: IEC 60050-891:1998, 891-01-16]

3.81

visual inspection

scrutiny by eye of an item carried out either without dismantling, or with the addition of partial dismantling as required in order to arrive at a reliable conclusion as to the condition of an item

[SOURCE: IEC 60050-426:2020, 426-14-02, modified – The adjective "visual" has been deleted from the term, and the definition has been rephrased.]

3.82**working voltage**

AC or DC voltage, at rated supply conditions (without tolerances) and worst case operating conditions, including RMS, recurring peak and mean values that occurs by design in a circuit or across protection means

3.83**zone of equipotential bonding**

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

Note 1 to entry: For equipotential bonding, it is not necessary for the parts to be earthed.

4 Protection against hazards**4.1 General**

Clause 4 defines the minimum requirements for the design and construction of a *PECS* and specified *accessories* for the intended use, to ensure its safety during installation, normal operating conditions and maintenance for the expected life cycle of the *PECS*. Consideration is also given to minimize hazards resulting from reasonably foreseeable misuse.

Information about the intended use, normal operating conditions and specified *accessories* shall be stated in the documentation.

Protection against hazards shall be maintained under normal, abnormal and *single fault conditions*, as specified in this document.

Clause 4 provides safety means for protection against hazards for *ordinary persons*. This document also considers relaxed safety means for *skilled persons* considering installation and maintenance of the *PECS*.

NOTE It has not been considered necessary to differentiate between the safety means applicable for *skilled persons* and instructed persons as defined in IEC 61140:2016. The same safety means apply for both.

Where the *PECS* is intended to be used together with specified *accessories*, the safety evaluation and test shall include these, unless it can be shown that it does not affect the safety of either equipment.

Risk assessment of the *PECS* might show hazards which are not covered by this document. For information, refer to Annex R.

For marking, see 6.2.

4.2 Single fault conditions and abnormal operating conditions

The *PECS* and specified *accessories* shall be designed to avoid operating modes or sequences that can cause a *single fault condition* or *component* failure leading to a hazard, unless other means to prevent the hazard are provided by the *installation* and are described in the *installation* information provided with the *PECS*, see Clause 6. The requirements in 4.2 also apply to *abnormal operating conditions* as applicable.

An analysis shall be performed to identify potential hazards.

This analysis shall include situations where a *single fault condition* in any *component*, *basic protection*, *fault protection* or *port* would result in:

- electrically induced mechanical force and thermal hazard according to 4.3;

- an impact on the decisive voltage determination according to 4.4.2;
- a risk of electric shock due to:
 - degradation of the *basic protection* according to 4.4.3, or
 - degradation of the *fault protection* according to 4.4.4;
- a risk of energy hazard according to 4.5;
- a risk of degradation due to emission of flame, burning particles, molten metal or fire according to 4.6;
- a risk of thermal hazard due to high temperature according to 4.6; or
- a risk of mechanical hazard according to 4.7.

NOTE This document does not provide any requirement to protect against chemical hazard.

The analysis and testing shall include the effect of short-circuit and open-circuit conditions of the *component*. Testing is necessary unless analysis can conclusively show that no hazard will result from failure of the *component*. Compliance shall be checked by test of 5.2.4.6.

The effect of other identified *abnormal operating condition* and *single fault condition* shall be tested according to the applicable test in 5.2.4.

The evaluation of *components* (see 4.13) shall be based on the expected stress occurring in the life cycle of the *PECS* including, but not limited to:

- specified climatic and mechanical conditions according to 4.9 (temperature, humidity, vibration, etc.);
- electrical characteristics according to 4.4.7.1 (expected impulse voltage, *working voltage*, *temporary overvoltage*, etc.); or
- micro-environment according to 4.4.7 (pollution degree, humidity, etc.).

Components evaluated according to relevant product standards in 4.13 are considered to meet these requirements and do not need any further investigation, if tested under conditions that fulfill the conditions for which the *PECS* is designed.

Clearance and *creepage distances* for *supplementary insulation*, *double insulation* and *reinforced insulation*, designed according to 4.4.7.4 and 4.4.7.5, are considered to meet these requirements and do not need any further investigation.

Functional insulation on printed wiring boards (PWB) and between legs of *components* assembled on PWBs not fulfilling the requirements for *clearance* and *creepage distance* in 4.4.7.4 and 4.4.7.5 shall meet the requirement of 4.4.7.7.

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

4.3 Short-circuit and overload protection

4.3.1 General

The *PECS* shall not present a hazard under short-circuit or overload conditions at any *port*, including phase to phase, phase to earth and phase to neutral. Adequate information shall be provided in the documentation to allow proper selection of external wiring and protective devices (see 6.3.9.6) taking into account the automatic disconnection of supply in 4.4.4.4.

To ensure proper coordination with *short-circuit protective devices (SCPD)* and the available *prospective short-circuit current*, the *PECS* manufacturer shall specify and test for each *mains supply port* of the *PECS*:

- *conditional short-circuit current* (I_{cc}) according to 4.3.2.2; or
- *short-time withstand current* (I_{cw}) according to 4.3.2.3.

Individual *mains supply ports* of a *PECS* shall have specific short-circuit ratings of either I_{cc} or I_{cw} , or of both.

Only in case where compliance does not rely on the current limiting characteristic of *SCPD*, the I_{cw} in 4.3.2.3 can apply.

In case an output *port* is connected or intended to be connected to the input *mains supply port*, the output *port* shall also be specified with an I_{cc} or I_{cw} rating (e.g. bypass between input *mains supply port* and output *port*).

For marking, see 6.2.1.

See Annex N for further information.

Protective *systems* or devices shall be provided or specified in sufficient quantity and location so as to detect and/or interrupt or limit the current flowing in any possible fault current path, caused by any internal or external faults.

NOTE 1 In this document, the term "overcurrent" covers both short-circuit and overload.

NOTE 2 Local *installation* codes will still usually require provision of such protection for the purposes of protecting the input wiring in the *installation*.

If the *PECS* complies with all normal, abnormal and *single fault conditions* in this document without such protection provided, specification of overcurrent protection for input circuits is not necessary for the protection of the *PECS*.

No protection is required against overcurrent to earth on *ports* that either

- has no connection to earth; or
- has *double insulation* or *reinforced insulation* between *live parts* and all parts connected to earth.

NOTE 3 Under a *single fault condition* in an IT *system*, no short-circuit current or a limited short-circuit current will flow. The interruption of the short-circuit current in an IT *system* (see 4.4.7.1.5) is done when a second fault occurs. Typically, only detection is done after the first fault in an IT *system*.

NOTE 4 Where *double insulation* or *reinforced insulation* is provided, a short-circuit to earth would be considered to be two faults.

For *PECS* designed as *pluggable equipment type A*, the protective device is provided in the *installation* and shall not require any specific characteristics other than that required in local *installation* codes.

For *PECS* designed as *pluggable equipment type B* or *permanently connected equipment*, this protection may be provided by devices external to the *PECS*, in which case the documentation shall state the need for the protection to be provided in the *installation* and shall include the specifications for the required short-circuit and/or overload protection (see 6.3.9.6).

NOTE 5 IEC 60364 (all parts) provides requirements for short-circuit and overload protection of the input wiring in the *installation*. The above requirement ensures that the user is informed about any special characteristics of the protective devices for the protection of the *PECS*, in addition to the requirements in IEC 60364 (all parts) or other local *installation* codes.

If a protective device interrupts the neutral conductor, it shall also simultaneously interrupt all other supply conductors of the same circuit. It is permissible for the protective device to interrupt the neutral conductor after the other supply conductors of the same circuit are interrupted.

For *PECS* that can not deliver *short-circuit currents* which are able to open *SCPD*, the output short-circuit test 5.2.4.4 may be omitted.

Compliance shall be checked by analysis of *single fault conditions* according to 4.2 and by the tests of 5.2.4.4 and 5.2.4.5.

4.3.2 Input short-circuit withstand strength and *output short-circuit current ability*

4.3.2.1 General

The interrupting capability of the *overcurrent protective device* shall be equal or greater than the *prospective short-circuit current* of the *mains supply* or *non-mains supply*.

Protective devices provided or specified shall have adequate breaking capability to interrupt the maximum *prospective short-circuit current* specified for the *port* to which they are connected.

If the result of one test is representative of the worst case, less severe combinations need not be tested.

4.3.2.2 Conditional short-circuit current (I_{cc}) on input ports

In case where the *PECS* manufacturer selects the conditional short-circuit current (I_{cc}) rating according to 4.3.1, the following shall be specified:

- *conditional short-circuit current* (I_{cc});
- characteristics of the *short-circuit protective device*; and
- *minimum required prospective short-circuit current* ($I_{cp,mr}$).

Compliance is shown through evaluation according to 4.2, to determine the appropriate combination of testing according to 5.2.4.4, 5.2.4.6 and 5.2.3.11.3 in order to evaluate *single fault conditions* and *abnormal operating conditions*.

4.3.2.3 Short-time withstand current (I_{cw}) on input ports

When the *PECS* manufacturer selects the *short-time withstand current* (I_{cw}) rating according to 4.3.1, the following shall be specified:

- *short-time withstand current* (I_{cw});
- associated duration; and
- *peak withstand current* (I_{pk}).

Compliance is shown through evaluation according to 4.2 to determine the appropriate combination of testing according to 5.2.3.11.3 and 5.2.4.4.3 in order to evaluate *single fault conditions* and *abnormal operating conditions*.

4.3.2.4 Output short-circuit current ability

The ability of the *PECS* to deliver a current, in the event of a short-circuit at the output, shall be defined in amperes and time.

NOTE The specification of current and time is to ensure sufficient information selecting the protective downstream device for the final application.

Compliance is verified by test in 5.2.4.4.

For marking, refer to 6.2.

4.3.2.5 Combined input and output ports

For *ports* which are both input and output *ports*, the applicable requirements of both 4.3.2.1 and 4.3.2.4 apply.

4.3.3 Short-circuit coordination (backup protection)

Protective devices provided or specified shall have adequate breaking capability to interrupt the *prospective short-circuit current* specified for the *port* to which they are connected.

For *PECS* designed as *pluggable equipment type A*, either the *PECS* shall be designed so that the building *installation* provides *short-circuit backup protection*, or additional *short-circuit backup protection* shall be provided as part of the *PECS*.

For *PECS* designed as *pluggable equipment type B* or *permanently connected* equipment, it is permitted for *short-circuit backup protection* to be in the building *installation*.

If internal protection of the *PECS* is not rated for the *prospective short-circuit current*, the documentation shall specify an upstream protective device, rated for this *prospective short-circuit current* of that *port*. Analysis shall ensure the protection coordination so that the external protection opens before the internal protection.

NOTE IEC 60364 provides requirements for upstream protective devices of the backup protection in the *installation*. The above requirement ensures that the user is informed about any special characteristics of the upstream protective devices for the backup protection of the *PECS*, in addition to the requirements in IEC 60364 or other local *installation* codes.

Compliance shall be checked by *visual inspection* in 5.2.1 and simulation or by the tests of 5.2.4.4 and 5.2.4.5.

For marking, refer to 6.3.9.6.

4.3.4 Protection by several devices

Where protective devices that require manual replacement or resetting are used in more than one pole of a supply to a given load, those devices shall be located together. It is permitted to combine two or more protective devices in one *component*.

Compliance shall be checked by *visual inspection* in 5.2.1.

For marking, see 6.5.6.

4.4 Protection against electric shock

4.4.1 General

Protection against electric shock depends on the *decisive voltage class* from 4.4.2 and protection requirements from 4.4.2.7 and shall be provided by at least one of the following means:

- *basic protection* from 4.4.3 in combination with *fault protection* from 4.4.4; or
- *enhanced protection* from 4.4.5.

Protection under normal operating conditions is provided by *basic protection*, and protection under *single fault conditions* is provided by *fault protection*.

Enhanced protection provides protection under both normal operating conditions and *single fault conditions*.

For the use of means of *basic protection* in combination with *fault protection* and *enhanced protection*, see 4.4.6 for different constructions.

Basic protection, *fault protection* and *enhanced protection* may be achieved by means of

- *clearance* and *creepage distances* (4.4.7.4 and 4.4.7.5);
- *solid insulation* (4.4.7.8);
- *protection* by means of *enclosure* and barriers (4.4.3.3); or
- a combination of those means.

Figure 1 and Figure 2 provide an overview of the fundamental concept for protection against electric shock according to IEC 61140:2016.

Where not stated otherwise in this document, protection against electric shock is based on the body reaction *ventricular fibrillation*.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62477-1:2022

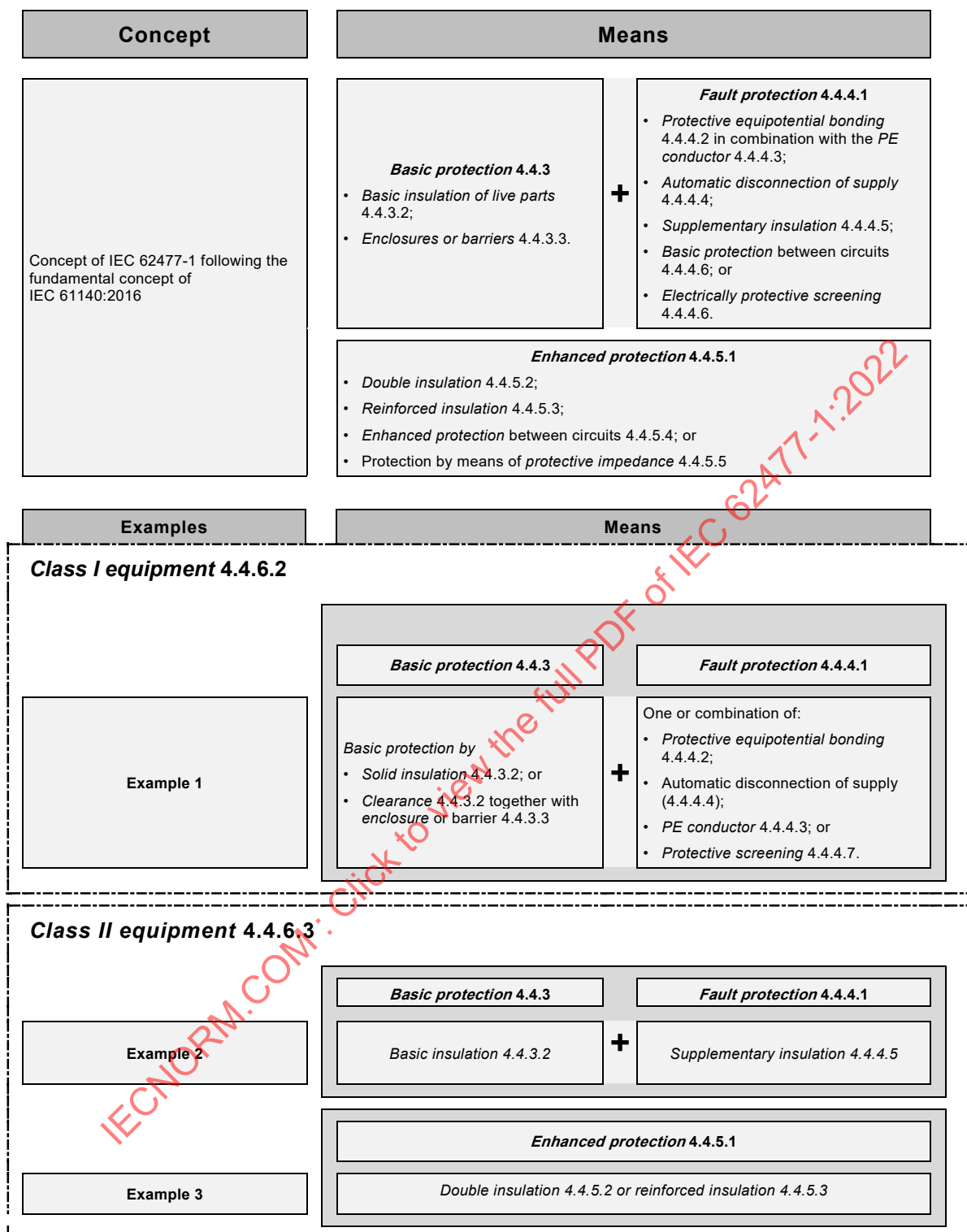


Figure 1 – Protective means for protection against electric shock considering *Class I equipment* and *Class II equipment*

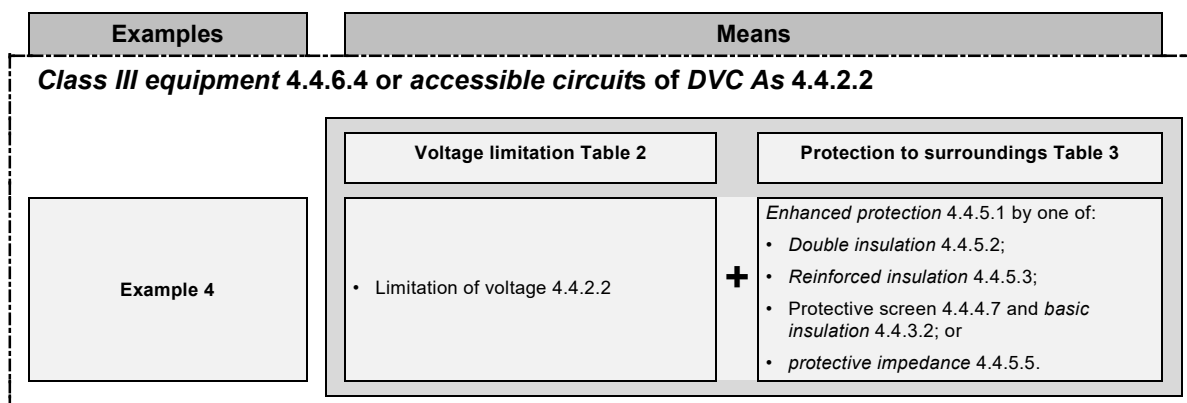


Figure 2 – Protective means for protection against electric shock considering Class III equipment or accessible circuits of DVC As

Additional protection according to IEC 61140:2016 can be provided by residual current-operated protective devices (RCD). For further information, see 4.4.8.

NOTE In this document, 4.4.1 to 4.4.6 have been harmonized with the concepts of the horizontal standard IEC 61140:2016 for protection against electric shock. *Basic protection*, *fault protection*, *enhanced protection* and the combination of those means have been implemented.

4.4.2 Decisive voltage class

4.4.2.1 General

This document considers three different types of circuits for the protection against electric shock: *DVC As*, *DVC B* and *DVC C*.

The determination of a *decisive voltage class* includes the following considerations:

- environmental conditions (dry, wet or salt-water-wet) for *DVC As*;
- normal operating conditions and *single fault conditions* for *DVC As*;
- size of body contact surface area for *DVC As*;
- maximum *working voltage* (AC RMS, AC peak and DC) (see Table 2);
- protection requirement between circuits and between circuits and surroundings (see Table 3); and
- *impulse withstand voltage* (see Table 2 and Table 7).

The manufacturer defines the *DVC* for the individual output circuits and provides this information with the documentation (see 6.2).

Input/output circuits with rated voltages within the limits of *DVC As* shall be investigated as *DVC As* circuits. Only circuits which are classified as *DVC As* shall be *accessible* to *ordinary person*.

For marking, see 6.2.1.3.

The probability of electric shock increases with voltage level, surface area of the conductive *accessible part* or circuit in contact with the skin and the humidity condition of skin. To reduce the likelihood of electric shock, it is important to determine the safe *decisive voltage class* (*DVC As*).

For the selection of the relevant *decisive voltage class* for *accessible circuits*, the following apply:

- the reaction of the body (perception, pain, let-go, ventricular fibrillation);
- the area of the *accessible part* of the *PECS* in relation to the area of the part of the body that may contact the *accessible part*; and
- the humidity condition of the body skin (dry, water-wet, saltwater-wet).

The values in Table 2 are based on a current path from the contact area hand to feet with the person in standing position, unless otherwise noted.

NOTE 1 For further information about body reactions, contact areas and humidity skin condition, see IEC 60479-1:2018.

NOTE 2 The design of a safe to touch *DVC As* circuit is simplified in this document. A more complex approach considering the body reaction, contact area and humidity skin condition as described in IEC 60479-1:2018 for the determination of *DVC As* can be used in a risk assessment (see IEC Guide 116) to show that an equivalent protection against electric shock is achieved.

4.4.2.2 *DVC As*

Under normal operating conditions, *abnormal operating conditions* and *single fault conditions*, the *DVC As* circuit shall meet the minimum requirements of:

- the voltage limits according to Table 2; and
- the protection requirement to the surroundings and *adjacent circuits* according to Table 3.

See Clause A.2, Clause A.3 and Clause A.4 for examples of these means.

NOTE Within the *PECS*, this document allows more than one *DVC As* circuit with different levels of *DVC As*.

4.4.2.3 *DVC B*

DVC B circuit shall meet the requirements of:

- the voltage limits according to Table 2;
- the protection requirement to the surroundings and *adjacent circuits* according to Table 3; and
- an *impulse withstand voltage* according to Table 7 determined by the requirement of 4.4.7.2.4.

4.4.2.4 *DVC C*

DVC C circuit shall meet the requirements of:

- the voltage limits according to Table 2;
- protection of persons and protection to the surroundings and *adjacent circuits* according to Table 3; and
- an *impulse withstand voltage* and *temporary overvoltage* according to Table 7 determined by the requirements of 4.4.7.1 to 4.4.7.4.

The protection requirements to other *DVC C* circuits shall be based on the consequence of a *single fault condition* (see 4.2). The protection shall be based on the highest *working voltage* and *impulse withstand voltage*.

4.4.2.5 Interconnection of external SELV/PELV to *DVC As* circuits

External SELV/PELV circuits intended to be connected to the *PECS* shall be investigated per their rated voltage at the point of interconnection according to *DVC As* or *DVC B* as defined in Table 2.

NOTE For values of SELV/PELV, refer to IEC 61140:2016, 5.2.6.

The *DVC* classification of the external circuits shall ensure that the external voltage does not violate the *DVC As* classification for the *PECS* considering the environmental conditions specified.

For marking, see 6.3.9.1.

4.4.2.6 Determination of the *decisive voltage class (DVC)*

The *decisive voltage class (DVC)* is used to determine the required level of protection from circuits to their surroundings in Table 3. For determination of the *working voltage*, see 4.4.7.1.2.

Examples for determination of the *DVC* are given in Clause A.5.

Limits for the *working voltage* for *DVC* are given in Table 2.

Table 2 – Voltage limits for the *decisive voltage classes DVC*

DVC	Limits of working voltage				
	During normal operation conditions				During single fault conditions and abnormal operating conditions
	V				V
	AC voltage (RMS) U_{AC}	AC voltage (peak) U_{peak}	DC voltage (mean) U_{DC}	Impulse withstand voltage U_{peak}^c	Voltage (AC peak or DC) ^b
DVC As (wet and salt water-wet) ^{d, e}	6	8,5	15	800	see Figure 5 and Figure 6
DVC As ^f (dry)	25 (30)	35,4 (42,4)	60		
DVC B	50	71	120	According to Table 7 ^a	
DVC C	1 000	4 500 ^g	1 500		

^a For *non-mains supply*, see 4.4.7.2.4.

^b Single pulses relate to DC voltage limits and repetitive pulses relate to AC voltage limits.

^c Maximum transients with the 1,2/50 µs impulse characteristic as design criteria. Refer to Table 7.

^d Values are derived from IEC 61140:2016, 5.2.6.

^e For climatic conditions, refer to Table 18.

^f Values in brackets are permitted if only one circuit is provided or circuits are not simultaneously *accessible*.

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

Within a time according to Figure 5 and Figure 6, the voltage shall decrease to the steady state value given in Table 2 or the fault shall be interrupted by a protective device. Under fault conditions where a protective device is used, the characteristics of such device shall ensure that the time-voltage limits given in Figure 5, Figure 6 and Figure 7 are not exceeded. If an external protective device is used, information on characteristics of such device shall be specified by the *PECS* manufacturer in the documentation according to 6.3.9.6.

For testing, see 5.2.4.

If the test results in a failure, additional means is required for protection against electric shock according to 4.4.3.

4.4.2.7 Requirements for protection against electric shock

Table 3 shows possible solutions for compliance with 4.4 for the application of *enhanced protection* or *basic protection*, dependent on the *DVC* of the circuit under consideration and of *adjacent circuits*.

The requirements of this document for protection against electric shock may be fulfilled by other means than shown in Table 3, in which case failure analysis according to 4.2 and testing shall show that the requirements of 4.1 and 4.4 are met.

Table 3 – Minimum protection requirements for circuit under consideration

Circuit under consideration	To accessible parts connected to PE ^g	To accessible parts not connected to PE ^a	To adjacent circuit		
	General access areas	Service access areas or restricted access areas	DVC As	DVC B	DVC C
	For ordinary persons and skilled persons	For skilled persons ^e			
DVC As	None ^b	None ^b	None ^{b,c,d}	Basic protection ^f	Enhanced protection
DVC B	None ^b	Basic protection	Basic protection ^f	None ^{b,c,d}	Enhanced protection
DVC C	Basic protection	Enhanced protection	Enhanced protection	Enhanced protection	None ^{b,d,e}

For more information on *basic protection*, see 4.4.3.

For more information on *enhanced protection*, see 4.4.5.1.

NOTE 1 This table describes the protection requirements between different galvanically separated circuits.

NOTE 2 Refer to Annex A for further explanation.

NOTE 3 For *DVC As*, take into account the level of Table 2.

NOTE 4 See row 4 of Table A.1 for protection requirement for openings in *enclosures*.

^a Any connection not fulfilling 4.4.4.2, for example functionally earthed.

^b Protection is not necessary for safety, but may be required for functional reasons according to 4.4.7.3. For *DVC As* circuits located in different environments, *basic protection* shall be used.

^c *Enhanced protection* is needed, if a *single fault condition* between circuits leads to a violation of the individual circuit's *DVC* classification.

^d *Basic protection* is needed based on the circuit with the higher voltage, if a *single fault condition* between circuits leads to voltages exceeding that of the circuit with the lower voltage.

^e *Enhanced protection* is needed based on the circuit with the higher voltage, if a *single fault condition* between *DVC C* circuits would result in a hazard.

^f *Basic protection* is sufficient, if it can be ensured that the values of *DVC B* are only present for a short period of time according to Figure 5 and Figure 6. Otherwise, *enhanced protection* is required.

^g Any connection fulfilling 4.4.4.2.

^h See 4.4.3.3.

To ensure the integrity of the protection of the *PECS*, the manufacturer of a *PECS* shall state the maximum voltage allowed to be connected to each *port*.

For marking, see 6.3.9.1.

4.4.3 Means for *basic protection* (protection against direct contact)

4.4.3.1 General

4.4.3 describes the means of *basic protection*. To prevent persons from touching *hazardous live parts* under normal operating condition, *basic protection* is employed. It shall be provided by means given below as specified in 4.4.1:

- protection by means of *basic insulation* of *hazardous live parts* in 4.4.3.2; or
- protection by means of *enclosures* or barriers in 4.4.3.3.

4.4.3.2 Protection by means of *basic insulation* of *hazardous live parts*

Basic insulation shall be provided by means of

- *solid insulation*; or
- *clearance* and *creepage distances* in combination with means of *enclosures* or barriers according to 4.4.3.3.

The *insulation* shall be rated according to the *impulse withstand voltage*, *temporary overvoltage* or *working voltage* (see 4.4.7.2.1), whichever gives the most severe requirement.

It shall not be possible to remove the *insulation* without the use of a tool or key.

A conductive *accessible part* is considered to be conductive if its surface is bare or is covered by an insulating layer that does not comply with the requirements of at least *basic insulation*.

Any conductive *accessible part* is considered to be a *hazardous live part* if not separated from the *live parts* by at least the minimum protective requirements specified in Table 3.

The *basic insulation* shall be designed and tested according to the *impulse withstand voltages* and *temporary overvoltages* for the circuits to which they are connected.

Compliance is shown by test of 5.2.3.2 and 5.2.3.4.

4.4.3.3 Protection by means of *enclosures* or barriers

Hazardous live parts shall be arranged in *enclosures* or located behind *enclosures* or barriers, which meet at least the requirements of IP2X according to IEC 60529:1989, IEC 60529:1989/AMD1:1999 and IEC 60529:1989/AMD2:2013.

However, *hazardous live parts* located at the top surfaces of *enclosures* or barriers which are *accessible* when the *PECS* is energized shall meet at least the requirements of type IP3X with regard to vertical access only.

For *PECS* designed as *movable equipment* with no defined top and bottom, this requirement of IP3X applies to all sides.

If the *PECS* is installed in a *restricted access area*, IPXXB instead of IP3X applies.

Openings in the *enclosure* above 1,8 m shall comply with IPXXB.

Compliance is checked by test of 5.2.2.2.

Opening *enclosures* or removing barriers shall be possible only through:

- the use of a tool or key; or
- after de-energization of *hazardous live parts*.

Where the *enclosure* is intended to be opened by *skilled persons* only and the *PECS* is energized during installation or maintenance:

- a) *accessible hazardous live parts* shall be protected by at least IPXXA;
- b) *hazardous live parts* that are likely to be touched when making adjustments shall be protected by at least IPXXB; and
- c) it shall be ensured that persons are aware that *hazardous live parts* are *accessible*, and shall be marked per the requirements in 6.3.9.1 and 6.5.1.

The protective means against access to *hazardous live parts* by means of *enclosure* and barriers according to 4.4.3.3 does not apply to *open type* sub-assemblies and *PECS* intended to be installed

- inside a supplementary *enclosure* in the end application; or
- in a *restricted access area*.

when marked according to 6.3.6.2.

4.4.4 Means for *fault protection* (protection against indirect contact)

4.4.4.1 General

Subclause 4.4.4 describes the means for *fault protection*. *Fault protection* is required to prevent electric shock which can result from contact with conductive *accessible parts* during and after a failure.

The *fault protection* shall be provided by one or more of the following means:

- *protective equipotential bonding* (circuit) in 4.4.4.2 in combination with a *PE conductor* in 4.4.4.3;
- automatic disconnection of supply in 4.4.4.4;
- supplementary *insulation* in 4.4.4.5;
- *basic protection* between circuits in 4.4.4.6; or
- *electrically protective screening* in 4.4.4.7.

Means used for *fault protection* shall be independent and additional to those for *basic protection*.

4.4.4.2 Protective equipotential bonding (circuit)

4.4.4.2.1 General

Protective equipotential bonding is a means for *fault protection* to enable protection against electric shock.

The *protective equipotential bonding* circuit consists of the interconnection of:

- *PE* terminal(s) of the *PECS* (see 4.4.4.3.2);
- the *PE conductors* (4.4.4.3) within and between the parts of the *PECS* including sliding contacts where they are part of the circuit; and
- the conductive structural parts and conductive *accessible parts* of the *PECS*.

Protective equipotential bonding shall be provided between conductive *accessible parts* of the *PECS* and the means of connection for the *PE conductor* in 4.4.4.3.2, to ensure automatic disconnection of the supply according to IEC 60364-4-41:2005 and IEC 60364-4-41:2005/AMD1:2017, Clause 411 (see Annex Q), except where conductive *accessible parts* are protected by one of the means for *enhanced protection* in 4.4.5.4.

Protective equipotential bonding shall be suitably protected against mechanical damage, chemical or electrochemical degradation, electromagnetic and thermodynamic forces.

The electrical connection points of the *protective equipotential bonding* shall be corrosion-resistant.

Electrical connections of *protective equipotential bonding* circuit shall be designed so that contact pressure is not transmitted through insulating material, unless there is sufficient resilience in the metallic parts to compensate for any possible shrinkage or distortion of the insulating material.

Every connection (e.g. screwed, clamps) between *protective equipotential bonding* and other equipment shall provide durable electrical continuity and adequate mechanical strength and protection.

Screws for connecting *protective equipotential bonding* shall not serve any other purpose except when the manufacturer specifies this in the documentation.

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

- through direct metallic contact (see Figure 4, key 8);
- through other conductive *accessible parts* or other metallic *components* which are not removed when the *PECS* is used as intended; or
- through metal *enclosures*, walls or frames.

When painted surfaces (in particular powder painted surfaces) are joined together, masking of paint, paint piercing methods or a separate connection shall be made to ensure reliable contact.

Where electrical equipment is mounted on lids, doors, or cover plates, continuity of the *protective equipotential bonding* circuit shall be ensured by a dedicated conductor or equivalent means complying with the requirements for *protective equipotential bonding*. If fasteners, hinges or sliding contacts do not provide and guarantee low enough impedance, sufficient parallel bonding is required.

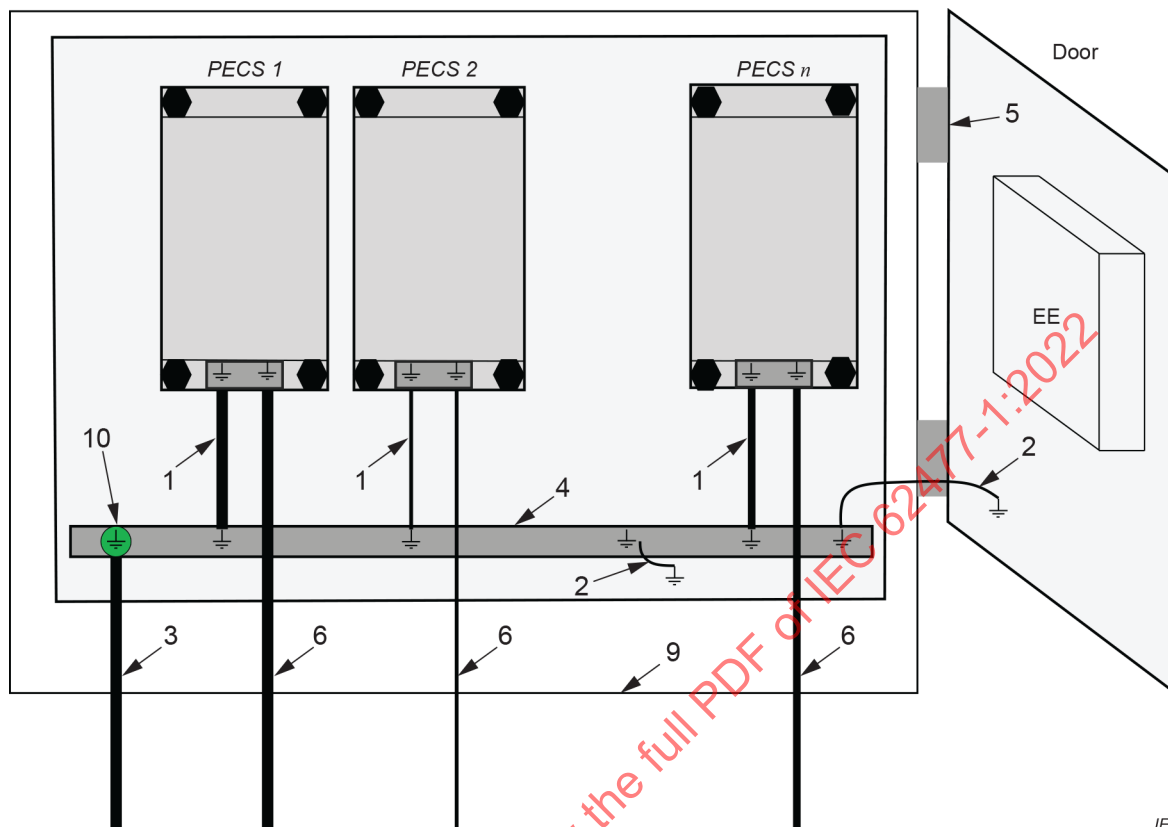
Unless specified by the manufacturer and in compliance with 4.4.4.2.2, metal ducts of flexible or rigid construction and metallic cable sheaths shall not be used as *protective equipotential bonding* means. Nevertheless, such metal ducts, the metal sheathing of all connecting cables (for example cable armoring, lead sheath) shall be connected to the *protective equipotential bonding* circuit.

Where hazardous voltage on unused conductors is present due to capacitive or inductive coupling from adjacent conductors, the unused conductors shall be connected to the *protective equipotential bonding* circuit.

The *protective equipotential bonding* circuit shall not incorporate a *component* such as switch or *overcurrent protective devices* which may open the circuit.

For marking, see 6.3.9.3.

Figure 3 shows an example of a *PECS* assembly and its associated *protective equipotential bonding*.

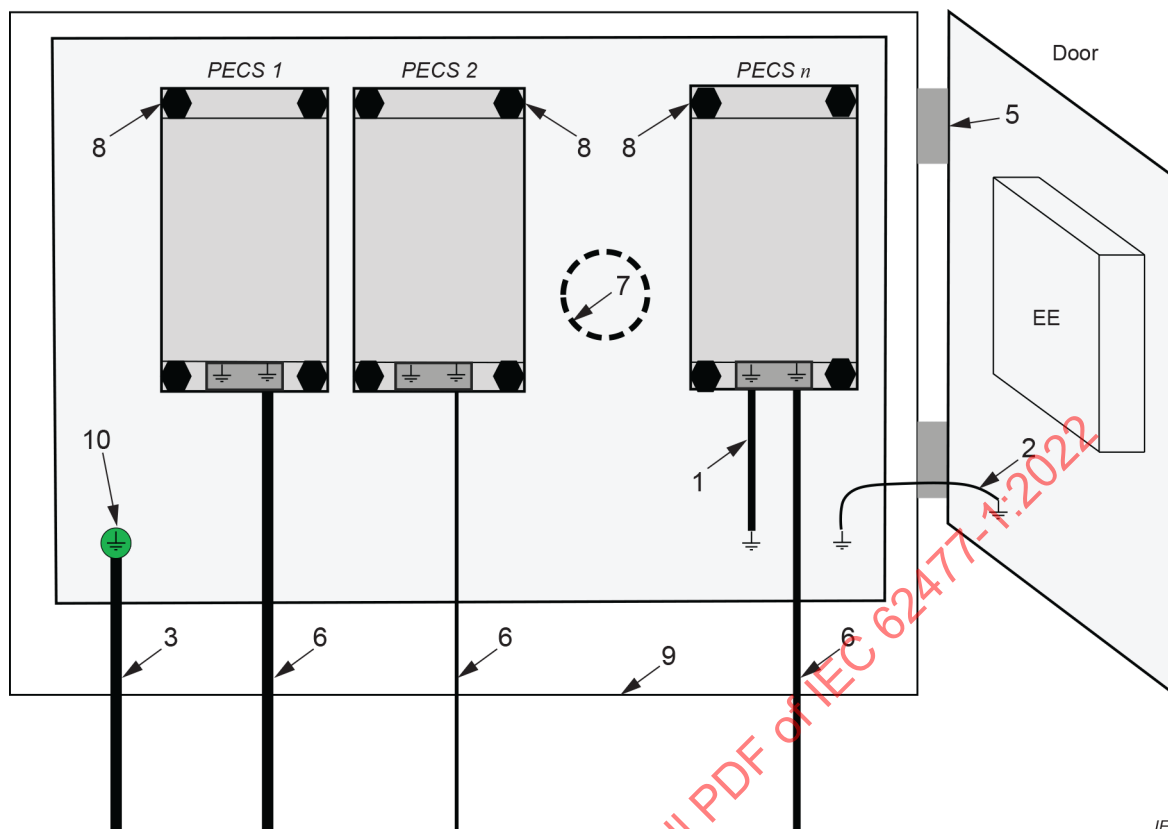


Key

- 1 internal protective equipotential bonding of subsystems (4.4.4.2)
- 2 internal protective equipotential bonding (4.4.4.2)
- 3 external PE conductor (dimensioned according to PECS requirements) to installation earthing point
- 4 internal earth bar
- 5 hinge
- 6 protective equipotential bonding conductor to the load (4.4.4.2)
- 7 not used
- 8 not used
- 9 enclosure (4.12)
- 10 means of connection for the PE conductor (4.4.4.3.2)
- EE other electrical equipment (bonded as relevant for that equipment)

Figure 3 – Example of a *PECS* assembly and its associated *protective equipotential bonding*

Figure 4 shows an example of a *PECS* assembly and its associated *protective equipotential bonding* through direct metallic contact.



Key

- 1 internal *protective equipotential bonding* of subsystems
- 2 internal *protective equipotential bonding* (4.4.4.2)
- 3 external *PE conductor* (dimensioned according to *PECS* requirements) to *installation* earthing point
- 4 not used
- 5 hinge
- 6 *protective equipotential bonding* conductor to the load (4.4.4.2)
- 7 metal subplate
- 8 internal *protective equipotential bonding* through direct metallic contact according to manufacturer's documentation
- 9 enclosure (4.12)
- 10 means of connection for the *PE conductor* (4.4.4.3.2)
- EE other electrical equipment (bonded as relevant for that equipment)

Figure 4 – Example of a *PECS* assembly and its associated *protective equipotential bonding* through direct metallic contact

4.4.4.2.2 Rating of *protective equipotential bonding*

Protective equipotential bonding shall either be:

- a) sized in accordance with the requirements for the *PE conductor* in 4.4.4.3 and the means of connection for the *PE conductor* in 4.4.4.3.2 to ensure no voltage drop exceeding the limits from Figure 7 during a fault; or
- b) sized:
 - to withstand the highest stresses that can occur to the *PECS* item(s) concerned when they are subjected to a fault connecting to conductive *accessible parts*; and
 - to remain effective for as long as a fault to the conductive *accessible parts* persists or until an upstream protective device removes power from the part.

Compliance shall be checked with the *type tests* in 5.2.3.11.

4.4.4.3 PE conductor

4.4.4.3.1 General

A *PE conductor* shall be connected at all times when power is supplied to the *PECS*, unless the *PECS* complies with the requirements of *class II equipment* (see 4.4.6.3) or *class III equipment* (see 4.4.6.4). Unless local wiring regulations state otherwise, the *PE conductor* cross-sectional area shall be determined from Table 4 or by calculation according to IEC 60364-5-54:2011, 543.1.

If the *PE 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 4 – PE conductor cross-sectional area

Cross-sectional area of phase conductors of the <i>PECS</i> S mm ²	Minimum cross-sectional area of the corresponding <i>PE conductor</i> S_p^a mm ²
$S \leq 16$	S
$16 < S \leq 35$	16
$35 < S$	$S/2$
^a These values are valid only if the <i>PE conductor</i> is made of the same material as the phase conductors. In case of different materials, the cross-sectional area of the <i>PE conductor</i> shall be determined in a manner which produces a conductance equivalent to that which results from the application of this table.	

The cross-sectional area of every *PE conductor* that 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.

Provisions within cord-connected *PECS* shall be made so that the *PE 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, the *PECS* designer shall verify the *PE conductor* cross-section required.

4.4.4.3.2 Means of connection for the PE conductor

PECS shall have a means of connection for the *PE conductor*, located near the terminals for the respective phase conductors. The means of connection shall be corrosion-resistant and shall be suitable for the connection of conductors according to Table 4 and of cables in accordance with the wiring rules applicable at the *installation* (see 4.4.4.3.3, 4.11.10.2 and 4.11.10.3).

The means of connection for the *PE conductor* shall not be used as a part of the mechanical assembly of the *PECS* or for other connections. Connection and bonding points shall be designed so that their current-carrying capacity is not impaired by mechanical, chemical, or electrochemical influences.

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

Where *enclosures* and/or conductors of aluminium or aluminium alloys are used, particular attention should be given to the problems of electrolytic corrosion.

Annex K provides further information about electrochemical potentials.

Compliance shall be checked by *visual inspection* in 5.2.1.

For marking, see 6.3.9.2.2.

The marking shall not be placed on or fixed by screws, washers or other parts which might be removed when conductors are being connected.

4.4.4.3.3 Requirements for reinforced *PE conductor*

4.4.4.3.3.1 General

The requirements of 4.4.4.3.3 shall be satisfied to prevent conductive *accessible parts* to become hazardous in case of damage to or disconnection of the *PE conductor* thereby affecting the *touch current*. It also addresses issues with *PECS* having high leakage current.

4.4.4.3.3.2 *PECS* designed as *pluggable equipment type A*

For *pluggable equipment type A*, the *touch current* shall not exceed the limits specified in Table 5.

4.4.4.3.3.3 *PECS* designed as *pluggable equipment type B* and *permanently connected equipment*

For *pluggable equipment type B* and *permanently connected equipment*,

- a) the *touch current* shall not exceed the limits specified in Table 5; or
- b) a *pluggable equipment type B* connection with a minimum *PE conductor* cross-sectional area of 2,5 mm² as part of a multi-conductor power cable, and a strain relief according to 4.12.6 shall be used; or
- c) one of the following items shall be provided:
 - a cross-sectional area of the *PE conductor* of at least 10 mm² Cu or 16 mm² Al;
 - automatic disconnection of the supply in case of discontinuity of the *PE conductor* in 4.4.4.4;
 - an additional terminal for a second *PE conductor* of the same cross-sectional area as the original *PE conductor* in Table 4; or
 - the *PE conductor* according to Table 4 is completely enclosed within electrical equipment *enclosures* or otherwise protected throughout its length against mechanical damage (see 4.11.2.2).

Compliance is checked by *visual inspection* in 5.2.1 and by test of 5.2.3.7.

For marking, see 6.3.9.4.

4.4.4.3.3.4 High leakage current conditions for *permanently connected PECS*

During normal operating conditions, the *PE conductor* current (RMS) shall not exceed 5 % of the rated input current of *permanently connected PECS*.

If the above requirement is not achievable for functional or other reasons, the manufacturer shall provide information in the documentation about the required protective means such as:

- an oversized *PE conductor*; or
- *protective equipotential bonding* between the *PECS* and simultaneously *accessible* external conductive objects within 2,5 m such as the following:
 - metallic pipes;
 - fences;
 - fixed ladders;
 - handrails;
 - a connection to local earth.

NOTE Refer to IEC 60204-1:2016, Figure 4.

Compliance is checked by test of 5.2.3.7.

For marking, see 6.3.9.4.

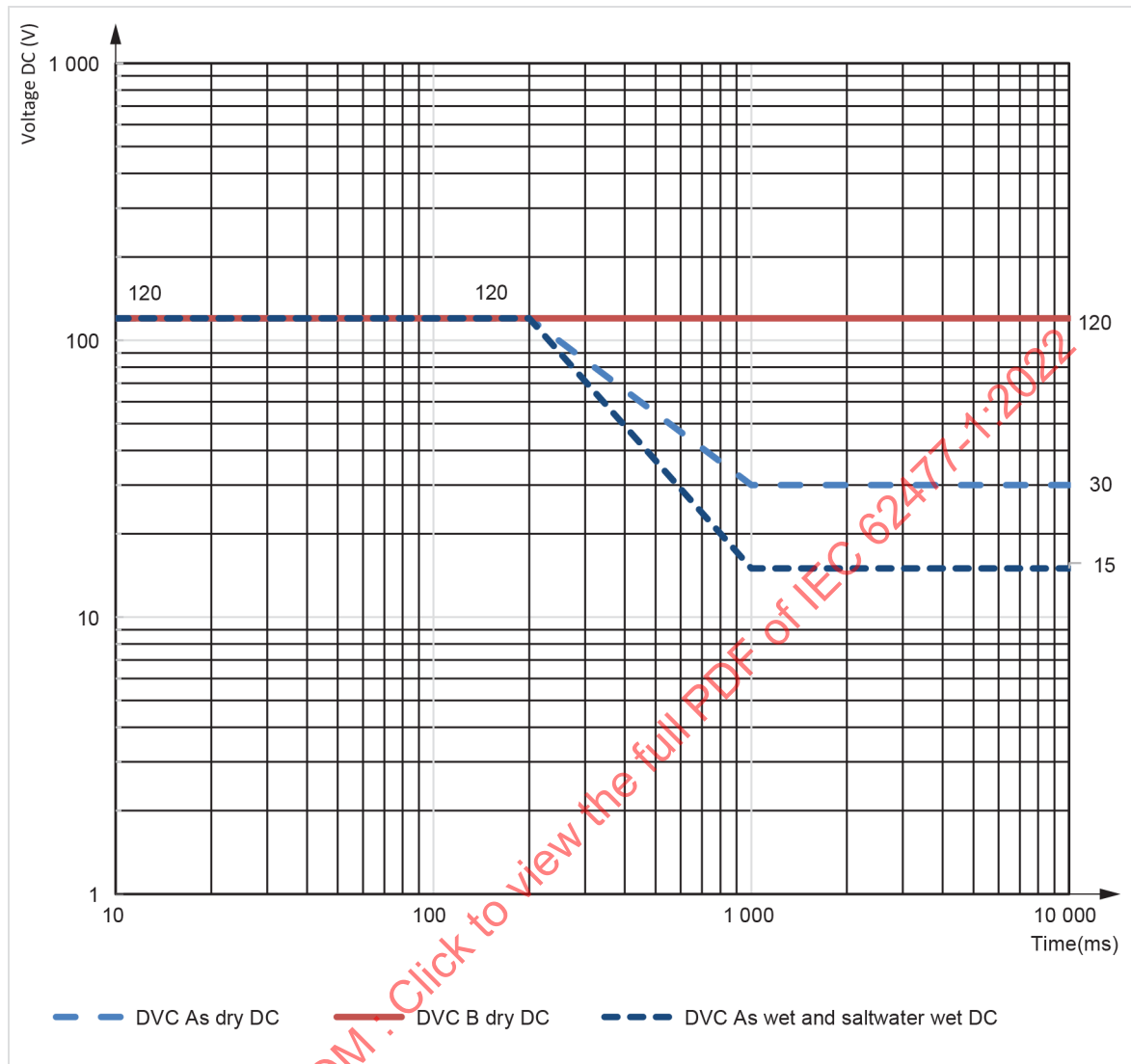
4.4.4.4 Automatic disconnection of supply

For automatic disconnection of supply:

- a *protective equipotential bonding system* shall be provided; and
- a protective device operated by the fault current shall disconnect one or more of the phase conductors supplying the *PECS* or *installation*, in case of a failure of *basic protection*.

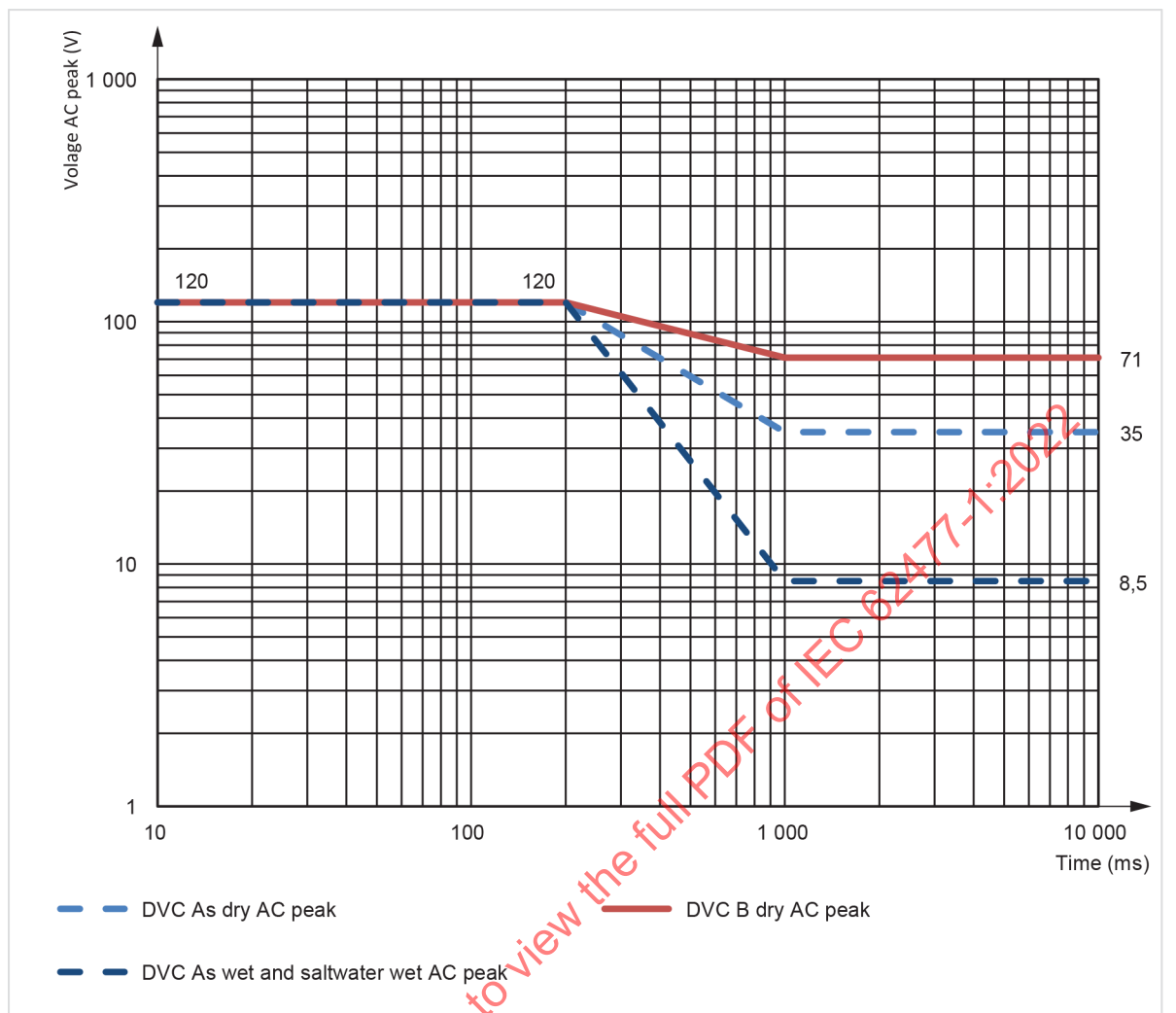
The protective device shall be the same type as specified in 4.3.1.

The protective device shall interrupt the fault current within a time as specified in Figure 5, Figure 6 or Figure 7.



IEC

Figure 5 – Time-voltage zones for accessible circuits of DVC As and DVC B – DC during single fault conditions



IEC

Figure 6 – Time-voltage zones for accessible circuits of DVC As and DVC B – AC peak during single fault conditions

NOTE DC voltage limits in Figure 5 provide information about risk of internal burn of the human body considered just as harmful as the AC voltage. Figure 6 provides information about the limits for *ventricular fibrillation* which only apply to AC voltages.

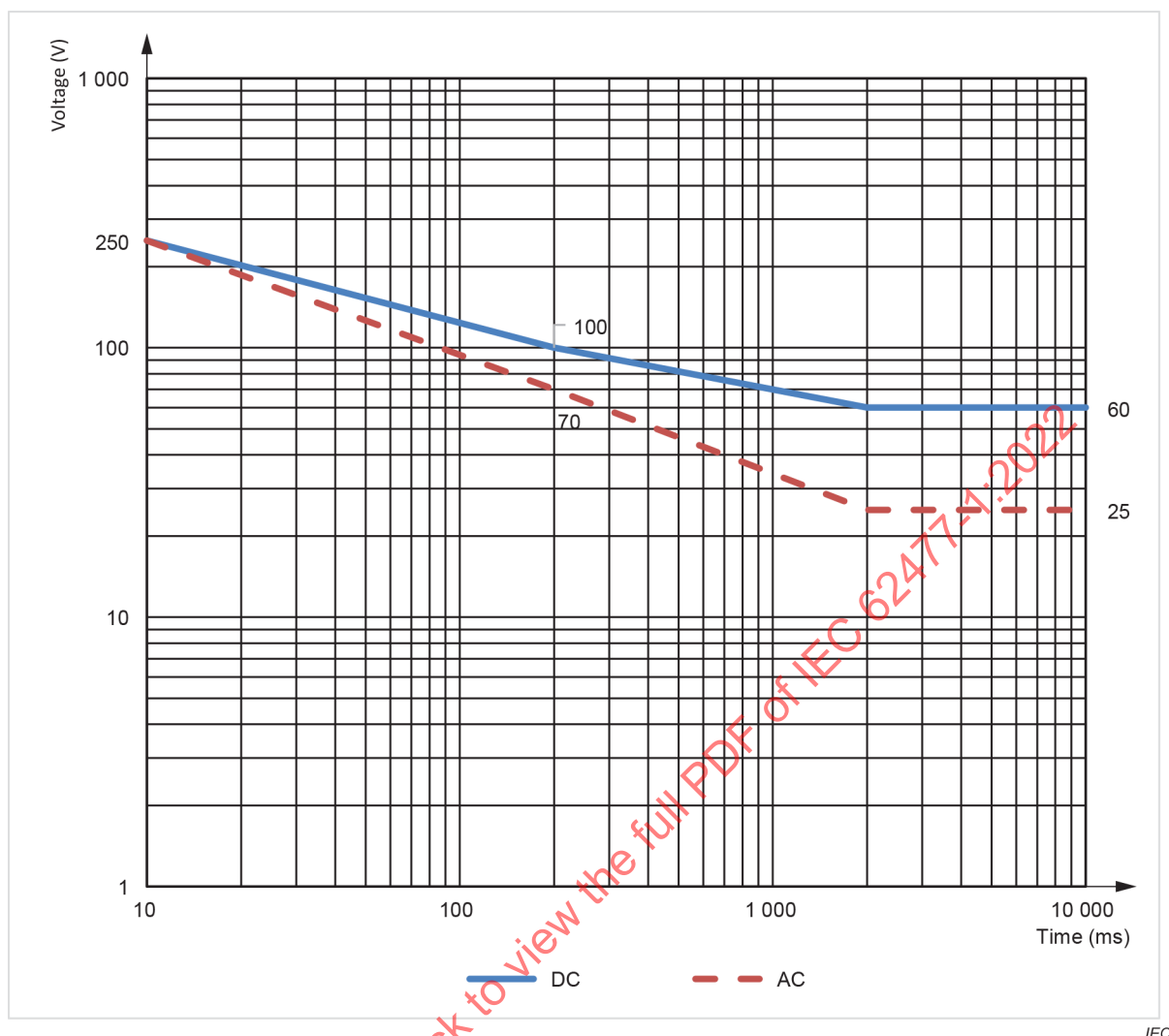


Figure 7 – Time-voltage zones for conductive accessible parts during single fault conditions

4.4.4.5 Supplementary insulation

Supplementary insulation is an independent *insulation* applied in addition to *basic insulation* for *fault protection* and shall be dimensioned to withstand the same stresses as specified for *basic insulation*.

4.4.4.6 Basic protection between circuits

Basic protection between a circuit and other circuits or earth shall be achieved by *basic insulation* throughout, rated for the highest voltage present.

If any *component* is connected between the separated circuits, that *component* shall withstand the electric stresses specified for the *insulation* which it bridges (see 4.4.7.1.8).

If any *component* is connected between a circuit and a circuit connected to earth, its impedance shall limit the current flow through the *component* to the steady-state *touch current* values indicated in 4.4.5.5.

If one or more *components* are connected between circuits and a circuit connected to earth, their impedance shall limit the total current flow through the *component(s)* to the steady-state *touch current* values indicated in 4.4.5.5.

4.4.4.7 **Electrically protective screening**

Electrically protective screening interposed between *hazardous live parts* of a PECS shall consist of a conductive screen connected to the *protective equipotential bonding* of the PECS whereby the screen is separated from *hazardous live parts* by at least *basic protection*.

The conductive screen and the connection to the *protective equipotential bonding system* of the PECS and that interconnection shall comply with the requirements of 4.4.4.2.

4.4.5 **Means for enhanced protection**

4.4.5.1 **General**

Subclause 4.4.5 describes the means of *enhanced protection*. *Enhanced protection* shall provide both *basic protection* and *fault protection* and can be achieved by means of:

- *double insulation* in 4.4.5.2;
- *reinforced insulation* in 4.4.5.3;
- *enhanced protection* between circuits in 4.4.5.4; or
- protection by means of *protective impedance* in 4.4.5.5.

4.4.5.2 **Double insulation**

Double insulation shall meet the requirement of *basic insulation* and *supplementary insulation* (see 4.4.3.2 and 4.4.4.5).

4.4.5.3 **Reinforced insulation**

Reinforced insulation shall be so designed as to be able to withstand electric, thermal, mechanical and environmental stresses with the same reliability of protection as provided by *double insulation* (*basic insulation* and *supplementary insulation* – see 4.4.3.2 and 4.4.4.5).

4.4.5.4 **Enhanced protection between circuits**

Enhanced protection between a circuit and other circuits shall be achieved by one of the following means:

- *double insulation* in 4.4.5.2 (*basic insulation* in 4.4.3.2 and *supplementary insulation* in 4.4.4.5);
- *reinforced insulation* in 4.4.5.3;
- *electrically protective screening* in 4.4.4.7 in combination with *basic insulation* in 4.4.3.2; or
- a combination of these means.

If any *component* is connected between the separated circuits, that *component* shall comply with the requirements for *protective impedance* devices (see 4.4.5.5).

4.4.5.5 **Protection by means of protective impedance**

To protect against a hazardous *touch current* when touching any conductive *accessible part* of the complete PECS, any impedances connected between *hazardous live parts* and conductive *accessible parts* or *accessible circuits* of DVC As shall comply with the requirements for *protective impedances*.

Protective impedances shall be arranged so that, under normal operating conditions, *abnormal operating conditions* and *single fault conditions*, the available *touch current* shall be limited according to Table 5 and the discharge energy shall be limited to 0,5 mJ.

Access to parts able to deliver *touch currents* above the limits of Table 5 shall be prevented under *normal operation*, *single fault conditions* and *abnormal operating conditions*, except for conductive parts connected to *PE* according to 4.4.4.3.3.

Table 5 – Limits for access of touch current

Frequency range	Normal operation condition limit ^{a, b, c}	Single fault condition and abnormal operating condition limit ^{a, b, d, e}
DC	2 mA	10 mA
AC ≤ 1 kHz	0,5 mA RMS or 0,7 mA peak	3,5 mA RMS or 5 mA peak
1 kHz < AC ≤ 100 kHz	0,5 mA RMS × frequency in kHz or 0,7 mA peak × frequency in kHz	3,5 mA RMS + 0,95 × frequency in kHz or 5 mA peak + 0,95 × frequency in kHz
AC > 100 kHz	50 mA RMS or 70 mA peak	100 mA RMS or 140 mA peak
^a For non-sinusoidal waveforms, the peak values apply and the current is measured using the measuring network specified in IEC 60990:2016, Figure 4, for currents up to 2 mA or IEC 60990:2016, Figure 5, for currents above 2 mA. ^b For sinusoidal waveforms and DC, the RMS values apply and the current may be measured using a 2 000 Ω resistor. ^c These limits are the threshold of perception according to IEC 60479-1:2018 and IEC 61140:2016. ^d These limits are the threshold of pain according to IEC 60479-1:2018 and IEC 61140:2016. ^e These fault conditions include loss of <i>PE</i> connection.		

A *protective impedance* designed according to 4.4.5.5 shall not be considered as a galvanic connection.

When *protective impedances* are used to bridge any *insulation*, 4.4.7.1.8 applies.

For compliance with the requirement for the limitation of *touch currents*, see 5.2.3.7.

For compliance with the requirement for the limitation of *touch currents* for *protective impedance*, see 5.2.3.6.

Compliance with the requirement for the discharge energy shall be checked by performing calculations and/or measurements to determine the voltage and capacitance.

For marking, see 6.3.9.4.

4.4.6 Protective means for equipment classes

4.4.6.1 General

That part of a *PECS* which meets the requirements of 4.4.6.2 is defined as *class I equipment*.

That part of a *PECS* which meets the requirements of 4.4.6.3 is defined as *class II equipment*.

That part of a *PECS* which meets the requirements of 4.4.6.4 is defined as *class III equipment*.

Compliance shall be checked by satisfying the requirements for *class I*, *class II* or *class III equipment*.

NOTE A part of a *PECS* can constitute equipment of a different class than the rest of the system.

Figure 1 and Figure 2 provides examples of the use of elements of protective means relevant for *class I*, *class II* and *class III equipment* and circuits.

Class I, class II and class III equipment shall be marked according to 6.3.9.2.

4.4.6.2 Protective means for PECS designed as class I equipment

Class I equipment shall meet the requirements for:

- *basic protection* in 4.4.3; and
- *fault protection* in 4.4.4.2 and 4.4.4.3 with respect to *protective equipotential bonding* and *PE conductor*.

See Figure 1, example 2, and Table A.1, row 4.

4.4.6.3 Protective means for PECS designed as class II equipment

Class II equipment shall meet the requirements for *enhanced protection* according to 4.4.5.1.

In addition, the *enclosure* shall meet the requirement in 4.4.3.3 with respect to accessibility to *hazardous live parts*.

See Figure 1, example 1, and Table A.1, row 4.

Class II equipment shall not have means of connection for the *PE conductor*. This does not apply if a *PE conductor* is passed through the *PECS* to equipment series-connected beyond it.

In the latter case, the *PE conductor* and its means for connection shall be separated from:

- *accessible surface* of the *PECS*; and
- circuits which employ *enhanced protection*

with at least *basic protection* according to the requirement in 4.4.4.6.

The *basic protection* shall be designed according to the rated voltage of the series-connected equipment.

PECS designed as *class II equipment* may have means for the connection of an earthing conductor for functional reasons or for the damping of overvoltages. In this case, the functional earthing conductor shall be separated from:

- *accessible surface* of the *PECS*; and
- circuits which employ *enhanced protection* according to 4.4.5.4

with at least *enhanced protection* according to the requirement in 4.4.5.4.

NOTE For more information about functional earthing, see IEC 60364-5-54:2011 and IEC 60364-5-54:2011/AMD1:2021, 545.

Class II equipment shall be marked according to 6.3.9.2.3.

4.4.6.4 Protective means for PECS designed as class III equipment

Class III equipment shall be marked according to 6.3.9.2.4 and does not need *basic protection* or *fault protection*.

NOTE *Class III equipment* relies on being fed from a supply complying with the protective means for *DVC* As circuits (see 4.4.2.2). Therefore, the *class III equipment* is considered safe to touch and needs no further protective means for protection against electric shock.

4.4.7 Insulation

4.4.7.1 Influencing factors

4.4.7.1.1 General

Subclause 4.4.7 gives minimum requirements for *insulation*, based on the principles of IEC 60664.

Manufacturing tolerances shall be taken into account for the distances in 4.4.7.

Insulation shall be selected after consideration of the following influences:

- *working voltage* (see 4.4.7.1.2);
- *pollution degree* (see 4.4.7.1.3);
- *overvoltage category* (see 4.4.7.1.4)
- *supply system earthing* (see 4.4.7.1.5);
- *impulse withstand voltage* and *temporary overvoltage* (see 4.4.7.1.6);
- *system voltage* considering the specified *supply system earthing* (see 4.4.7.1.7);
- altitude and field homogeneity (see 4.4.7.4.3; 4.4.7.4.4);
- location of *insulation*;
- type of *insulation*; and
- material characteristics (see 4.4.7.5.1, 4.4.7.8.2, 4.4.7.8.4).

Verification of *insulation* shall be made according to 5.2.3.1, 5.2.3.2, 5.2.3.3, 5.2.3.4 and 5.2.3.5, as applicable.

4.4.7.1.2 Working voltage

The *working voltage*, including RMS, recurring peak and mean values, shall be determined either by calculation, or simulation or by test taking into account the voltage within circuits, against *adjacent circuits* and against earth.

For guidance, see Clause A.5.

For test, see 5.2.3.14.

4.4.7.1.3 Pollution degree

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

Table 6 – Definitions of *pollution degrees*

<i>Pollution degree</i>	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.
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.
NOTE These definitions are from IEC 60664-1:2020.	

The *pollution degree* shall be determined according to the environmental condition for which the product is specified. See Table 18 for selection of *pollution degree* according to environmental classification of the *installation*.

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

- information is provided indicating that the *PECS* shall be installed in a *pollution degree* 2 environment;
- the specific *installation* application of the *PECS* is known to be a *pollution degree* 2 environment; or
- the *PECS enclosure* or coatings applied within the *PECS* according to 4.4.7.8.4.3 or 4.4.7.8.5 provide adequate protection against what is expected in *pollution degree* 3 and 4 (conductive pollution and condensation).

Where internal condensation or accumulation of water occurs during normal operation or maintenance, means shall be taken to prevent degradation of insulation.

For marking, see 6.3.3.

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

NOTE 1 See Annex B for further information about the reduction of *pollution degree*.

NOTE 2 For *pollution degree* 4, the dimensions for *creepage distance* cannot be specified where permanently conductive pollution is present. For *pollution degree* 3, the surface of the *insulation* can be designed to avoid a continuous path of conductive pollution, for example by means of ribs and grooves. Annex D provides further information about the evaluation of *clearance* and *creepage distances*.

4.4.7.1.4 Overvoltage category (OVC)

The concept of *overvoltage categories* (based on IEC 60364-4-44:2007, IEC 60364-4-44:2007/AMD1:2015 and IEC 60364-4-44:2007/AMD2:2018 and IEC 60664-1:2020) is used for *PECS* energized from the *mains supply*, and addresses the level of overvoltage expected. The *OVC* for *non-mains supply* is determined by taking into account whether control of overvoltages is provided or not, and whether the *PECS* is connected to outdoor lines or not, and if so, the length of the lines.

Four categories are considered.

- PECS* of *overvoltage category* IV (OVC IV) is for use at the origin of the *installation*.

EXAMPLE 1 Electricity meters and primary overcurrent protection equipment and other equipment connected directly to outdoor open lines.

- Equipment of *overvoltage category III (OVC III)* is equipment in fixed *installations* and for cases where the reliability and the availability of the equipment are subject to special requirements.

EXAMPLE 2 Switches in the fixed *installation* and equipment for industrial use *permanently connected* to the fixed *installation*.

- *PECS* of *overvoltage category II (OVC II)* is energy-consuming equipment to be supplied from the fixed *installation*.

EXAMPLE 3 Appliances, portable tools and other household and similar loads.

If such *PECS* is subjected to special requirements with regard to reliability and availability, *overvoltage category III* applies.

- *PECS* of *overvoltage category I (OVC I)* is equipment for connection to circuits in which means are taken to limit transient overvoltages to an appropriately low level.

EXAMPLE 4 Equipment containing electronic circuits protected to this level.

NOTE Unless the circuits are designed to take the *temporary overvoltages* into account, equipment of *overvoltage category 1* cannot be directly connected to the *mains supply*.

The means for reduction of the impulse voltage shall ensure that the *temporary overvoltages* that could occur are sufficiently limited so that their peak value does not exceed the relevant rated *impulse withstand voltage* of Table 7 and shall meet the requirement of 4.4.7.2.3, 4.4.7.2.4 and 4.4.7.3 as applicable.

Annex I shows examples of *overvoltage category* considerations for *insulation* requirements.

For *PECS* and circuits not intended to be powered from the *mains supply*, the appropriate *overvoltage category* shall be determined as required by the application based on the overvoltage control provided on the supply to the *PECS* or circuit (see 4.4.7.2.4).

4.4.7.1.5 Supply system earthing

The following three basic types of *system earthing* are described in IEC 60364-1:2005.

- *TN system*: Has one point directly earthed, the conductive *accessible parts* of the *installation* being connected to that point by *PE conductors*. Three types of *TN systems*, *TN-C*, *TN-S* and *TN-C-S*, are defined according to the arrangement of the neutral and *PE conductors*. A corner-earthed *TN system* or high-leg delta *TN system* is a *TN system* with one phase earthed.
- *TT system*: Has one point directly earthed, the conductive *accessible parts* of the *installation* being connected to earth electrodes electrically independent of the earth electrodes of the power system. A corner-earthed *TT system* or high-leg delta *TT system* is a *TT system* with one phase earthed.
- *IT system*: Has all *live parts* isolated from earth or one point connected to earth through an impedance, the conductive *accessible parts* of the *installation* being earthed independently or collectively to the *system earthing*.

NOTE 1 In the USA and Canada, the use of a *TT system* is not applicable.

NOTE 2 "One point" is typically the star point or a phase but not limited to this.

NOTE 3 For further information about earthing system concepts (e.g. *TN-C*, *TN-S* and *TN-C-S*), see IEC 60364-1:2005, Clause 312.

NOTE 4 Two cases of delta-connected *systems* with one point directly earthed are corner-earthed systems and high-leg delta *systems*. In a corner-earthed *system*, one phase is directly earthed. In a high-leg delta *system*, one winding of a delta-connected transformer is centre-tapped, the centre tapping being directly connected to earth.

NOTE 5 For the purpose of connecting the supply transformer to ground, in the USA and Canada the term "bonding" is used instead of "earthing".

In a *PECS* designed for operation on a corner-earthed or high-leg delta system,

- the *insulation* between phases of the *mains supply* of *PECS*, including the earthed phase, may be designed for *functional insulation* according to 4.4.7.3, and
- the circuits within the *PECS* directly connected to any phase of a corner-earthed or high-leg delta system shall be separated from earthed parts by at least *basic insulation*.

For marking, see 6.2.1.4.

4.4.7.1.6 Determination of impulse withstand voltage and temporary overvoltage

Table 7 uses the *system voltage* (see 4.4.7.1.7) and *overvoltage category* (see 4.4.7.1.4) of the circuit under consideration to determine the *impulse withstand voltage*. The *system voltage* is also used to determine the *temporary overvoltage* for *mains supplies*.

A *PECS* having more than one input or output shall be evaluated according to the input or output which gives the most severe requirements. See also 4.4.7.2.5.

Table 7 – Impulse withstand voltage and temporary overvoltage versus system voltage

Column 1		2	3	4	5	6
System voltage ^a V (see 4.4.7.1.7) Up to and including		Impulse withstand voltage				Temporary overvoltage ^b V
		V				
		Overvoltage category (OVC)				
		I	II	III	IV	
AC	DC					RMS/peak
50	75	330	500	800	1 500	1 250/1 770
100	150	500	800	1 500	2 500	1 300/1 840
150	225	800	1 500	2 500	4 000	1 350/1 910
300	450	1 500	2 500	4 000	6 000	1 500/2 120
600	900	2 500	4 000	6 000	8 000	1 800/2 550
1 000	1 250	4 000	6 000	8 000	12 000	2 200/3 110
--	1 500 ^c	6 000	8 000	10 000	15 000	2 200/3 110
^a Interpolation of <i>system voltage</i> is not permitted when determining the <i>impulse withstand voltage</i> for <i>mains supply</i> . Interpolation of <i>system voltage</i> is permitted when determining the <i>temporary overvoltage</i> for <i>mains supply</i> .						
^b The RMS values are derived using the formula 1 200 V + U_0 (where U_0 is the <i>system voltage</i> , see 4.4.7.1.7) from IEC 60664-1:2020.						
^c For DC values only.						

4.4.7.1.7 Determination of the system voltage for mains supply and non-mains supply

4.4.7.1.7.1 For mains supply

For *PECS* supplied by an AC *mains supply*, the *system voltage* (in column 1 of Table 7) is:

- in star point earthed TN and TT systems, the RMS value of the rated voltage between a phase and earth;
- in corner-earthed or high-leg delta TN and TT systems, the RMS value of the rated voltage between phases;

- in three-phase IT *systems* for determination of *impulse withstand voltage*, the RMS value of the rated voltage between a phase and an artificial neutral point (an imaginary junction of equal impedances from each phase);

NOTE 1 For most *systems*, this is equivalent to dividing the phase-to-phase voltage by $\sqrt{3}$.

NOTE 2 The phase to an artificial neutral point can be accepted due to *systems* being well balanced. Under *single fault condition*, the *system voltage* will temporarily change to phase-to-phase voltage, but under this *single fault condition* the *impulse withstand voltage* is accepted to be reduced by one step according to Table 7.

- in three-phase IT *systems* for determination of *temporary overvoltage*, the RMS value of the rated voltage between phases; or
- in single-phase IT *systems*, the RMS value of the rated voltage between supply conductors.

When the supply voltage is rectified DC derived from the AC *mains supply*, the *system voltage* is the RMS value of the source AC before rectification, taking into account the supply *system* earthing (TN, TT or IT).

For *PECS* having series-connected rectifier bridges (12-pulse, 18-pulse, etc.), the *system voltage* for the determination of *impulse withstand voltages* is the highest RMS value of the AC voltage before rectification at the rectifier bridge taking into account the supply *system* earthing (TN, TT or IT).

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

4.4.7.1.7.2 For non-mains supply

For *PECS* supplied by *non-mains supply* AC or DC, the *system voltage* is the RMS value of the supply voltage between phases.

4.4.7.1.8 Components bridging insulation

Components bridging *basic insulation*, *supplementary insulation* or *reinforced insulation* shall comply with the requirements of the level of *insulation* they are bridging. Refer to 4.13 for *component* requirements.

4.4.7.2 Insulation to the surroundings

4.4.7.2.1 General

Basic insulation, *supplementary insulation*, and *reinforced insulation* between a circuit and its surroundings in 4.4.7.2.3 and 4.4.7.2.4 shall be designed according to the most severe requirements of:

- the *impulse withstand voltage*;
- the *temporary overvoltage*; or
- the *working voltage*

of the circuit.

For *clearances* and *solid insulation*, the *impulse withstand voltage*, the *temporary overvoltage* or the *working voltage* (recurring peak) is used, as described in 4.4.7.2.3 to 4.4.7.2.7.

For *creepage distances*, the RMS value of the *working voltage* is used, as described in 4.4.7.5.

NOTE 1 Examples of *working voltage* with the combination of AC, DC and recurring peaks are on the DC link of an indirect voltage source converter, or the damped oscillation of a thyristor snubber, or internal voltages of a switch-mode power supply. For more information, see Clause A.5.

NOTE 2 The *impulse withstand voltage* and *temporary overvoltage* depend on the *system voltage* of the circuit, and the *impulse withstand voltage* also depends on the *overvoltage category*, as shown in Table 7.

4.4.7.2.2 SPD monitoring

If the *PECS* manufacturer bundles an external *SPD* with their product, this device shall have a monitoring circuit that enables the *PECS* to indicate when the device is damaged by an overvoltage. If the *SPD* is internal to a *PECS*, the test of 5.2.3.15 applies.

The monitoring of an external *SPD* and the internal *SPD* monitoring test described above is not required on *SPD* circuits that are not part of a reduction of *overvoltage category* to allow for reduced *clearances*.

Compliance is determined through *visual inspection* in 5.2.1 or test according to 5.2.3.15 as appropriate.

4.4.7.2.3 Circuits connected directly to mains supply

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

This *insulation* is normally evaluated to withstand impulse voltages of *overvoltage category* III, except that *overvoltage category* IV shall be used when the *PECS* is connected at the origin of the *installation*. *Overvoltage category* II may be used for plug-in *PECS*.

If means are provided which reduce impulse voltages of *overvoltage category* IV to values of category III, or values of category III to values of category II, *basic insulation* and/or *supplementary insulation* downstream of the *SPD* may be designed for the reduced values. The requirements for *double insulation* and/or *reinforced insulation* shall not be reduced to values less than those required for *basic insulation* designed to withstand impulse voltages without these means being present.

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 according to 4.4.7.2.2.

NOTE 1 The determined *impulse withstand voltage* based on the *system voltage* can be reduced by means of inherent protection or *SPD* internal in the *PECS* or as part of the *installation*. IEC 61643-12 provides information on the selection and use of such *SPD*.

NOTE 2 Circuits which are connected to the *mains supply* via *protective impedances* according to 4.4.5.5 are not regarded as connected directly to the *mains supply*.

4.4.7.2.4 Circuits connected directly to non-mains supply

Insulation between the surroundings and circuits connected directly to a *non-mains supply* shall be designed according to:

- the *impulse withstand voltage* determined from Table 7 using the *system voltage*;
- the *working voltage*; or
- the *temporary overvoltage* if known to exist due to the nature of the supply;

whichever gives the most severe requirement.

These values are used to enter Table 8 for the design of *clearance*.

Temporary overvoltage on a *non-mains supply* shall be determined as follows:

- without detailed knowledge of the *temporary overvoltage*, it shall be according to Table 7; or
- if the *temporary overvoltage* is known, this value shall be used.

In determination of *temporary overvoltages* on *non-mains supply*, the following situations should be considered:

- loss of the neutral in a *non-mains supply* low-voltage system;
- accidental earthing of a *non-mains supply* low voltage IT system; and
- short-circuit in the *non-mains supply* low voltage installation.

For further information, see IEC 60364-4-44:2007, Clause 442.

The *insulation* between the surroundings and circuits connected directly to a *non-mains supply* *insulation* is normally evaluated to withstand impulse voltages of *overvoltage category* II except a higher *overvoltage category* shall be used when control of overvoltage is not provided, and when connected to long outdoor lines. For applications and circuits with a known low level of impulse voltages and for which it can be shown that the impulse voltages remain on a low level even under *single fault condition*, *overvoltage category* I may be used. This requirement is considered to be met if the expected *impulse withstand voltages* do not exceed the values given in Table 7 for *overvoltage category* I at the appropriate *system voltage*.

NOTE 1 The *overvoltage category* for *non-mains supplies* does not differ between *permanently connected equipment* in fixed installations and not *permanently connected equipment* to the fixed installation.

If means are provided which reduce impulse voltages of *overvoltage category* III to values of category II, or values of category II to values of category I, *basic insulation* and/or *supplementary insulation* downstream of the SPD may be designed for the reduced value. The requirements for *double insulation* and/or *reinforced insulation* shall not be reduced to values less than those required for *basic insulation* designed to withstand impulses without these means being present.

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 according to 4.4.7.2.2.

NOTE 2 The determined *impulse withstand voltage* based on the *system voltage* can be reduced by means of inherent protection or SPD internal in the PECS or as part of the *installation*. IEC 61643-12 provides information on the selection and use of such SPD.

4.4.7.2.5 PECS connected to both *mains supply* and *non-mains supply*

For PECS with galvanic isolation between the *mains supply* and *non-mains supply*, the impulse voltage ratings of the *mains supply* and *non-mains supply* circuits are determined as in 4.4.7.2.3 and 4.4.7.2.4. Thereafter, the effect of reduction of the *overvoltage categories* (OVC) across the isolation is evaluated as follows.

- a) The magnitude of impulse voltages from the *mains supply* induced into the circuits connected to the *non-mains supply* is determined by reducing the OVC of the *mains supply* by one level, and determining the resulting impulse voltage rating based on *mains supply system voltage*.
- b) The rating to be used on the circuits connected to the *non-mains supply* is the higher of the value in 4.4.7.2.4 and the value determined in 4.4.7.2.5 a) above.
- c) The magnitude of impulse voltages from the *non-mains supply* induced into the circuits connected to the *mains supply* is determined by reducing the OVC of the *non-mains supply* by one level, and determining the resulting impulse voltage rating based on *non-mains supply system voltage*.
- d) The rating to be used on the circuits connected to the *mains supply* is the higher of the value in 4.4.7.2.3 and the value determined in 4.4.7.2.5 c).

For *PECS* not providing galvanic isolation between circuits connected to the *mains supply* and circuits connected to the *non-mains supply*, the *impulse withstand voltage* ratings of the *mains supply* and *non-mains supply* circuits are determined as in 4.4.7.2.3 and 4.4.7.2.4. The higher of the two *impulse withstand voltage* ratings is used for the entire combined circuit. For circuits connected to the combined circuit without galvanic isolation, the *impulse withstand voltage* rating of the combined circuit applies.

NOTE See Clause I.5 for examples.

4.4.7.2.6 *DVC As or DVC B circuits supplied from mains supply or non-mains supply*

When circuits of *DVC As* or *DVC B* are supplied from the *mains supply* or *non-mains supply* through a transformer providing galvanic isolation working at a frequency of 10 kHz or more, the *insulation* between the circuit and the surroundings may be determined according to the *working voltage* of the circuit.

In that case, the transformer's ability to reduce the impulse voltages to values less than the *impulse withstand voltage* associated with the *working voltage* determined from Table 7 shall be shown by test in 5.2.3.2, simulation or calculation.

NOTE The ability of a high frequency transformer to reduce impulse voltages originates from the very low stray capacitance across the galvanic isolation compared to the typical grounding capacitance in a *DVC As* or *DVC B* circuit.

4.4.7.2.7 *Insulation between circuits*

For the design of *basic protection* and *enhanced protection* between circuits, the *insulation* shall be designed according to:

- the circuit having the more severe requirement; or
- the *working voltage* between the circuits;

whichever gives the most severe requirement.

4.4.7.3 *Functional insulation*

Functional insulation shall satisfy one of the following requirements a) or b).

- a) It shall meet the *clearance* and *creepage distance* requirements for *functional insulation* according to 4.4.7.4 and 4.4.7.5.
- b) It shall comply with the decreased spacings requirements of 4.4.7.7.

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

Where the circuit characteristics can be shown by testing (see 5.2.3.2) to reduce impulse voltages, *functional insulation* may be designed for the highest impulse voltage occurring in the circuit during the tests.

4.4.7.4 *Clearances*

4.4.7.4.1 *General*

Clearances shall be determined for *functional insulation*, *basic insulation* or *supplementary insulation* directly from Table 8 for inhomogeneous fields.

See 4.4.7.4.4 for reduced *clearances* due to homogeneous field conditions.

For guidance, see Annex O, especially Figure O.1.

See Annex D for examples of the evaluation of *clearances*.

Table 8 – Clearances for functional insulation, basic insulation or supplementary insulation for inhomogeneous fields

Column 1	2	3	4	5	6	7
Impulse withstand voltage ^d (from Table 7) V	Temporary overvoltage ^{f g} (peak) (from Table 7) V	Working voltage ^f (recurring peak) ^a V	Minimum clearances in air up to 2 000 m above sea level			
			mm			
			Pollution degree			
			1	2	3	4
330	330	260	0,01	0,2 ^{b c}	0,8 ^c	1,6 ^c
500	500	400	0,04			
800	710	560	0,10			
1 500	1 270	1 010	0,5	0,5	1,5	3,0
2 500	2 220	2 000	1,5	1,5		
4 000	3 430 ^e	3 090 ^e	3,0	3,0	3,0	3,0
6 000	4 890 ^e	4 410 ^e	5,5	5,5	5,5	5,5
8 000	6 060 ^e	5 460 ^e	8,0	8,0	8,0	8,0
12 000	9 500 ^e	8 550 ^e	14	14	14	14
15 000	11 780 ^e	10 600 ^e	18	18	18	18

NOTE For determination of *reinforced* and *double insulation*, refer to 4.4.7.4.2.

^a This voltage is approximately 0,8 times the voltage required to break down the associated clearance for *impulse withstand voltages* below 2 500 V and 0,9 times the voltage required to break down the associated clearance for *impulse withstand voltages* of 2 500 V and above.

^b For printed wiring board (PWB), the values for *pollution degree* 1 apply except that the value shall not be less than 0,04 mm.

^c The minimum *clearances* given for *pollution degrees* 2, 3 and 4 are based on the reduced withstand characteristics of the associated *creepage distance* under humidity conditions.

^d Interpolation of distance is permitted for *non-mains supply* but not for *mains supply*. *Clearances for impulse withstand voltage* is derived from Table F.2 of IEC 60664-1:2020.

^e *Clearances for temporary overvoltage* and *working voltage* are derived from Table F.8 of IEC 60664-1:2020.

^f Interpolation of distance is permitted, when *clearance* is determined from *temporary overvoltage* and *working voltage* for circuits connected to *mains supply* and *non-mains supply*.

^g The temporary overvoltage is only relevant for determining insulation between surroundings and circuits.

NOTE If *clearances* are stressed with *working voltages* (recurring peak) of 2,5 kV and above, dimensioning according to the breakdown values in Table 8 does not provide operation without corona (partial discharges), especially for inhomogeneous fields. In order to provide corona-free operation, it is possible either to use larger *clearances*, as given in Table F.9 of IEC 60664-1:2020, or to improve the field distribution.

Compliance shall be checked according to 5.2.2.1.

4.4.7.4.2 Clearances for reinforced insulation

Clearances for reinforced insulation shall be dimensioned to withstand

- an *impulse withstand voltage* one step higher in column 1 of Table 8;
- 1,6 times the peak *temporary overvoltage*; or

- 1,6 times the peak *working voltage*.

than required for *basic insulation* in Table 8.

For values not covered in Table 8, refer to IEC 60664-1:2020, Table F.2 and Table F.7.

4.4.7.4.3 Clearances for use above 2 000 m and/or above 30 kHz

Clearances for *functional insulation*, *basic insulation* or *supplementary insulation* and *reinforced insulation* for use in altitudes between 2 000 m and 20 000 m shall be calculated using a correction factor according to IEC 60664-1:2020, Table A.2, which is reproduced as Table E.1.

In the case of *working voltage* of frequency greater than 30 kHz, *clearances* for *functional insulation*, *basic insulation* or *supplementary insulation* and *reinforced insulation* due to *working voltage* shall be increased according to the requirements in Annex F. *Clearances* due to *impulse withstand voltage* and *temporary overvoltage* are still determined according to 4.4.7.4.

4.4.7.4.4 Clearances for homogeneous fields

The dimensions in Table 8 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, the *clearance* for *basic insulation* or *supplementary insulation* may be reduced to not less than that required by IEC 60664-1:2020, Table F.2 (case B). In this case, the *impulse withstand voltage* test of 5.2.3.2 shall be performed across the considered *clearance*.

If *working voltages* (recurring peak) or *temporary overvoltages* according to Table 8 are used for the dimensioning of *clearance* and if these *clearances* are smaller than the values of Table 8, then an AC or DC voltage test shall be performed.

During the *impulse withstand voltage* test and AC or DC voltage test, any *insulation* layers not fulfilling at least *basic insulation* shall be removed.

NOTE In case of proving field homogeneity between an insulation and *live part*, it can be indispensable to provide special made samples, for example having the insulation covered with a conductive layer.

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

Compliance shall be checked according to 5.2.2.1.

4.4.7.4.5 Clearance to conductive enclosures

The *clearance* between any uninsulated *hazardous live part* and the walls of a metal *enclosure* shall be in accordance with 4.4.7.4.

During and following the deflection tests, *clearance* between any uninsulated *hazardous live part* and the walls of a metal *enclosure* shall be in accordance with clearance requirements for *basic insulation* in 4.4.7.4.

NOTE The deflection of the enclosure is considered as a *single fault condition*.

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

Compliance is checked by *visual inspection* in 5.2.1 and by test of 5.2.2.4.2.

4.4.7.5 Creepage distances

4.4.7.5.1 Insulating material groups

Insulating materials are classified into four groups corresponding to their comparative tracking index (CTI) when tested according to IEC 60112:2020, Clause 11:

- Insulating material group I: $CTI \geq 600$;
- Insulating material group II: $600 > CTI \geq 400$;
- Insulating material group IIIa: $400 > CTI \geq 175$;
- Insulating material group IIIb: $175 > CTI \geq 100$.

Creepage distance requirements for PWBs exposed to *pollution degree 3* environmental conditions shall be determined based on Table 9 *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. The spacing of the ribs shall equal or exceed the dimension X in Table D.1. For *pollution degree 2* and *3*, the ribs shall be at least 2 mm high.

For inorganic insulating materials, which do not track, for example glass or ceramic, the *creepage distance* may be equal to the associated *clearance*, as determined in 4.4.7.4.

For guidance, see Annex O, especially Figure O.2.

4.4.7.5.2 Determination of *creepage distances*

Creepage distances for *functional insulation*, *basic insulation* and *supplementary insulation* shall be dimensioned according to Table 9

Table 9 – Creepage distances

Column 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Working voltage (AC RMS or DC mean) ^e	PWBs ^a		Other insulators								
	Pollution degree		Pollution degree								
	1	2	1	2				3			
	All material groups	All material groups except IIIb	All material groups	Insulating material group				Insulating material group			
				I	II	IIIa	IIIb	I	II	IIIa	IIIb
V	mm	mm	mm	mm	mm	mm		mm	mm	mm	
≤ 2	0,025	0,04	0,056	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		0,92	0,92	0,92	
10	0,025	0,04	0,08	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		1,25	1,25	1,25	
32	0,025	0,04	0,14	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		1,4	1,6	1,8	
50	0,025	0,04	0,18	0,60	0,85	1,20		1,5	1,7	1,9	
63	0,04	0,063	0,20	0,63	0,90	1,25		1,6	1,8	2,0	
80	0,063	0,10	0,22	0,67	0,95	1,3		1,7	1,9	2,1	
100	0,10	0,16	0,25	0,71	1,0	1,4		1,8	2,0	2,2	
125	0,16	0,25	0,28	0,75	1,05	1,5		1,9	2,1	2,4	
160	0,25	0,40	0,32	0,80	1,1	1,6		2,0	2,2	2,5	
200	0,40	0,63	0,42	1,0	1,4	2,0		2,5	2,8	3,2	
250	0,56	1,0	0,56	1,25	1,8	2,5		3,2	3,6	4,0	
320	0,75	1,6	0,75	1,6	2,2	3,2		4,0	4,5	5,0	
400	1,0	2,0	1,0	2,0	2,8	4,0		5,0	5,6	6,3	
500	1,3	2,5	1,3	2,5	3,6	5,0		6,3	7,1	8,0	
630	1,8	3,2	1,8	3,2	4,5	6,3		8,0	9,0	10,0	
800	2,4	4,0	2,4	4,0	5,6	8,0		10,0	11	12,5	b
1 000	3,2	5,0	3,2	5,0	7,1	10,0		12,5	14	16	
1 250	4,2	6,3	4,2	6,3	9	12,5		16	18	20	
1 600	c	c	5,6	8,0	11	16		20	22	25	
2 000			7,5	10,0	14	20		25	28	32	
2 500			10,0	12,5	18	25		32	36	40	
3 200			12,5	16	22	32		40	45	50	
4 000			16	20	28	40		50	56	63	
5 000			20	25	36	50		63	71	80	
6 300			25	32	45	63		80	90	100	
8 000			32	40	56	81		100	110	125	
10 000 ^d			40	50	71	100		125	140	160	

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 Insulating materials of group IIIb are not normally recommended for *pollution degree* 3 above 630 V.^c Above 1 250 V, use the values from columns 4 to 11, as appropriate.^d For higher voltages, *creepage distances* should be dimensioned according to Table F.5 of IEC 60664-1:2020.^e For more information, see Clause A.5.

Creepage distances for reinforced insulation shall be twice the distances required for *basic insulation*.

For fundamental frequencies greater than 30 kHz, additional requirements apply in Clause F.3 and Table F.3.

Compliance of *creepage distances* shall be checked according to 5.2.2.1 and according to Annex F if applicable.

In all cases, the associated *creepage distance* is not permitted to be smaller than the required *clearance*.

4.4.7.6 Coating or potting

A coating or potting may be used to provide *insulation*, to protect a surface against pollution, and to allow a reduction in *clearance* and *creepage distances* (see 4.4.7.8.4.3 and 4.4.7.8.5).

NOTE 1 Typically, coating or potting is used for *components* and subassemblies.

NOTE 2 Coating for improvement of the *insulation system* is well known in industries as conformal coating.

4.4.7.7 Decreased spacings for functional insulation

Spacings are permitted to be smaller than required in 4.4.7.3 a). In this case, an analysis shall be performed according to 4.2.

NOTE Spacings cover both *clearance* and *creepage distances*.

This decreased spacing shall be short-circuited in accordance to 5.2.4.7, when the analysis of 4.2 shows that a short-circuit would cause:

- 1) overheating of any material creating a risk of fire,
- 2) thermal damage to *basic insulation*, *supplementary insulation* or *reinforced insulation*, thereby creating a risk of electric shock.

For the analysis, considerations shall be given to special material aspects.

Decreased spacings for *functional insulation* are only permitted:

- a) when all the following are satisfied for materials:
 - material has a flammability rating of V-0 or better (see IEC 60695-11-10:2013); and
 - material has a minimum CTI of 100.
- b) when all the following are satisfied for components:
 - *pollution degree* 1 or 2 environment; and
 - comply with the requirements of 4.6.2.2.

In this case, the *component* manufacturer's specification may be used.

4.4.7.8 Solid insulation

4.4.7.8.1 General

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

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

For fundamental frequencies of the *working voltage* greater than 30 kHz, additional requirements apply in Clause F.4.

4.4.7.8.2 Material requirements

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

If the manufacturer of the insulating material provides data to demonstrate compliance with the following requirements, no further testing is required.

The insulating material shall be suitable for the maximum temperature it attains as determined by the temperature rise test of 5.2.3.10. 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.

The insulating material in contact with *hazardous live parts* which do not comply with the requirements for limited power sources in 4.6.5 shall comply with:

- the glow-wire test described in 5.2.5.3 at a test temperature of 850 °C;
- the glow-wire test described in 5.2.5.3, at a lower test temperature, but not less than 550 °C, depending on the classification of the use of the *PECS*, according to IEC 60695-2-11:2021, Table 1 or Figure A.1; or
- the alternative hot wire ignition test of 5.2.5.4.

Thermoplastic insulating materials used in contact with *hazardous live parts* or used as part of the *enclosure* shall comply with the ball pressure test and abnormal heat test according to IEC 60695-10-2:2014.

Where an insulating material is used in a *PECS* that incorporates switching contacts, and is within 12,7 mm of the contacts, it shall comply with the high current arcing ignition test of 5.2.5.2.

No further evaluation is required, when generic materials are used according to Table 10. The measured temperature during temperature rise test according to 5.2.3.10 shall not exceed the maximum temperature in Table 10.

Table 10 – 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

Compliance is checked by *visual inspection* in 5.2.1 and by test of 5.2.3.10 and 5.2.5.3 or 5.2.5.2.

4.4.7.8.3 Thin sheet or tape material

4.4.7.8.3.1 General

These requirements apply to the use of thin sheet or tape materials in assemblies such as wound *components* and bus-bars.

Subclause 4.4.7.8.3 also applies to *components* providing *insulation*. See 4.13.1 for the use of *component* standards.

Insulation less than 0,7 mm consisting of thin sheet or tape materials is permitted, provided that it is protected from damage and is not subject to mechanical stress under intended use.

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

One layer of *insulation* tape wound with more than 50 % overlap shall be considered as two layers.

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

4.4.7.8.3.2 Thin sheet material thickness and number of layers

Table 11 specifies the required number of layers depending on the thickness of the thin sheet material and the type of *insulation*.

Table 11 – Thin sheet material thickness through *insulation* requirements

Type of insulation	Thickness of each layer of material		Requirements
	< 0,2 mm	≥ 0,2 mm	
Basic insulation or supplementary insulation	At least 1 layer	At least 1 layer	4.4.7.8.1, 4.4.7.10.2
Double insulation	--	At least 2 layers	Each layer: 4.4.7.8.1, 4.4.7.10.2 and all layers together 4.4.7.10.3
	At least 3 layers	--	Each layer: 4.4.7.8.1, 4.4.7.10.2 and any 2 layers together 4.4.7.10.3
Reinforced insulation	At least 3 layers of non-separable material which cannot be tested separately	At least 1 layer, minimum thickness of 0,4 mm	4.4.7.8.1, 4.4.7.10.3
NOTE Each <i>insulation</i> type can be selected from both columns for the thickness of each layer. For example, for <i>basic insulation</i> , the column < 0,2 mm is used and for reinforced, column ≥ 0,2 mm is used and vice versa.			

Compliance shall be checked by the tests described in 5.2.3.1 to 5.2.3.5 and 5.2.3.13 if applicable.

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.

4.4.7.8.4 Printed wiring boards (PWBs)

4.4.7.8.4.1 General

Printed wiring boards material shall have a flammability rating of V-2 or better and shall comply with the insulating material group IIIb or better according to 4.4.7.5.1.

The requirements of 4.4.7.8.4 do not apply to printed wiring boards which contain only limited power sources according to 4.6.5.

PWB shall meet the appropriate requirements of 4.4.7.10.1 and:

- 4.4.7.10.2 for *basic insulation* or *supplementary insulation*;
- 4.4.7.10.3 for *double insulation* or *reinforced insulation*; and
- 4.4.7.7 for *functional insulation*.

4.4.7.8.4.2 Inner layers of multi-layer printed wiring boards (see Figure D.14)

Insulation (prepreg) between conductor layers in multi-layer PWBs and metal core PWBs is *solid insulation* according to IEC 60664-1:2020 and shall meet the applicable requirements of 4.4.7.8.1 and 4.4.7.8.4.1.

NOTE 1 For more information, see IEC 60664-3:2016, Clause 1.

The requirements in 4.4.7.8.3 for thin sheet or tape material are not applicable; however, a minimum overall material thickness of 0,4 mm for *double insulation* and *reinforced insulation* apply to the final PWB.

Insulation between adjacent tracks on the same conductor layer shall be treated as either:

- a) a *creepage distance* for *pollution degree* 1 and a *clearance* as in air according to Table 8 and Table 9 (see Figure D.14); or
- b) *solid insulation*, in which case
 - it shall meet the applicable requirements of 4.4.7.8.4.1,
 - it shall meet the minimum distance from IEC 60664-3:2016, Table 1, for *basic insulation*, *supplementary insulation* and *reinforced insulation*,
 - the requirements for *clearance* and *creepage distances* according to Table 8 and Table 9 do not apply,
 - the PWB sample shall be preconditioned according to 5.2.3.16 followed by a *type test* required by 4.4.7.8.4.1, and
 - no *routine test* for the PWB is required.

NOTE 2 For FR4 material, the voltage strength per thickness can be estimated with 30 kV/mm.

NOTE 3 IEC 60664-3:2016, Table 1, is reproduced in Table O.1.

4.4.7.8.4.3 Use of coating materials

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

Type 1 protection (as defined in IEC 60664-3:2016) improves the micro-environment of the parts under protection. The *clearance* and *creepage distance* of Table 8 and Table 9 for *pollution degree* 1 apply under the protection. Between two conductive parts, one or both conductive parts, together with all the spacing between them, shall be 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 4.4.7.8 are applicable, including the coating material itself, and spacings shall not be less than those specified in IEC 60664-3:2016, Table 1, which is reproduced as Table O.1. The requirements for *clearance* and *creepage distances* in Table 8 and Table 9 do not apply. Between two conductive parts, both conductive parts, together with the spacing between them, shall be covered by the protection so that no air gap exists between the protective material, the conductive parts and the printed boards.

NOTE Spacings cover both *clearance* and *creepage distances*.

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 life cycle of the PECS.

A *type test* for type 1 and type 2 protection on representative PWBs shall be conducted according to IEC 60664-3:2016, Clause 5. The number of samples is defined in IEC 60664-3:2016. Preconditioning shall be performed before *type test* according to 5.2.3.16.

No *routine test* is required.

4.4.7.8.5 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* for *basic protection*, *fault protection* and *enhanced protection*, it shall comply with the requirements of 4.4.7.8.1 and 4.4.7.10. If used to protect against pollution, the requirements for type 1 protection in 4.4.7.8.4.3 apply.

4.4.7.9 Connection of parts of *solid insulation* (cemented joints)

The *clearance* and *creepage distance* paths in the presence of a cemented joint between two insulating parts are determined as follows.

- Type 1 or type 2 protection as described in 4.4.7.8.4.3 apply.
- A cemented joint that is not evaluated as providing protection of type 1 or type 2 is neither considered *solid insulation* nor to reduce *pollution degree*. The *clearance* and *creepage distances* of 4.4.7.4 and 4.4.7.5 apply for the *pollution degree* of the environment around the joint.

For preconditioning and compliance, see 5.2.5.7.

As an example, see Figure D.9.

4.4.7.10 Requirements for electrical withstand capability

4.4.7.10.1 General

Where verification of *insulation* is impossible by *visual inspection* according to 5.2.2.1, test according to 4.4.7.10.2 or 4.4.7.10.3 applies between the considered circuits and for *solid insulation* on *components* and sub-assemblies.

4.4.7.10.2 Basic insulation or supplementary insulation

Basic insulation or *supplementary insulation* shall be tested as follows:

- test with *impulse withstand voltage* according to 5.2.3.2; and
- test with AC or DC voltage according to 5.2.3.4.

4.4.7.10.3 Double insulation or reinforced insulation

Double insulation or reinforced insulation shall be tested as follows:

- test with *impulse withstand voltage* according to 5.2.3.2; and
- test with AC or DC voltage according to 5.2.3.4.

For *solid insulation*, the partial discharge test according to 5.2.3.5 shall be performed in addition to the above tests, if the *working voltage* (recurring peak) across the *insulation* is greater than 750 V and the voltage stress on the *insulation* is greater than 1 kV/mm.

The voltage stress is the *working voltage* (recurring peak) divided by the distance between two parts of different potential. See Figure D.14.

The partial discharge test shall be performed as a *type test* on all *components*, sub-assemblies 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*.

4.4.8 Compatibility with residual current-operated protective devices (RCD)

Some domestic and industrial *installations* provides RCD as additional protection against faults, in addition to *basic protection* and *fault protection* provided by *PECS*.

NOTE 1 Circuit breaker incorporating residual current function (CBRs) according to IEC 60947-2:2016 and IEC 60947-2:2016/AMD1:2019, Annex B, and modular residual current device (MRCD), according to IEC 60947-2:2016 and IEC 60947-2:2016/AMD1:2019, Annex M, are equivalent to RCD.

NOTE 2 IEC 62955:2018 also describes devices which are intended to ensure that the proper functionality of RCDs type A or type F is not impaired by DC residual currents above 6 mA.

An *insulation* fault or direct contact with certain types of *PECS* circuits can cause fault current with a DC portion to flow in the *PE conductor* and thus reduce the ability of an RCD of type A, AC or F (see IEC 60755:2017) to provide this protection for other equipment in the *installation*.

To ensure the intended operation of an RCD provided by the *installation*, the *PECS* shall satisfy one of the following conditions a) or b).

- A *PECS* designed as *pluggable equipment type A* single-phase *PECS* shall be designed so that, under normal operating conditions and *single fault conditions*, any resulting current with a smooth superimposed DC portion of the current in the *PE conductor* does not exceed the DC current withstand requirements of 6 mA in IEC 60755:2017 for RCD of type A or 10 mA for type F; or
- For *PECS* designed as *pluggable equipment type B* or intended to be *permanently connected*, DC current in the *PE conductor* is not limited if the information and marking requirements of 6.3.9.5 are complied with.

In case of *PE conductor* currents with a smooth superimposed DC portion exceeding the above values, suitable protective devices shall be selected and stated in the documentation, for example RCD type B or type F.

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

Compatibility with RCD provided by the *installation* shall be checked by simulation or calculation of current in the *PE conductor* under normal and *single fault conditions* according to the guideline provided in Annex H.

See 6.3.9.5 for information and marking requirements.

4.4.9 Capacitor discharge

For protection against electric shock (see IEC 61140:2016, 8.3), all capacitors within a *PECS* shall be discharged to a voltage less than *DVC As*, or to a residual charge less than 0,5 mJ after the removal of power from the *PECS* and shall satisfy a) or b) as applicable, and c):

- a) For *pluggable equipment type A* and *pluggable equipment type B*, the discharge time shall not exceed 1 s when unplugged, measured on the *accessible* plug pins (see Figure 12, key 7).
- b) For *permanently connected equipment*, the discharge time shall not exceed 5 s, measured on input *ports* and output *ports*.
- c) For all *PECS*, when the discharge time exceeds 5 s due to functional or other reasons, *hazardous live parts* shall be protected as described in 4.4.3.3, and the information and marking requirements of 6.5.2 apply.

Compliance is checked by test of 5.2.3.8.

NOTE The level of 0,5 mJ corresponds to the threshold of pain according to IEC 61140:2016.

4.5 Protection against electrical energy hazards

4.5.1 General access areas

4.5.1.1 General

PECS shall be so designed that there is no risk of electrical energy hazard to *ordinary persons* in *general access areas* and *skilled persons* in *service access areas* from electrical *accessible parts* by fulfilling requirement of 4.2.

A risk of injury due to an electrical energy hazard exists if it is likely that two or more bare parts (one of which may be earthed), between which a hazardous energy level exists, will be bridged by a metallic object.

The likelihood of bridging the parts under consideration is determined by means of the test finger of Figure M.2 in any position. If it is possible to bridge the parts with this test finger, a hazardous energy level shall not exist.

Barriers, guards, and similar means preventing unintentional contact may be provided as an alternative to limiting the energy.

Compliance against unintentional contact is checked by *visual inspection* in 5.2.1 or test of 5.2.2.2.

4.5.1.2 Determination of hazardous electrical energy level

A hazardous electrical energy level is considered to exist if the voltage is 2 V or more and

- power available exceeds the limits of 4.6.5; or
- the energy exceeds 20 J.

Compliance shall be checked with the test in 5.2.3.8 or by calculation as follows.

In case of a capacitor, the stored energy is calculated from the following formula:

$$E = 0,5 C \times U^2$$

where

E is the energy, in joules (J);

C is the capacitance, in farads (F);

U is the measured voltage on the capacitor, in volts (V).

4.5.2 Service access areas

Capacitors located behind panels that are removable for servicing, installation, or disconnection shall present no risk of electric energy hazard from charge stored on capacitors after disconnection of the *PECS*.

Capacitors within a *PECS* shall be discharged to an energy level less than 20 J, as in 4.5.1.2, within 5 s after the removal of power from the *PECS*. If this requirement is not achievable for functional or other reasons, the information and marking requirements of 6.5.2 apply.

Compliance is checked by *visual inspection* in 5.2.1 of the *PECS* and relevant circuit diagrams, taking into account the possibility of disconnection with any "ON/OFF" switch in either position and non-operation of periodic power consuming devices or *components* within the *PECS*. If the capacitor discharge time cannot be accurately calculated, the discharge time shall be measured.

4.6 Protection against fire and thermal hazards

4.6.1 Circuits representing a fire hazard

The following types of circuits are considered a fire hazard:

- circuits directly connected to the *mains supply*;
- circuits that are not directly connected to the *mains supply* but exceed the limits for limited power sources in 4.6.5; and
- *components* having unenclosed arcing parts.

4.6.2 Components representing a fire hazard

4.6.2.1 General

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

An overview of the flammability classes used throughout this document and their classification standards is given in Table 12.

Table 12 – Flammability classes and classification standards

Flammability class/flame spread index	Classified in
5VA	IEC 60695-11-20:2015
5VB	IEC 60695-11-20:2015
V-0	IEC 60695-11-10:2013
V-1	IEC 60695-11-10:2013
V-2	IEC 60695-11-10:2013
HB	IEC 60695-11-10:2013
HF-1	ISO 9772:2020
HF-2	ISO 9772:2020
VTM-0	ISO 9773:1998/AMD1:2003
VTM-1	ISO 9773:1998/AMD1:2003
VTM-2	ISO 9773:1998/AMD1:2003
Flame spread index	ASTM E162-16
Flame spread index	ANSI/ASTM E84-19b
VW-1	UL/CSA C22.2 no. 2556
FT-1	CSA C22.2 no. 0-3
NOTE 1 When applying the requirements in this document, flammability class of 5VA is regarded as better than 5VB, 5VB better than V-0, V-0 better than V-1, V-1 better than V-2, V-2 better than HB. NOTE 2 Similarly, flammability of VTM-0 is regarded as better than VTM-1 and VTM-1 better than VTM-2. NOTE 3 Similarly, flammability of HF-1 is regarded as better than HF-2.	

Electrical *components* shall be used in such a way that their maximum working temperature under normal operating conditions or *single fault conditions* is less than that necessary to cause ignition of the surrounding materials with which they are likely to come into contact. Under normal operating conditions, the limits in Table 14 shall not be exceeded for *components* or their surrounding material.

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

Compliance with 4.6.2 shall be confirmed by *visual inspection* in 5.2.1 of *component* and material data sheets and, where necessary, by test.

4.6.2.2 Components within a circuit representing a fire hazard

Inside *fire enclosures*, materials for *components* and other parts and all materials in contact with such parts shall comply with flammability class V-2, HF-2 or VTM-2 or better.

When the manufacturer of *components* provides data to demonstrate compliance with the above requirements, no further testing is required.

The above requirement does not apply to any of the following:

- electrical *components* which do not present a fire hazard under *abnormal operating conditions* when tested according to 5.2.4.6;

- materials and *components* within an *enclosure* of 0,06 m³ or less, consisting totally of metal and having no ventilation openings, or within a sealed unit containing an inert gas;
- electronic *components*, such as integrated circuit packages, opto-coupler packages, capacitors and other small parts that are mounted on material of flammability class V-1 or VTM-1 or better;
- wiring, cables and connectors
 - insulated with PVC, TFE, PTFE, FEP, neoprene or polyimide;
 - rated VW-1 (UL/CSA C22.2 no. 2556) or FT-1 (CSA C22.2 no. 0.3), or
 - fulfilling the requirements of the test methods in IEC 60332-1-2, IEC 60332-1-3, IEC 60332-2-2;
- the following parts, provided that they are separated from electrical parts (other than insulated wires and cables) which under *single fault conditions* are likely to produce a temperature that could cause ignition, by at least 13 mm of air or by a solid barrier of material of flammability class V-1 or better:
 - other small parts which would contribute negligible fuel to a fire, including, labels, mounting feet, key caps, knobs and the like; or
 - tubing for air or any fluid *systems*, containers for powders or liquids and foamed plastic parts, provided that they are of flammability class HB or better.

4.6.2.3 Components within a circuit not representing a fire hazard

For *components* within a circuit not representing a fire hazard, 4.6.2 does not apply.

4.6.3 Fire enclosures

4.6.3.1 General

Fire enclosures are used to reduce the spread of fire to the environment, independent of the location where they are installed.

A *fire enclosure* shall be provided for all *PECS*, unless:

- it is an *open type PECS* and the documentation requires means against spread of fire according to 6.3.6.1, or
- the *PECS* is intended to be used only in areas without combustible materials and is marked according to 6.3.9.7.

4.6.3.2 Flammability of enclosure materials

Materials used for *fire enclosures* of *PECS* shall meet the flammability test requirements of 5.2.5.5, except for those portions of the *enclosure* that enclose only *components* not representing a fire hazard.

Materials are considered to comply without test according to 5.2.5.5 if, in the minimum thickness used, the material is of flammability class 5VB or better.

Materials for *PECS* designed as *movable equipment* comply without test if the material is of flammability class of V-1 or better for the minimum thickness which is used.

Metals, ceramic materials, and glass which is heat-resistant tempered, wired or laminated, are considered to comply without test according to 5.2.5.5.

Materials for *components* that fill an opening in a *fire enclosure* do not require to be tested according 5.2.5.5 provided that these materials comply with at least one of the following:

- V-1 class material and no larger than 100 mm in any dimension; or
- V-2 class material and either
 - not larger than 25 mm in any dimension;
 - not larger than 100 mm in any dimension and located at least 100 mm from any part that is a source of fire hazard;
- V-2 class material and there is a barrier or device(s) that forms a barrier made of a V-0 class material between the part and a source of fire hazard; or
- comply with a relevant IEC *component* standard that includes flammability requirements for *components* that are intended to form part of, or fill openings in, a *fire enclosure*.

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

Polymeric materials that serve as *fire enclosure* and have surface area greater than 1 m² or a single dimension larger than 2 m shall have a maximum flame spread index of 100 or better.

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

Compliance shall be checked by *visual inspection* in 5.2.1 and, where necessary, by test.

4.6.3.3 Openings in *fire enclosures*

4.6.3.3.1 General

For *PECS* that is intended to be used or installed in more than one orientation as specified in the documentation, the requirements in 4.6.3.3.2 to 4.6.3.3.4 apply in each orientation.

These requirements are in addition to requirements regarding openings, in this document.

NOTE For example the sections regarding *basic protection* with *live parts* in 4.4.3.2 or hazardous moving parts in 4.7.3 are additional to the requirements in 4.6.3.3.

4.6.3.3.2 Openings in the top and side of *fire enclosures*

Openings in the top surfaces of *fire enclosures* shall be designed to prevent an external object falling vertically or at up to 5° from vertical from entering the *enclosure* in an area that could lead to a fire hazard.

This requirement applies to all sides of *PECS* designed as *movable equipment* with no defined top and bottom, unless top and bottom surfaces can be suitably demonstrated in the documentation.

Compliance shall be checked by 5.2.2.2, Test 4.

For marking, see 6.3.9.7.

Openings in the top surfaces of *fire enclosures* not located vertically above or within 5° from vertical of a *component* representing a fire hazard as defined in 4.6.2 are not subject to the test of 5.2.2.2 and can be of any construction as detailed in 4.4.3.3.

Where a portion of the side of a *fire enclosure* falls within the area traced out by the 5° angle in Figure 8, the limitations in 4.6.3.3.3 regarding openings in bottoms of *fire enclosures* also apply to this portion of the side.

Compliance shall be checked by *visual inspection* in 5.2.1.

4.6.3.3.3 Openings in the bottom of a *fire enclosure*

The bottom of a *fire enclosure* or individual barriers shall provide protection against emission of flaming or molten material under all internal *components*, including partially enclosed *components* or assemblies, representing a fire hazard, as defined in 4.6.2.

The location and size of the bottom or barrier shall cover area *D* in Figure 8 and shall be horizontal, lipped or otherwise shaped to provide equivalent protection. The area shall be free of openings, except for those protected by a baffle, screen or other means, so that molten metal and burning material are unlikely to fall outside the *fire enclosure*.

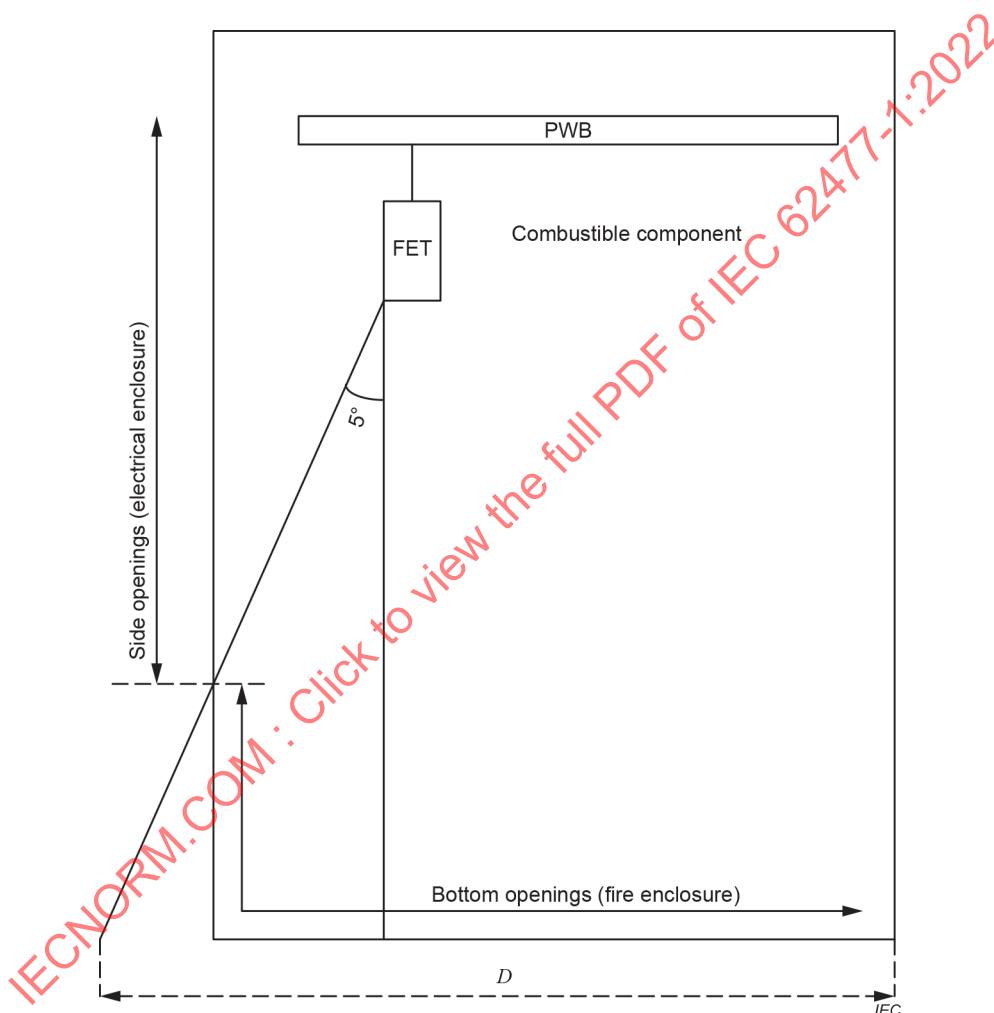


Figure 8 shows an example of a cutaway side view of a product containing a PWB with its *components* facing the bottom of the *enclosure*. If the PWB contains *components* in primary circuitry (e.g. field effect transistors), it is considered a source of ignition.

The bottom *enclosure* is considered a *fire enclosure* so openings in it shall be restrictive, for example see Table 13.

Besides providing protection against electric shocks, the side openings (electrical *enclosure*) located below the 5° projection from the source of ignition provides protection against spread of fire.

Figure 8 – Fire enclosure bottom openings below an unenclosed or partially enclosed fire-hazardous component

The following constructions are considered to satisfy the requirement without test:

- products intended to be mounted on a non-combustible surface such as concrete. For marking, see 6.3.5;
- no opening in the bottom of a *fire enclosure*;
- openings in the bottom of any size under an internal barrier, screen or the like, which itself complies with the requirements for a *fire enclosure*;
- openings in the bottom, each not larger than 40 mm², under *components* and parts meeting the flammability requirements of V-1 or HF-1 or better or under small *components* that pass the needle-flame test of IEC 60695-11-5:2016 with the flame applied for a duration of 30 s;
- baffle plate construction as illustrated in Figure 9;
- metal bottoms of *fire enclosures* conforming to the dimensional limits of any line in Table 13; or
- metal bottom screens having a mesh with nominal openings not greater than 2 mm between centre lines and with wire diameters of not less than 0,45 mm.

Compliance is checked by *visual inspection* in 5.2.1 or with the hot flaming oil test in 5.2.5.6, in case the *fire enclosure* is designed differently than as described above.

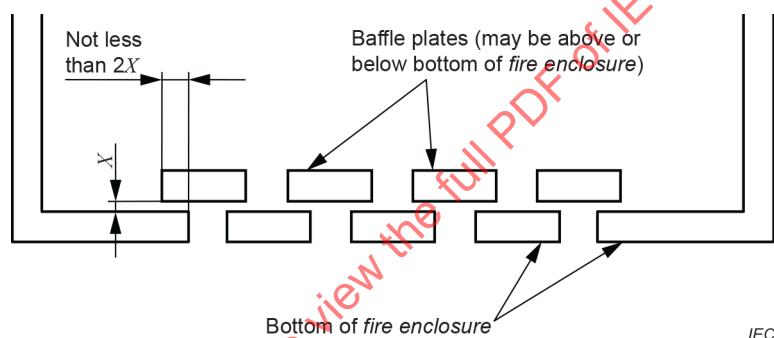


Figure 9 – *Fire enclosure* baffle construction

Table 13 – Permitted openings in *fire enclosure* bottoms

Applicable to circular holes			Applicable to other shaped openings	
Metal bottoms minimum thickness	Maximum diameter of holes	Minimum distance of holes centre to centre	Maximum area	Minimum distance of openings border to border
mm	mm	mm	mm ²	mm
0,66	1,1	1,7	1,1	0,56
0,66	1,2	2,3	1,2	1,10
0,76	1,1	1,7	1,1	0,55
0,76	1,2	2,3	1,2	1,10
0,81	1,9	3,1	2,9	1,10
0,89	1,9	3,1	2,9	1,20
0,91	1,6	2,7	2,1	1,10
0,91	2,0	3,1	3,1	1,20
1,00	1,6	2,7	2,1	1,10
1,00	2,0	3,0	3,2	1,00

4.6.3.3.4 Doors or covers in fire enclosures

If part of a *fire enclosure* consists of a door or a cover leading to an *general access area*, it shall comply with one of the following requirements:

- the door or cover shall be provided with a safety interlock; or
- a door or cover, intended to be routinely opened by the user, shall comply with both of the following conditions:
 - it shall not be removable from other parts of the *fire enclosure* by the user; and
 - it shall be provided with a means to keep it closed during normal operation.

A door or cover intended only for occasional use by an installer, such as for the installation of specified *accessories*, is permitted to be removable provided that the documentation include directions for correct removal and reinstallation of the door or cover.

Compliance is checked by *visual inspection* in 5.2.1.

For marking, see 6.3.9.7.

4.6.4 Temperature limits

4.6.4.1 General

Internal parts and external *enclosure* parts of the *PECS* shall not attain temperatures which can lead to a risk of fire, burn or electric shock due to high temperatures when the *PECS* is operated under normal operating condition and maximum ratings as determined by 5.2.3.12.

Other rated operating conditions, such as duty cycle operation, thermal derating, operation in altitude above 1 000 m and cooling control characteristic, shall be tested or calculated.

Compliance is checked by test of 5.2.3.10.

For marking, see 6.2.1 and 6.3.3.

4.6.4.2 Internal parts

PECS and its *component* parts shall not attain temperatures in excess of those in Table 14 when tested in accordance with the ratings of the *PECS*.

Table 14 – Maximum measured temperatures for internal materials and components

Materials and components		Thermocouple method °C	Rise of resistance method °C
1	Rubber- or thermoplastic-insulated conductors ^a	75	--
2	<i>Field wiring terminals</i> and other parts that may contact the <i>insulation</i> of field wiring ^b	b	--
3	Copper bus-bars and connecting straps	c	--
4	<i>Insulation systems</i> on magnetic components ^d	e	e
	Class A (105)	90	100
	Class E (120)	105	115
	Class B (130)	110	120
	Class F (155)	130	140
	Class H (180)	155	165
	Class N (200)	165	175
	Class R (220)	180	190
	Class S (250)	195	205
5	Phenolic composition ^a	165	--
6	On bare resistor material	415	--
7	Capacitor	f	--
8	<i>Power electronic devices</i>	g	--
9	PWBs	h	--
10	<i>Components</i> bridging at least <i>basic protection</i>	f	--
11	Liquid cooling medium	i	--
^a The limitation on phenolic composition and on rubber and thermoplastic <i>insulation</i> does not apply to compounds which have been investigated and found to meet the requirements for a higher temperature. ^b The maximum <i>field wiring terminal</i> temperature shall not exceed the temperature rating of the <i>field wiring terminal</i> and the <i>insulation</i> temperature rating of the conductor or cable specified by the manufacturer (see 6.3.7.4). ^c The maximum permitted temperature is determined by the temperature limit of support materials or <i>insulation</i> of connecting wires or other <i>components</i>. A maximum temperature of 140 °C is recommended. ^d The maximum temperatures on <i>insulation</i> of magnetic <i>components</i> assume thermocouples are applied on the surface of coils, and are therefore not located on hot-spots. Rise of resistance method results in a measurement of the average temperature of the winding. ^e These limits are extracted from the group safety standards IEC 61558-1:2017, IEC 61558-2-16:2021 (safety of power transformers, power supplies, reactors and similar products). ^f For a <i>component</i>, the maximum temperature specified by the manufacturer shall not be exceeded. ^g The maximum temperature on the case shall be the maximum case temperature for the applied power dissipation specified by the manufacturer of power electronic devices. ^h The maximum operating temperature of the PWB shall not be exceeded. ⁱ 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 14 consists of the calculation of the temperature rise of a winding using the following formula:

$$\Delta t = \frac{r^2}{r^1} (k + t_1) - (k + t_2)$$

where

Δt is the temperature rise;

r_2 is the resistance at the end of the test in ohms;

r_1 is the resistance at the beginning of the test in ohms;

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 materials shall be determined.

4.6.4.3 Accessible parts

In order to limit the touch temperatures of *accessible parts* of *PECS*, and to protect against long-term degradation of building materials, the maximum temperature for *accessible parts* of the *PECS* shall be in compliance with Table 15.

When surface temperatures of the *PECS*, close to mounting surfaces, exceed the limit of Table 15, a warning according to 6.3.5 shall be provided.

It is permitted that *accessible parts* that are required to get hot as part of their intended function (for example heatsinks including their cover) may have temperatures up to 100 °C, if the parts are not in contact with building materials upon installation, and are marked with the warning given in 6.4.4. For products only for use in a *restricted access area*, the temperature may exceed 100 °C.

These limits are in addition to applicable limits in 4.6.4.1.

Table 15 – Maximum measured temperatures for accessible parts of the PECS

Part	Limit °C					
	(Coated) metal ^b				Glass, porcelain and vitreous material	Plastic and rubber
	1	2	3	4		
User operated devices (knobs, handles, switches, displays, etc.) which are held continuously during normal operating conditions and <i>single fault condition</i> (approx. 10 s)	55	55	55	60	65	70
User operated devices (knobs, handles, switches, displays, etc.) which are held for short periods only, during normal operating conditions and <i>single fault condition</i> (approx. 1 s) ^a	60	70	65	85	75	80
<i>Accessible parts</i> of enclosure likely to be touched (approx. 1 s) ^a	65	75	70	90	80	85
<i>Enclosure</i> parts where they contact building materials upon installation (continuously)	90					
NOTE 1 In Table 15, the values for <i>accessible parts</i> are taken from IEC Guide 117:2010 (burn threshold). For short-duration contact with user operated devices, the values were reduced by 5 °C to allow for some margin. IEC Guide 117:2010 also provides values for burn thresholds for other coatings or materials.						
NOTE 2 The main figures of IEC Guide 117 are reproduced in Annex J for information.						
^a For products intended and expected to be operated by children and elderly persons, the contact period of IEC Guide 117:2010, Table 2, should be considered.						
^b Coating of metal surfaces:						
1: none (bare metal)						
2: lac (50 µm)						
3: porcelain enamel (160 µm)/powder (60 µm)						
4: polyamide 11 or 12 (400 µm)						

4.6.5 Limited power sources

Where a limited power source is required, the source shall comply with Table 16 or Table 17 as applicable.

A limited power source shall comply with one of the following requirements:

- the output is inherently limited in compliance with Table 16; or
- a linear or non-linear impedance limits the output in compliance with Table 16. If a positive temperature coefficient device (e.g. PTC) is used, it shall pass the applicable tests specified in IEC 60730-1:2013, IEC 60730-1:2013/AMD1:2015 and IEC 60730-1:2013/AMD2:2020; or
- a regulating network limits the output in compliance with Table 16, both with and without a *single fault condition* in the regulating network; or
- an *overcurrent protective device* is used and the output is limited in compliance with Table 17.

Where an *overcurrent protective device* is used, it shall be a fuse or a non-adjustable, non-autoreset, electromechanical device.

A limited power source operated from an *AC mains supply*, or a battery-operated limited power source that is recharged from an *AC mains supply* while supplying the load, shall incorporate an isolating transformer.

Compliance to determine the maximum available power is checked by test of 5.2.3.9.

Table 16 – Limits for sources without an overcurrent protective device

Output voltage ^a U_{oc}		Output current ^{b, d} I_{sc} A	Apparent power ^{c, d} S VA
V AC RMS	V DC		
≤ 30	≤ 30	≤ 8	≤ 100
-	$30 < U_{oc} \leq 60$	$\leq 150 / U_{oc}$	≤ 100

^a Output voltage measured in accordance with 5.1.5.3 with all load circuits disconnected. Voltages are for substantially sinusoidal AC and ripple-free DC. For non-sinusoidal AC and DC with ripple greater than 10 % of the peak, the peak voltage shall not exceed 42,4 V.

^b Maximum output current with any non-capacitive load, including a short-circuit.

^c Maximum output apparent power in VA with any non-capacitive load.

^d Measurement of I_{sc} and S are made 5 s after application of the load if protection is by an electronic circuit or a positive temperature coefficient device (e.g. PTC), and 60 s in other cases.

Table 17 – Limits for power sources with an overcurrent protective device

Output voltage ^a U_{oc}		Output current ^{b, d} I_{sc} A	Apparent power ^{c, d} S VA	Current rating of overcurrent protective device ^e A
V AC RMS	V DC			
≤ 20	≤ 20	$\leq 1\,000 / U_{oc}$	≤ 250	≤ 5,0
$20 < U_{oc} \leq 30$	$20 < U_{oc} \leq 30$			$\leq 100 / U_{oc}$
–	$30 < U_{oc} \leq 60$			$\leq 100 / U_{oc}$

^a Output voltage measured in accordance with 5.1.5.3 with all load circuits disconnected. Voltages are for substantially sinusoidal AC and ripple free DC. For non-sinusoidal AC and for DC with ripple greater than 10 % of the peak, the peak voltage shall not exceed 42,4 V.

^b Maximum output current with any non-capacitive load, including a short-circuit, measured 60 s after application of the load.

^c Maximum output VA with any non-capacitive load measured 60 s after application of the load.

^d Current limiting impedances remain in the circuit during measurement, but *overcurrent protective devices* are bypassed. The reason for making measurements with *overcurrent protective devices* bypassed is to determine the amount of energy that is available to cause possible overheating during the operating time of the *overcurrent protective devices*.

^e Current ratings of *overcurrent protective devices* that break the circuit within 120 s with a current equal to 210 % of the current rating specified in the table.

4.7 Protection against mechanical hazards

4.7.1 General

Failure of any *component* within the *PECS* shall not release sufficient energy to lead to a hazard, for example, expulsion of material into an area accessible to *ordinary persons* or *skilled persons*.

4.7.2 Specific requirements for liquid cooled PECS

4.7.2.1 Coolant

The specified coolant (see 6.2) shall be suitable for the anticipated ambient temperatures during storage and operation. Coolant temperature in operation shall not exceed the limit specified in Table 14.

The coolant used in a cooling system shall be a medium investigated for the purpose, water, glycol, a mixture of water and glycol or non flammable synthetic oils.

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 document. However, the possible failure of such components should be considered during the analysis of 4.2.

Compliance is checked by *visual inspection* in 5.2.1 and test of 5.2.3.10.

For marking, see 6.2.1.5.

NOTE Flammable coolants used in cooling systems are not covered by this document.

4.7.2.2 Design requirements

4.7.2.2.1 General

The liquid containment system components shall be compatible with the coolant medium to be used.

PECS using liquids shall be so constructed that it is unlikely that either a hazardous concentration of these materials or a hazard in the meaning of this document will be created by condensation, vaporization, leakage, spillage or corrosion during normal operation, storage, filling or emptying.

Compliance is checked by *visual inspection* in 5.2.1.

4.7.2.2.2 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 prolonged exposure to the coolant and/or air.

Compliance is checked by *visual inspection* in 5.2.1.

4.7.2.2.3 Tubing, joints and seals

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

4.7.2.2.4 Leakage of coolant

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

During a leakage, means shall ensure that coolant will not result in wetting of *live parts* or *electrical insulation*.

Compliance is checked by *visual inspection* in 5.2.1.

4.7.2.2.5 Loss of coolant

Loss of coolant from the cooling *system* shall not result in thermal hazards, mechanical hazard or electric shock hazard.

The requirements of the loss of coolant test of 5.2.4.9.4 shall be satisfied.

4.7.2.2.6 Insulation requirements for coolant and coolant system

When the coolant is intentionally in contact with *live parts* (for example non-earthed heatsinks), hazards shall not be present under normal operating conditions or *single fault conditions*.

Also, the coolant *system* (e.g. hoses) form a part of the *insulation system*. The requirements of 4.4.7 for *functional protection*, *basic protection* or *enhanced protection* and 4.4.5.5 shall be applied where relevant.

Compliance is checked by the evaluation of 4.2 and the measurement of 5.2.3.7.

4.7.3 Mechanical hazards from rotating parts

4.7.3.1 General

Rotating parts shall not cause hazards.

4.7.3.2 Mechanical hazards caused by fan

Fans and their blades shall not cause injury under normal operating conditions, and during service and maintenance in *service access areas*.

NOTE 1 For more information, see IEC 62368-1:2018, 8.2.

NOTE 2 For protection against pain, see IEC 62368-1:2018.

NOTE 3 The phrase "injury" means that a doctor or hospital emergency attention can be needed.

Hazardous fan blades shall be protected by an *enclosure* or barriers fulfilling IP2X.

For compliance, see test in 5.2.2.2.

No protection is required for fan blades when it can be verified that they will not cause injury when touched. Compliance is verified by the following formulae:

- plastic fan blades complying with $\frac{N}{44\,000} + \frac{K}{7\,200} \leq 1$;
- other fan blades complying with $\frac{N}{22\,000} + \frac{K}{3\,600} \leq 1$.

The *K* factor is determined from the formula:

$$K = 6 \times 10^{-7} (m \, r^2 \, N^2)$$

where

m is the mass (kg) of the moving part of the fan assembly (blade, shaft and rotor);

r is the radius (mm) of the fan blade from the centre line of the motor (shaft) to the tip of the outer area likely to be touched;

N is the rotational speed (rpm) of the fan blade.

The fan maximum speed in the application shall be taken into account.

Compliance is checked by calculation.

4.7.3.3 Expelled parts

Risk of injury due to loosening of moving parts shall be mitigated as required by 4.2.

Possible mitigations include:

- protection by *enclosure*, barrier or guarding; or
- usage of common mechanical practices such as lock washers, self-retaining hardware, proper torquing of hardware, rivets, welding.

No test is required.

4.7.4 Sharp edges

Edges, projections, corners, openings, guards, handles and the like that are *accessible* to the user shall be smooth and rounded so as not to cause injury during installation, normal operating conditions and maintenance of the *PECS*.

Conformity is checked by *visual inspection type test* in 5.2.1 and, if necessary, by application of an object that represents a finger in size, shape and hardness, to check for abrasions or cuts.

NOTE An acceptable procedure is described in IEC TR 62854:2014 or UL 1439.

4.8 *PECS* with multiple sources of supply

PECS intended to be provided with more than one supply connection (for example, with different voltages or frequencies or as backup power), shall be designed such that all of the following conditions are met:

- separate means of connection are provided for different circuits;
- supply plug connections, if any, are not interchangeable if a hazard could be created by incorrect plugging; and
- hazards, within the meaning of this document, shall not be present under normal operating conditions or *single fault conditions* due to the presence of multiple sources of supply. Actions such as disconnection or *de-energizing* of a supply are considered a normal operating condition.

Compliance is checked by the evaluation of 4.2.

Information shall be provided with the *PECS* indicating the presence of multiple sources of supply and disconnection procedures (see 6.5.5).

Examples of the types of hazards that should be considered are:

- a) backfeed prevention – preventing voltage or energy available within the *PECS* or one of its sources from being fed back to any of the disconnected input terminals for another source, either directly or by a leakage path;
- b) protection against unintentional islanding;
- c) *touch current* levels, which may be higher with multiple sources connected simultaneously (if that is a normal operating condition for the *PECS*);

- d) hazard resulting from damage to one or more connected sources (for example, a generator) due to energy from another source, for example the *mains supply*; and
- e) damage to wiring due to currents higher than the wiring is designed for flowing from another source.

4.9 Protection against environmental stresses

The manufacturer shall specify the following service conditions for operation, storage and transportation:

- coolant temperature (min./max.);
- ambient temperature (min./max.);
- humidity (min./max.);
- *pollution degree*;
- vibration;
- UV resistance;
- *OVC (overvoltage category)*;
- altitude for thermal consideration, if rated for operation above 1 000 m; and
- altitude for *insulation* coordination considerations, if rated for operation above 2 000 m.

NOTE Environmental categories as specified in IEC 60721 (all parts) can be used where appropriate.

The manufacturer shall state the environmental service condition for the *PECS* according to Table 18.

Where the *PECS* complies with the requirements of this document only at conditions higher than the minimum values or lower than the maximum values given in Table 18, then this shall be by agreement between the manufacturer and the user. The specific conditions shall be identified in the documentation and on the product as specified in 6.3.3.

Table 18 – Environmental service conditions

Condition	Indoor conditioned	Indoor unconditioned	Outdoor unconditioned
Standard	IEC 60721-3-3:1994, IEC 60721-3-3:1994/AMD1:1995 and IEC 60721-3-3:1994/AMD2:1996		IEC 60721-3-4:1995 and IEC 60721-3-4:1995/AMD1:1996
Climatic	Class 3K2	Class 3K3	Class 4K6
Low temperature	+15 °C	+5 °C	–20 °C
High temperature	30 °C	40 °C	55 °C
Low humidity	10 % R.H.	5 % R.H.	4 % R.H.
High humidity	75 % R.H.	85 % R.H.	100 % R.H.
Condensing	Not permitted	Not permitted	Permitted
Pollution degree	2	3 ^b	4 ^c
Humidity skin condition ^d	Dry	Water wet ^a	Salt water wet ^a
Chemically active substances	Class 3C1 (no salt mist)	Class 3C1 (no salt mist)	Class 4C2 (salt mist) ^a
Mechanically active substances	Class 3S1 (no requirement)	Class 3S1 (no requirement)	Class 4S2 (dust and sand)
Mechanical	Class 3M1 (vibration: 1 m/s ²)	Class 3M1 (vibration: 1 m/s ²)	Class 4M1 (vibration: 1 m/s ²)
Biological	Class 3B1 (no requirement)	Class 3B1 (no requirement)	Class 4B2 (mould/ fungus/rodents/ termites)
UV resistance	No requirement	No requirement	4.12.8
^a Where it is ensured that the <i>PECS</i> will not be used in water-wet or salt water-wet condition, the manufacturer may choose to rate the <i>PECS</i> for a less severe condition. In this case, the rating shall be indicated in the documentation, according to 6.3.3. ^b <i>Pollution degree</i> 2 may be provided if the conditions in 4.4.7.1.3 are satisfied. ^c <i>Pollution degree</i> 2 or 3 may be provided if the <i>enclosure</i> provides sufficient protection against conductive pollution and the conditions in 4.4.7.1.3 are satisfied. ^d This requirement is added to this table due to interacting of users and <i>PECS</i> , when selecting the applicable <i>DVC</i> As. For example, the dry skin of the hand becomes wet when touching a wet <i>PECS</i> .			

Compliance is checked by test of 5.2.6.

4.10 Protection against excessive acoustic noise hazards

The *PECS* shall provide protection against excessive acoustic noise. Compliance tests are carried out if the *PECS* is likely to cause such hazards.

If the sound pressure – except alarms – exceeds 70 dBA, the documentation shall provide information regarding the sound pressure of the *PECS*.

Compliance is checked by *visual inspection* in 5.2.1, measurement or calculation of the maximum sound pressure level in accordance with ISO 3746:2010 or ISO 9614-1:1993.

For marking, see 6.4.1.

4.11 Wiring and connections

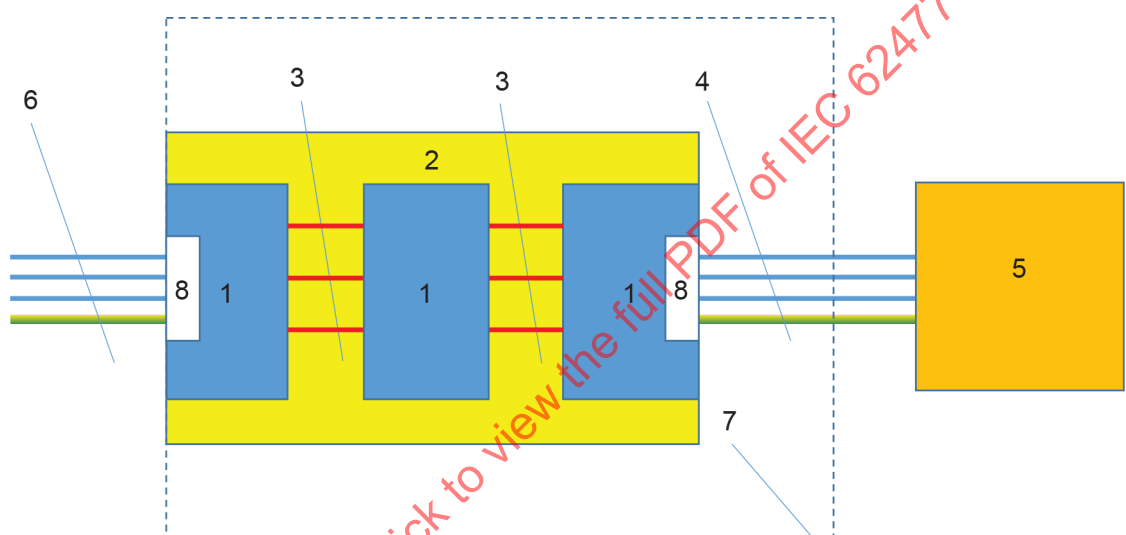
4.11.1 General

The wiring and interconnections of the *PECS* and parts of them shall be protected from mechanical damage during installation and use. The *insulation*, sheath protection, conductors and routing of all wires of the *PECS* 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 according to Table 3.

The compliance with 4.11.2 to 4.11.11 shall be checked by *visual inspection* in 5.2.1 of the overall construction and datasheets if applicable.

An example for interconnections within *PECS* and between parts of them is shown in Figure 10.



IEC

Key

1	part 1 to <i>n</i> of the <i>PECS</i>	5	load
2	<i>power conversion</i> of the <i>PECS</i>	6	<i>installation</i>
3	interconnection internal of the <i>PECS</i>	7	<i>PECS</i>
4	interconnection between parts of the <i>PECS</i>	8	<i>Field wiring terminals</i>

Figure 10 – Example for interconnections within *permanently connected PECS* and between parts of them

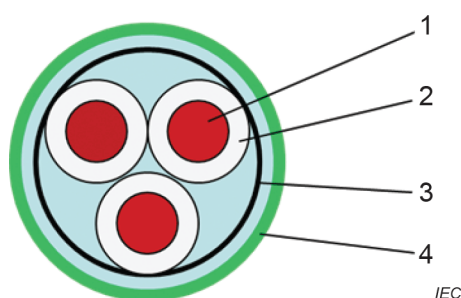
4.11.2 Insulation of conductors

4.11.2.1 General

Conductors shall provide *insulation* according to the requirements of this document. This may be achieved either by *clearance* and *creepage distance* or by *solid insulation*.

Uninsulated conductors, for example bus-bars, shall meet the appropriate requirements for *clearance* and *creepage distances* within the circuit and against other circuits for the *DVC* of the voltage involved according to Table 8 and Table 9.

An example of a cable as an arrangement of insulated conductors is shown in Figure 11.



Key

- 1 conductor
- 2 *insulation* of the conductor (*basic protection*)
- 3 shield (optional)
- 4 non-metallic sheath of the cable (*fault protection*)

Figure 11 – Example of cable as an arrangement of insulated conductors

Cable product standards do not specify *impulse withstand voltage* capability and ability against partial discharge.

However, it is considered for this document that the combination of the *insulation* of the individual conductors and the non-metallic sheath of the cable provides *enhanced protection* according to Table 3 if the cable complies with the following requirements:

- a) the cable complies with an applicable cable product standard;
- b) the rated voltage of the insulated conductor or cable shall be not less than the rated voltage within the circuit and against other circuits, and
- c) the test voltage of the insulated conductors shall comply with the applicable Table 28 or Table 29.

NOTE 1 *Impulse withstand voltage* test and partial discharge test are not required in general, except where cables are part of an *enhanced protection* within a *component* or subassembly, and then only restricted to the region between the two different DVC.

The *insulation* of the conductor is considered *basic protection* and the non-metallic sheath is considered *fault protection*.

NOTE 2 For more information, see IEC 60364-4-41:2005 and IEC 60364-4-41:2005/AMD1:2017, 412.2.4.

4.11.2.2 Accessible wiring system

Accessible wiring systems outside of the *enclosure* are considered to meet the requirements of barriers or *enclosure* in 4.4.3.3 for *PECS*, if adequate mechanical protection of the insulated conductor is provided by one or more of the following:

- a) a non-metallic sheath of the cable, provided that the requirements 4.11.2 are met; or
- b) an insulated conductor providing *basic insulation* with
 - 1) a non-metallic cable duct complying with IEC 61084 (all parts);
 - 2) a non-metallic conduit complying with IEC 61386 (all parts) or equivalent;
 - 3) a metallic cable duct or conduit, provided that that metallic parts are connected with the equipotential bonding system and comply with 4.4.4.2.2; or
 - 4) an insulated conductor complying with an applicable insulated conductor product standard and providing *reinforced insulation*.

4.11.2.3 Conductors of different circuits

Conductors of different circuits in multiconductor cable or occupying the same duct (for example conduit, cable trunking *system*) shall be adequately protected against all other conductors according to Table 3, or all conductors shall have protection for the highest voltage involved.

If the *insulation* relies on *clearance* and *creepage distance*, means shall be provided to keep the conductors separated.

4.11.3 Stranded wire

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.

When stranded wiring or stranded shields of shielded wire is connected to a wire-binding screw, terminal or other means for connecting, the construction shall be such that loose strands will meet the requirements in 4.4.7.4 and 4.4.7.5 against:

- other uninsulated *live parts* not always of the same potential as the wire; or
- conductive metal parts not connected with *PE*.

4.11.4 Routing and clamping

A hole through which insulated wires pass in a sheet metal wall within the *enclosure* of the *PECS* 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 and external wiring shall be provided with smooth, well-rounded edges. The clamping action and bearing surface shall be such that abrasion or deformation 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.

Compliance is checked by *visual inspection* in 5.2.1.

4.11.5 Identification of conductors and terminals

Where the identification of internal conductors, terminals and *field wiring terminals* is considered necessary for safety during installation and/or maintenance, it is in the responsibility of the *PECS* manufacturer to choose the appropriate method. Guidance is given in IEC 60445:2021 and IEC 61148:2011.

When identification by colour is used, it shall be at terminations and preferably throughout the length of the conductor either by the colour of the *insulation* or by colour markers, except for bare conductors where the colour identification shall be at termination and connection points.

When identification by colour is used, the colour green-and-yellow shall be used for *protective equipotential bonding* or *PE conductor(s)*. Green-and-yellow colour shall not be used for other purpose. Where a circuit includes a neutral identified by colour, the colour used for this purpose shall be light blue.

The choice of light blue for the neutral conductor and green or green-and-yellow for the *protective equipotential bonding* or *PE conductor(s)* is covered by national regulations. In some countries, the colour code deviates from the above requirement or allows other alternatives.

NOTE In US and Canada, the colour white instead of light blue is used for the neutral conductor. Green instead of green-and-yellow is used for the *PE conductor*.

For insulated conductors which are integral to ribbon cable or multi-cord signal cable, only identified by the colour, the usage of single colours green, yellow and blue is permitted; however, the manufacture shall provide information and/or marking(s) which clearly indicate the colour code meaning. This shall also prevent mis-identification with earthing or other *systems* that might classically use these colours.

4.11.6 Splices and connections

All splices and connections shall be mechanically secured 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.

Stranded wire shall not be consolidated with solder where secured in a terminal that relies on pressure for contact.

When screw terminal connections are used, the resulting connections may require routine maintenance (tightening).

Appropriate reference shall be made in the documentation.

For marking, see 6.3.7.4.2.

4.11.7 Accessible connections

In addition to means given in 4.4.2.5, 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 As*, unless all circuits which supply this connection meet the *single fault condition* requirements of Table 5 and all requirements of 4.5.1.2.

If the *PECS* is designed to be supplied only at voltages not exceeding *DVC As* in normal operating conditions or *single fault condition*, or from a source used solely to supply that *PECS*, the plugs of the power supply cord shall not fit into the plug and socket-outlets of *mains supply systems* at voltages above the rated supply voltage of the *PECS*.

NOTE IEC TR 60083:2015 provides information about plugs and socket-outlets for *mains supply systems*.

Standard *mains supply* plugs and socket-outlets shall not be used for purposes other than connection of a *mains supply*. 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 or key or which are *accessible* without the use of a tool or key. This does not apply to *PECS* intended to be installed in *restricted access areas*.

If plug pins of cord-connected *PECS* receive a charge from an internal capacitor, the pins shall be investigated to 4.4.2.5 and 4.4.9.

Test according to 5.2.3.8 shall be conducted, if necessary.

Marking is required on *PECS* with plug and socket-outlets:

- a) if the plug and socket-outlet can accept a standard *mains supply* plug, there shall be a marking as specified in 6.3.7.5; or
- b) if the plug and socket-outlet has a terminal contact for a *PE conductor*, the input *mains supply* connection to the *PECS* shall include a *PE conductor* connected to a *PE conductor* terminal.

If relevant, non-interchangeability and protection against polarity reversal of connectors, plugs and outlets shall be confirmed by *visual inspection* in 5.2.1 and trial insertion.

4.11.8 Interconnections between parts of the PECS

Consideration shall be given to the voltage and the current rating of the circuit(s) and the temperature of the surroundings for wiring between parts of the complete *PECS*. All sections of the *PECS* shall comply with one of the following requirements of

- applicable subclauses 4.11.2 to 4.11.11;
- IEC 60364 (all parts); or
- local *installation* rules.

NOTE 1 Information about current rating of conductors is provided in IEC 60364-5-52:2009 considering ambient temperature, *installation* method, cable type, material of conductor and *insulation*.

Cable assemblies and flexible cords provided for interconnection between sections of *PECS* or between parts of a *system* shall be suitable for the electrical, mechanical, thermal and environmental conditions of use taking into account 4.4.7 and 4.9. For enclosed *PECS*, cables shall be protected from physical damage as they leave the *enclosure* and shall be provided with mechanical strain relief according to 4.12.6.

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 *accessible parts* 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 part* of contacts of either the plug or receptacle when disconnected. Requirements for external interconnecting of *DVC A*s and *DVC B* are given in 4.4.2.5.

For internal interconnecting, no requirements are given.

NOTE 2 An interlock circuit in the cable to *de-energize* the *accessible part* of contacts whenever an end of the cable is disconnected meets the intent of these requirements.

NOTE 3 For information, see IEC 60204-1:2016.

4.11.9 Supply connections

4.11.9.1 General

PECS intended to be *permanently connected* to the *mains supply* or *non-mains supply* shall have means for connection to the applicable wiring *system* in accordance with the requirements where it is being installed.

4.11.9.2 Mains supply cords

NOTE Requirements have been derived from IEC 61010-1:2010; 6.10.1.

The following requirements apply to non-detachable *mains supply* cords and to detachable *mains supply* cords supplied with the *PECS*.

Cords shall comply with 4.11 as applicable and be rated for the maximum current for the *PECS*.

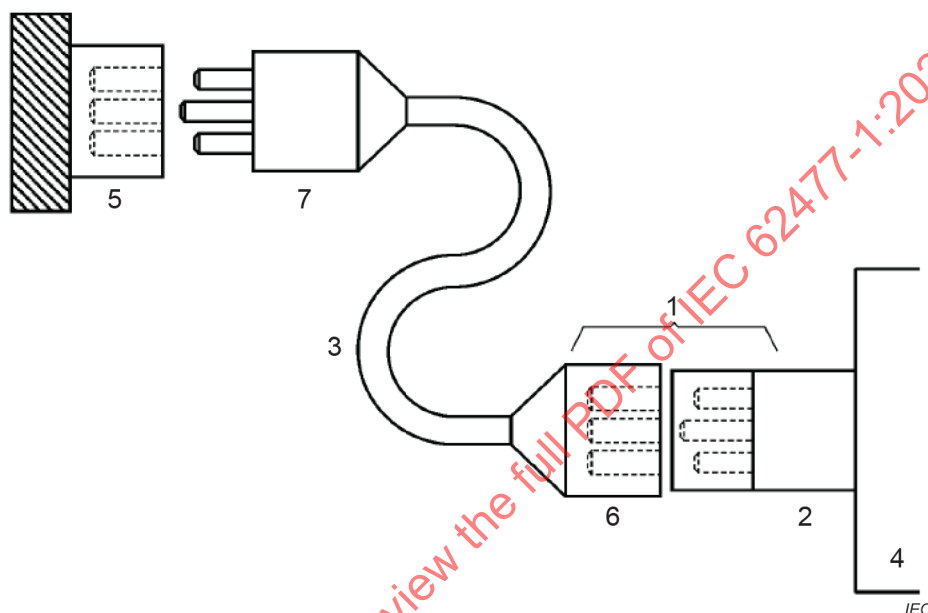
If a cord is likely to contact hot external parts of the *PECS*, it shall be made of suitably heat-resistant material.

If the cord is detachable, both the cord and the appliance inlet shall have adequate temperature ratings.

The identification of the conductors and terminals shall be according to 4.11.5.

Detachable *mains supply* cords with *mains supply* connectors according to the relevant parts of IEC 60320 (all parts) shall either meet the requirements of IEC 60799:2018, or shall be rated at least for the current rating of the *mains supply* connector fitted to the cord.

Figure 12 explains the terminology for *mains supply* cords.



Key

1	appliance coupler	5	fixed plug and socket-outlet
2	appliance inlet	6	<i>mains supply</i> connector
3	cable	7	<i>mains supply</i> plug
4	PECS		

Figure 12 – Detachable *mains supply* cords and connections

Compliance is checked by *visual inspection* in 5.2.1 and, where necessary, by measurement.

4.11.9.2.1 Fitting of non-detachable *mains supply* cords

4.11.9.2.1.1 Cord entry

Mains supply cords shall comply with 4.11.4 and be protected against abrasion and sharp bends at the point where the cord enters the PECS, by one of the following means:

- an inlet or bushing with a smoothly rounded opening; or
- reliably fixed flexible cord guard made of insulating material protruding beyond the inlet opening by at least five times the overall diameter of a cord with the largest cross-sectional area which can be fitted. For flat cords, the larger cross-sectional dimension is taken as the overall diameter.

Compliance is checked by *visual inspection* in 5.2.1 and, if needed by measurement of dimensions.

4.11.9.2.1.2 Cord anchorage

The cord anchorage shall comply with the requirements and tests of strain relief in 4.12.6.

4.11.9.2.1.3 Plugs and connectors

Plugs and connectors for connecting *PECS* to the *mains supply*, including appliance couplers used to connect detachable *mains supply* cords, shall conform to the relevant specifications for plugs and socket-outlets and connectors and shall comply with 4.11.7.

4.11.10 Field wiring terminals and internal terminals

4.11.10.1 Construction requirements

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

Terminals 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 constructed so 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 *PECS* and the *insulation* shall not be reduced below the rated values.

The requirements of 4.11.10.1 are met by using terminals complying with IEC 60947-7 (all parts).

For marking, see 6.3.7.4.

4.11.10.2 Connecting capacity

Field wiring terminals and internal terminals shall accommodate installation of wiring specified in the documentation. It shall be possible to perform the installation according to the wiring rules applicable at the *installation*.

The terminals shall be sized to cover all of the following requirements:

- the wire size for 125 % of the maximum nominal current:
 - the intended material of the conductor for example copper or aluminium; and
 - the longest permitted cable length;
- the wire size for the lowest specified load current intended to be used: the shortest permitted cable length;
- the temperature rating of the intended *insulation* for the conductor; and
- the highest *ambient temperature* of the intended *installation* of the load cable.

NOTE 1 Long cable can cause unallowable voltage drop which can be compensated using a larger wire size.

NOTE 2 Examples for ambient temperature: IEC 61439-1:2020 and IEC 60204-1:2016 require at least 40° C, IEC 60364-5-52:2009 requires at least 30° C for all *installations* and 20° C for *installations* with buried cables.

For compliance, the terminals shall meet the temperature rise test of 5.2.3.10.

For marking, see 6.3.7.4.2.

NOTE 3 Standard values of cross-section of round copper conductors are shown in Annex G, which also gives the approximate relationship between ISO metric and AWG/MCM sizes.

4.11.10.3 Connection to external conductors

Field wiring terminals for connection of external conductors shall be readily *accessible* during installation. See 4.11.5.

Sets of terminals for connection to the same input or output shall be grouped together and shall be located in proximity to each other and to the main protective earthing terminal, if any. If the documentation provides detail on the proper earthing of the *system*, the protective earthing terminal need not be placed in proximity to the terminals.

For each connection with a neutral and/or *PE* terminal, these terminal(s) shall be located near the associated phase terminals.

The required tightening torque shall be stated in the *installation* documentation.

For *PE* terminals, 4.4.4.3.2 and 4.4.4.3.3 apply.

For marking, see 6.3.7.4.

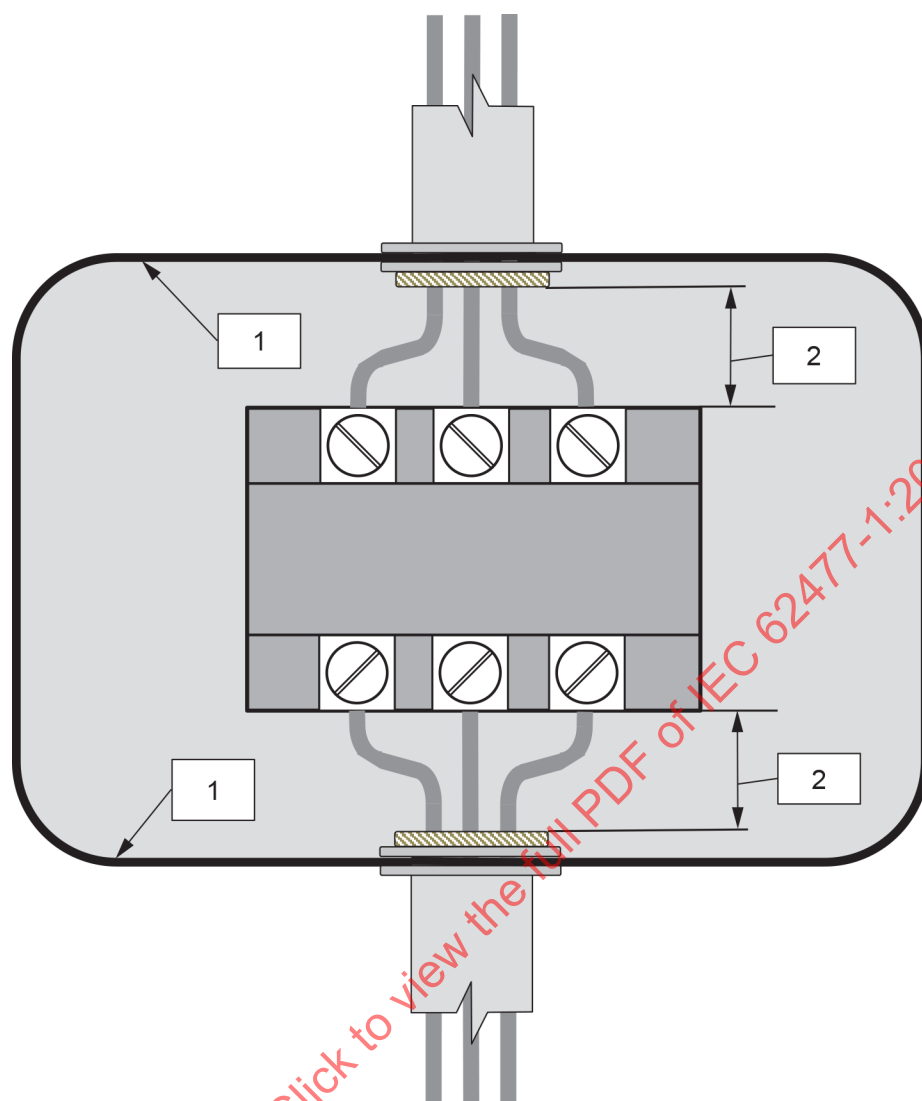
4.11.10.4 Wire bending space for wires 10 mm² and greater

For *PECS*, the distance between a terminal for connection to the *mains supply*, or between major parts of the *PECS* (for example transformer, *part of the PECS*), and an obstruction toward which the wire is directed upon leaving the terminal shall be at least that specified in Table 19.

Table 19 – Wire bending space from terminals to enclosure

Size of wire	Minimum bending space, terminal to enclosure		
mm ²	mm		
	Wires per set of terminal		
	1	2	3
10 to 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

Figure 13 shows the example for evaluation of the wire bending space.



IEC

Key

- 1 enclosure
- 2 wire bending space

Figure 13 – Example for evaluation of wire bending space

NOTE See also IEC 62440:2008, 5.6.3, for guidance for wire bending.

4.11.11 Means for shield connection of shielded wire or shielded cable

If means for connecting the shield of shielded wire or shielded cable are provided, their construction shall comply with 4.4.4.3.2, 4.11.3, 4.11.4, 4.11.10.1 and 4.12.6.

NOTE Shielded wire or shielded cable can be needed to fulfil EMC requirements.

4.12 Enclosures**4.12.1 General**

The following requirements are in addition to *enclosure* requirements given in other subclauses relating to specific hazards, for example electric shock hazard in 4.4, fire hazard in 4.6 and mechanical requirements in 4.7.

Enclosures shall be suitable for use in their intended environment. The manufacturer shall specify the intended environment (see 6.3.3) and the IP rating of the *enclosure* (see 5.2.2.3 for test).

Enclosures shall have adequate mechanical strength and shall be so constructed that no hazard occurs when subjected to such handling as may be expected.

Mechanical strength tests are not required on an internal barrier, screen or the like, provided to meet the requirements of 4.6.3, if the *enclosure* provides mechanical protection.

An *enclosure* shall be sufficiently complete to contain or deflect parts which, because of failure or for other reasons, might become loose, separated or thrown from a moving part.

Compliance shall be checked by the relevant tests of 5.2.2.4, 5.2.2.5, 5.2.2.6 and 5.2.2.7 as specified. If a metallic *enclosure* complies with the applicable thickness requirement of 4.12.3 or 4.12.4, the test in 5.2.2.4.2 can be waived.

For *open type PECS*, the tests of 5.2.2.4 to 5.2.2.7 are not required.

4.12.2 Handles and manual controls

Handles, knobs, grips, levers and the like shall be reliably fixed so that they will not work loose when used as intended, if this could result in a hazard. Sealing compounds and the like, other than self-hardening resins, shall not be used to prevent loosening. If handles, knobs and the like are used to indicate the position of switches or similar *components*, it shall not be possible to fix them in a wrong position if this could result in a hazard.

Compliance shall be checked by *visual inspection* in 5.2.1, and as applicable by the tests of 5.2.2.7.

4.12.3 Cast metal

At threaded holes for conduit a minimum of 6,4 mm thickness is required for all materials of 4.12.3.

Die-cast metal shall be

- not less than 2,0 mm thick for an area larger than 155 cm² or having any dimension larger than 150 mm; and
- 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 shall be

- at least 2,4 mm thick for an area larger than 155 cm² or having any dimension larger than 150 mm; and
- at least 1,5 mm thick for an area of 155 cm² or less having no dimension larger 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.

4.12.4 Sheet metal

The thickness of a metal *enclosure* at points to which a wiring *system* is to be connected shall not be less than

- 0,8 mm thick for uncoated ferrous metal; and
- 1,2 mm thick for non-ferrous metal.

The base thickness of coated ferrous metal shall be 0,8 mm minimum.

Enclosure thickness at points other than where a wiring *system* is to be connected shall be not less than that specified in Table 20 or Table 21.

With reference to Table 20 or Table 21, 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; or
- an *enclosure* surface having an unsupported edge.

See Figure 14 for supported and unsupported *enclosure* surfaces.

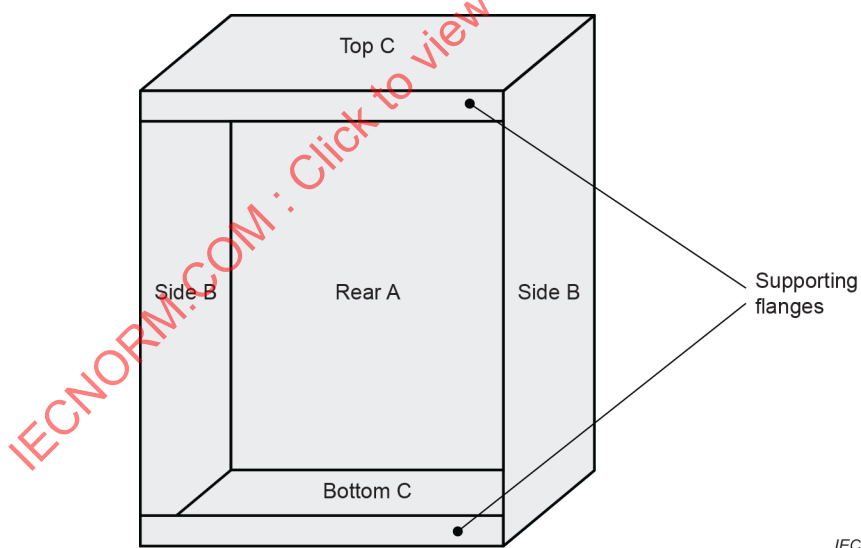


Figure 14 – Supported and unsupported *enclosure* parts

Each *enclosure* surface is evaluated individually based on the length and width dimensions. For each set of surface dimensions, A, B or C, the width is the smaller dimension regardless of its orientation to other surfaces. In Table 20 and Table 21, there are two sets of dimensions that correspond to a single metal thickness requirement, and the following describes the applicable procedure for determining the minimum metal thickness for each surface.

For a supported surface, all of the table dimensions, including the "not limited" lengths, are able to be applied. The rear surface A and the top and bottom surfaces C are supported either by adjacent surfaces of the *enclosure* or by a 12,7 mm (1/2 inch) wide flange. To determine required metal thickness for supported surfaces, the width shall be measured and compared with the table value in the maximum width column that is equal to or greater than the measured width. When the corresponding length in the maximum length column is "not limited", the minimum thickness in the far right column shall be used. When the corresponding length in the maximum length column is a numerical value, and the measured length of the side does not exceed this value, the minimum thickness from the far right column shall be used. When the measured length of the side exceeds the numerical value, the next line in Table 20 and Table 21 shall be used.

For an unsupported surface, only the table dimensions that include a specific length requirement are applied. The dimensions with a "not limited" length do not apply. The front edge of the left and right surfaces B are not supported by an adjacent surface or by a flange. To determine the required metal thickness for unsupported surfaces, the length shall be measured and compared with the table value in the maximum length column that is not less than the measured length, ignoring the "not limited" entries. When the corresponding width in the maximum width column is not less than the measured width, the minimum thickness from the far right column shall be used. When the measured width of the surface exceeds the value in the maximum width column, the next line in Table 20 and Table 21 shall be used.

**Table 20 – Thickness of sheet metal for *enclosures*:
carbon steel or stainless steel**

Without supporting frame ^a		With supporting frame ^a		Minimum thickness
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 4.12.4.

^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* can 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 should be not less than 0,86 mm thick.

**Table 21 – Thickness of sheet metal for *enclosures*:
aluminium, copper or brass**

Without supporting frame ^a		With supporting frame ^a		Minimum thickness
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 4.12.4. ^b The width is the smaller dimension of a rectangular piece of sheet metal which is part of an <i>enclosure</i> . Adjacent surfaces of an <i>enclosure</i> can 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 <i>enclosure</i> intended for outdoor use should be not less than 0,74 mm thick.				

4.12.5 Stability requirement for *enclosure*

Under conditions of intended use, floor-standing *PECS* without fixing or other *PECS* during commissioning shall not become physically unstable to the degree that they could become a hazard.

If *PECS* are designed to be fixed together on site and not used individually, the stability of each individual *PECS* is exempt from the requirements of 4.12.5.

The requirements of 4.12.5 are not applicable if the documentation specifies that the *PECS* is to be secured to the building structure before operation.

During operations performed by an *ordinary person*, a stabilizing means, if needed, shall be automatic in operation when drawers, doors, etc., are opened.

During operations performed by a *skilled person*, the stabilizing means, if needed, shall either be automatic in operation, or a marking shall be provided to instruct the *skilled person* to deploy the stabilizing means.

Compliance is checked by test of 5.2.2.5.

For marking, see 6.3.4.

4.12.6 Strain relief

Where an external flexible cord or cable are connected to the *PECS*, strain relief shall be provided to protect the conductors of the cord or cable from strain, including twisting. The strain relief shall also protect the *insulation* of the conductors from abrasion.

The *PE conductor*, if any, shall be the most robust connection and the absolute last to detached under excessive strain.

Strain reliefs shall meet the following requirements:

- a) the cord shall not be clamped by a screw which presses directly on the cord;
- b) knots in the cord shall not be used as a means of strain relief;
- c) the cord shall not be damaged when subjected to a torque of the value and time shown in Table 25 as close as possible to the external end of the cord strain relief or bushing;
- d) clamps and guides, either metallic or non-metallic, shall be provided with smooth, well-rounded edges to prevent failure of the *insulation*;
- e) in *general access areas*, it shall not be possible to loosen the cord strain relief without the use of a tool.

A cable gland shall not be used as a strain relief unless the cable gland manufacturer's specification states that it is suitable for use as a strain relief.

Compliance is demonstrated by *visual inspection* in 5.2.1 and by test in 5.2.2.8.

4.12.7 Polymeric enclosure stress relief

Enclosures of moulded or formed thermoplastic materials shall be so constructed that any shrinkage or distortion of the material due to release of internal stresses caused by the moulding or forming operation does not result in the exposure of hazardous parts or in the reduction of *creepage distances* or *clearances* below the minimum required.

Compliance shall be checked according to 5.2.2.4.5.

4.12.8 Polymeric enclosure UV resistance

Polymeric parts of an outdoor *enclosure* subjected to ultra-violet (UV) exposure shall be sufficiently resistant to degradation by UV radiation.

Compliance is checked by *visual inspection* in 5.2.1 of the construction and also either by

- available data regarding the UV resistance characteristics of the *enclosure* material and any associated protective coating; or
- test according to 5.2.5.9.

For marking, see 6.3.3.

4.13 Components

4.13.1 General

Components identified in 4.2 and 4.4.7.1.8 shall be used within their specified ratings during normal operating conditions and shall be suitable for the environmental and electrical conditions where the *component* is located within the *PECS* and

- a) comply with its relevant *component* safety standard; or

- b) when no relevant *component* safety standard exists, shall be subjected to all the applicable design requirements of this document.

All applicable tests requirements of this document apply.

For *components* evaluated according to b) above, the *components* shall be subjected to *sample tests* which includes but is not limited to material inspection, testing and investigation to determine ongoing compliance with safety requirements of this document.

NOTE 1 A *component* safety standard is considered relevant only if the *component* in question falls within the scope of the *component* safety standard.

Relevant *component* safety standards are considered to be either

- 1) the relevant IEC *component* safety standard, or
- 2) a non-IEC *component* safety standard issued by a national, international or industry recognized standards development organization.

NOTE 2 The Bibliography provides an informative list of relevant *component* safety standards.

Compliance is checked by *visual inspection* in 5.2.1 and tests.

4.13.2 PTC thermistors

NOTE 1 Derived from requirements of IEC 62368-1:2018.

PTC thermistors used for limited power sources according to 4.6.5 shall comply with IEC 60730-1:2013 and IEC 60730-1:2013/AMD2:2020, Clause 15, Clause 17, Clause J.15, Clause J.17, Type 2.A.L. action.

For PTC thermistors whose continuous power dissipation that appears at its maximum voltage at an ambient temperature of 25 °C or otherwise specified by the manufacturer for tripped state, determined as given in IEC 60738-1:2009, 3.38, exceeds 15 W and with a size of 1 750 mm³ or more, the encapsulation or tubing shall be made of V-1 class material or better.

NOTE 2 "Tripped state" means the state in which PTC thermistors are shifted to a high resistance condition at a given temperature.

4.13.3 Mains supply cords

Requirements are given in 4.11.9.2.

4.13.4 Capacitors and RC units bridging insulation

Capacitors and RC units for electromagnetic interference suppression that serve as (*electrical*) *insulation* and connected to *mains supply* or *non-mains supply* shall comply with IEC 60384-14:2013.

RC units and EMC filters may consist of discrete *components*. Refer to IEC 60384-14:2013, Table 1 and Table 2, and IEC 60940:2015, 7.1, for substitution of Y capacitors.

Capacitors other than as mentioned above shall comply with relevant IEC standards based on the construction, type of dielectric medium, connection and application.

Capacitors and RC units used for bridging functional *insulation* do not need to fulfil the above requirements, when evaluated according to 4.2 for *single fault conditions*.

4.13.5 Wound components

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

Wound *components* shall meet the requirements of 4.4.7.8.1, 4.4.7.8.3 and 4.4.7.10.

An insulated winding wire whose *insulation* may be used to provide *basic insulation*, *supplementary insulation*, *double insulation* or *reinforced insulation* in wound *components* shall comply with the requirements of IEC 61558-1:2017, 19.12.3, or the requirements of IEC 61204-7:2016, 4.4.7.8.5.100.

NOTE For the definition of "insulated winding wire", see IEC 61558-1:2017; 3.4.8.

4.13.6 Plug and socket-outlets

Requirements are given in 4.11.7.

4.14 Protection against electromagnetic fields

For more information, refer to Annex P.

5 Test requirements

5.1 General

5.1.1 Test objectives and classification

Where required by Clause 4, testing, as defined in this Clause 5, is required to demonstrate that *PECS* is fully in accordance with the requirements of this document.

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

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

Where specific values are stated elsewhere in this document, the values are nominal.

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. See 5.1.5.3 for general test environments.

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 including specified *accessories* having mechanical and electrical characteristics that adequately represent the entire range for that particular test.

NOTE For example, tests on *enclosures* of the same material but different sizes can be represented by a single *enclosure*, but tests on *power components* that have different ratings often cannot be represented by testing on one particular model.

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 *PECS*. However, the acceptance criteria for some of the tests require that they are followed by one or more further tests.

5.1.4 Earthing conditions

Test requirements shall be determined using the worst case (most stressful) *system* earthing allowed by the manufacturer. *System* earthing may include:

- phase connected to earth;
- neutral connected to earth;
- neutral connected to earth through high impedance; or
- isolated (not earthed).

5.1.5 General conditions for tests

5.1.5.1 Application of tests

Unless otherwise stated, upon conclusion of the tests, the *PECS* need not be operational.

5.1.5.2 Test samples

Unless otherwise specified, the sample or samples under test shall be representative of the *PECS* the user would receive, or shall be the actual *PECS* ready for shipment to the user.

As an alternative to carrying out tests on the complete *PECS*, tests may be conducted separately on circuits, *components* or sub-assemblies outside the *PECS*, provided that *visual inspection* in 5.2.1 of the *PECS* and circuit arrangements indicates that the results of such testing will be representative of the results of testing the assembled *PECS*. If any such test indicates a likelihood of non-compliance in the complete *PECS*, the test shall be repeated on the complete *PECS*.

Where in this document compliance of materials, *components* or sub-assemblies is checked by *visual inspection* in 5.2.1 or by testing of properties, it is permitted to confirm compliance by reviewing any relevant data or previous test results that are available instead of carrying out the specified *type tests*. See also 4.1.

5.1.5.3 Operating parameters for tests

The test conditions of Table 22 apply.

Table 22 – Environmental conditions for tests

Temperature °C	Relative humidity %	Air pressure kPa
15 to 35	25 to 75	86 to 106
Source: IEC 60068-1:2013, Table 2.		
NOTE If the above conditions are not achievable, tests can be performed within the rated range of the climatic conditions of the <i>PECS</i> .		

Except where specific test conditions are stated elsewhere in this document and where it is clear that there is a significant impact on the results of the test, the tests shall be conducted under the most unfavourable combination within the manufacturer's operating specifications of the following parameters:

- supply voltage;
- supply frequency;
- operating temperature taking derating and cooling control characteristic into account;
- physical location of equipment and position of movable parts;

- operating mode;
- load conditions;
- adjustment of thermostats, regulating devices or similar controls in *restricted access areas*.

In determining the most unfavourable frequency for the power to energize the *PECS* under test, different rated frequencies within the rated frequency range shall be taken into account (for example, 50 Hz and 60 Hz), but consideration of the tolerance on a rated frequency (for example, 50 Hz $\pm$ 0,5 Hz) is not normally necessary.

5.1.5.4 Mounting

Each *PECS* shall be mounted, connected and operated as described in the manufacturer's documentation. When the documentation specifies more than one mounting position, an analysis shall be made to determine the mounting position(s) that will result in the worst case test condition.

5.1.5.5 Representative tests

Analysis may be used to reduce the number of tests if it is shown that the results of one combination are representative of the results of another combination.

5.1.6 Compliance

Compliance with this document shall be verified by carrying out the appropriate tests specified in this Clause 5. For construction requirements and information to be provided by the manufacturer, compliance shall be verified by suitable examination, *visual inspection* in 5.2.1, and/or measurement.

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

Measuring instruments shall have a negligible influence on the test results.

NOTE In case of verification of the voltage by test, an input impedance of 100 M Ω or greater in parallel with an input capacitance of 25 pF or less is considered as appropriate.

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 6.5.1.

5.1.7 Test overview

Table 23 provides an overview of *type test*, *routine test* and *sample test* of electronic components and *PECS*.

Table 23 – Test overview

Test	Type	Routine	Sample	Requirement(s)	Specification
Visual inspection	X	X			5.2.1
Mechanical tests					5.2.2
<i>Clearance and creepage distances test</i>	X			4.4.7.1, 4.4.7.5	5.2.2.1
Non-accessibility test	X			4.4.3.3, 4.5.1.1, 4.6.3.3.2	5.2.2.2
Ingress protection test (IP rating)	X			4.12.1	5.2.2.3
<i>Enclosure integrity test</i>	X			4.12.1	5.2.2.4
Deflection test	X			4.4.7.4.5, 4.12.1	5.2.2.4.2
Steady force test, 30 N	X			4.4.7.4.5, 4.12.1	5.2.2.4.2.2

Test	Type	Routine	Sample	Requirement(s)	Specification
Steady force test, 250 N	X			4.4.7.4.5, 4.12.1	5.2.2.4.2.3
Impact test	X			4.12.1	5.2.2.4.3
Drop test	X			4.12.1	5.2.2.4.4
Mould stress relief distortion test	X			4.12.7	5.2.2.4.5
Stability test	X			4.12.1	5.2.2.5
Wall or ceiling mounted <i>PECS</i> test	X			4.12.1	5.2.2.6
Handles and manual control securement test	X			4.12.2	5.2.2.7
Strain relief test	X			4.12.6, 4.11.9.2.1.2	5.2.2.8
Electrical tests				4.4.7.10	5.2.3
<i>Impulse withstand voltage</i> test	X		X	4.4.3.2, 4.4.5.5, 4.4.7.1, 4.4.7.10.2, 4.4.7.10.3, 4.4.7.8.3	5.2.3.2
AC or DC voltage test	X	X		4.4.3.2, 4.4.5.5, 4.4.7.1, 4.4.7.10.2, 4.4.7.10.3, 4.4.7.8.4.3	5.2.3.4
Partial discharge test	X		X	4.4.7.1, 4.4.7.10.3, 4.4.7.8.3	5.2.3.5
<i>Protective impedance</i> test	X	X		4.4.5.5	5.2.3.6
<i>Touch current</i> test	X			4.4.4.3.3.1	5.2.3.7.2
Leakage current test	X			4.4.4.3.3.4	5.2.3.7.3
Capacitor discharge test	X			4.4.9	5.2.3.8
Limited power source test	X			4.5.1.2, 4.6.5	5.2.3.9
Temperature rise test	X			4.6.4	5.2.3.10
<i>Protective equipotential bonding</i> test	X	X		4.4.4.2.2	5.2.3.11
Input test	X			6.2.1.3	5.2.3.12
Standard test procedure for non-separable thin sheet material	X			4.4.7.8.3	5.2.3.13.2
Mandrel test	X			4.4.7.8.3	5.2.3.13.3
Determination of working voltage	X			4.4.7.1.2	5.2.3.14
Internal SPD monitoring test	X			4.4.7.2.2	5.2.3.15
Electromagnetic field (EMF)	X			4.14	5.2.8
Abnormal operation tests				4.2	5.2.4
<i>Protective equipotential bonding</i> short-circuit withstand test	X			5.2.3.11.2.1	5.2.4.3
Output short-circuit test	X			4.3	5.2.4.4
<i>Short-time withstand current</i> (I_{cw}) test	X			4.3.2.3	5.2.4.4.3.2
Output overload test	X			4.3	5.2.4.5
Breakdown of <i>components</i> test	X			4.2	5.2.4.6
Material short-circuit test	X			4.4.7.7	5.2.4.7
Loss of phase test	X			4.2	5.2.4.8
Cooling failure tests	X			4.2, 4.7.2.2.5	5.2.4.9
Inoperative blower test	X			4.2	5.2.4.9.2

Test	Type	Routine	Sample	Requirement(s)	Specification
Clogged filter test	X			4.2	5.2.4.9.3
Loss of coolant test	X			4.7.2.2.5	5.2.4.9.4
Covering of openings for cooling air test	X			4.2	5.2.4.9.5
Material tests					5.2.5
High current arcing ignition test	X			4.4.7.8.2	5.2.5.2
Glow-wire test	X			4.4.7.8.2	5.2.5.3
Hot wire ignition test	X			4.4.7.8.2	5.2.5.4
Flammability test	X			4.6.3	5.2.5.5
Flaming oil test	X			4.6.3.3.3	5.2.5.6
Cemented joints test	X			4.4.7.9	5.2.5.7
Durability of marking test	X			6.4.3.1	5.2.5.8
UV resistance test	X			4.12.8	5.2.5.9
Test procedure for thin sheet material	X			4.4.7.8.3	5.2.3.13
Preconditioning of material	X			4.4.7.8.4.2, 4.4.7.8.4.3, 4.4.7.9	5.2.3.16
Environmental tests	X			4.9	5.2.6
Dry heat test	X			4.9	5.2.6.3.1
Damp heat test	X			4.9	5.2.6.3.2
Vibration test	X			4.9	5.2.6.4
Salt mist test	X			4.9	5.2.6.5
Dust and sand test	X			4.9	5.2.6.6
Hydrostatic pressure test	X	X		4.7.2.2.3	5.2.7

5.2 Test specifications

5.2.1 Visual inspection (type 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, and
- as part of *type tests* to verify:
 - the relevant design measures and data sheets as specified in 4.3 to 4.14,
 - the acceptance criteria of individual tests in 5.2.2 to 5.2.7,
 - relevant information and marking requirement as specified in 6.2 to 6.5.

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

5.2.2 Mechanical tests

5.2.2.1 Clearances and creepage distances test (type test)

It shall be verified by measurement or *visual inspection* in 5.2.1 that the *clearance* and *creepage distances* comply with 4.4.7.4 and 4.4.7.5. See Annex D for measurement examples.

In the following situations, *impulse withstand voltage* test of 5.2.3.2 shall be performed as near as possible to the distance under consideration:

- where this measurement or *visual inspection* in 5.2.1 is impossible to perform, but constructional documentation shows compliance with 4.4.7.4 and 4.4.7.5, and
- where the *clearance* is designed for homogeneous field conditions according to 4.4.7.4.4.

5.2.2.2 Non-accessibility test (*type test*)

This non-accessibility test is intended to show that *hazardous live parts* and hazardous moving parts, for example fan blades, are protected by means of *enclosures* or barriers complying with 4.4.3.3 and 4.7.3.

This test shall be performed as a *type test* of the *enclosure* of a *PECS* as specified in IEC 60529 for the *enclosure* classification for protection against access to hazardous parts, except as noted below.

Test 1 (Protection against access with a finger, IP2X, IPXXB):

When the jointed test finger according to Figure M.2 is inserted into any opening of an *enclosure* or barrier with a force of $10\text{ N} \pm 10\%$ and bended into any direction,

- the test finger shall not touch hazardous moving parts, (see 4.7.3.2),
- adequate clearance to the *hazardous live parts* shall be maintained (see 4.4.3.3), and
- the test finger shall not bridge parts between which a hazardous electrical energy exists (see 4.5.1).

Test 2 (Protection against solid foreign objects, IP2X):

When the full diameter of the sphere of 12,5 mm according to Figure M.4 is inserted into any opening with a force of $30\text{ N} \pm 10\%$, the test probe shall not pass completely through the openings (see 4.4.3.3).

Test 3 (Protection against access with the back of the hand, IPXXA):

When the 50 mm test probe according to Figure M.1 is used to demonstrate protection against unintended contact where the *enclosure* is intended to be opened by *skilled persons* and the *PECS* energized during installation or maintenance,

- the test probe shall not pass completely through the openings (see 4.4.3.3),
- the test probe shall not touch hazardous moving parts, (see 4.7.3.2), and
- adequate clearance to the *hazardous live parts* shall be maintained (see 4.4.3.3).

Test 4 (Protection against access to hazardous parts with a tool, IP3X, top surface):

When the 2,5 mm test rod according to Figure M.3 is inserted into the top surface of an *enclosure* or barrier from the vertical direction limited to $\pm 5^\circ$ with a force of $3\text{ N} \pm 10\%$, adequate clearance to the *hazardous live parts* shall be maintained (see 4.4.3.3 or 4.6.3.3.2).

For compliance, see 5.2.2.1 and Table A.1 considering the appropriate test probe.

The test probes from IEC 61032:1997 shall apply and are reproduced in Annex M.

5.2.2.3 Ingress protection test (IP rating) (*type test*)

5.2.2.3.1 General

As required in 4.12.1, the claimed IP rating of the *enclosure* shall be verified. This test shall be performed as a *type test* of the *enclosure* of a *PECS* as specified in IEC 60529:1989, IEC 60529:1989/AMD1:1999 and IEC 60529:1989/AMD2:2013 for the *enclosure* classification.

In conjunction with IEC 60529:1989, 11.2, the following applies.

- a) One representative sample shall be tested.
- b) The *enclosure* shall be mounted for test as described in 5.1.5.4.
- c) Testing can be done with an empty *enclosure* or an *enclosure* that does not contain all the parts that would be included in the complete product if it can be proven that the removal of these parts does not impact the test results. The manufacturer is required to provide evidence that the ingress of water or dust will not violate the acceptance criteria for the relevant characteristic numeral IP test.
- d) For large *enclosures* having a volume greater than 2 m³, if an *enclosure* is comprised of many identical seams (a joint between two or more pieces) with similar fastening patterns, it is permissible to test one representative joint. This would include doors, panels, shipping splits, access panels, or any mechanical structure of the *enclosure* that is a potential ingress point where the construction is duplicated multiple times in the same *enclosure*.
- e) The *enclosures* shall be tested in the applicable conditions:
 - energized;
 - not energized;
 - moving parts in motion; and
 - moving parts not in motion.

Analysis can be used to show that some portion(s) of these requirements could be omitted if the worst case test condition is achieved without that test condition.

Paint or paste that changes colour when exposed to water which allows the water path to be tracked or video equipment installed inside the *enclosure* are both allowed. There may be other acceptable methods not mentioned. It is the manufacturer's responsibility to ensure compliance is met with the removal of any test equipment.

The test methods described in IEC 60529:1989, Figure 4 and Figure 5, are allowed when performing IPX3 and IPX4 testing as referenced in IEC 60529:1989, 14.2.3 and 14.2.4.

For acceptance criteria, see 5.2.2.3.4.

The atomized water test of 5.2.2.3.2 is allowed to be used in place of a dust test for IP5X and IP6X ratings if the enclosure is of category 2 in 5.2.2.3.3, except for at ventilation openings. It is not acceptable to test ventilation openings using the alternate atomized water test for first characteristic numerals 5 and 6; however, the gasket between the ventilation opening and housing may be tested using this method.

NOTE The atomized water test cannot be used to determine how dust would accumulate inside the enclosure which might lead to a hazardous condition. Therefore, the more stringent requirements of IP6X are imposed. It is possible that, with the inclusion of filters, an IP5X rating is necessary for the equipment based on the qualification of the filter. See 4.12.1 for requirements of the IP rating.

5.2.2.3.2 Atomized water test (type test)

The gasketed *enclosure* seam shall be subjected to a spray of atomized water using a two-fluid nozzle which produces a round pattern 75 mm to 100 mm in diameter when measured 300 mm from the nozzle. The air pressure shall be adjusted to 200 kPa and the flow rate shall be adjusted to 11,4 l/h.

NOTE 1 The atomized water test is taken from NEMA 250.

NOTE 2 The atomized water test can be used to test the complete *enclosure* or any geometry involving any gasket built as a subassembly because the gasket cannot be validated on the final PECS.

The nozzle shall be held at a distance between 300 mm to 350 mm from the *enclosure* gasket and the spray of water shall be directed one time at all points of potential dust entry. Movement along dust entry locations shall occur at an approximate rate of linear 0,5 cm/s.

For acceptance criteria, the test shall be considered to have met the IP5X or IP6X requirements if, at the conclusion of the test, no water has entered the *enclosure*. This is in conjunction with 5.2.2.3.3.

No vacuum is applied for this test.

5.2.2.3.3 *Enclosure category 1 or 2 test for IP5X (type test)*

To prove whether the *enclosure* is category 1 or category 2, the following test shall be performed. Test is performed while measuring the internal atmospheric pressure of the *enclosure* and the atmospheric pressure just outside the *enclosure* along with all thermal data points required inside the *enclosure*:

- starting from an "OFF state" with all parts at room ambient; and then
- operating the *PECS* at full load until temperature stability is reached; and then
- returning the *PECS* to is "OFF state" with all parts at room ambient temperature.

During the test, holes or openings shall either

- use IP5X or IP6X filters, or
- be sealed.

During the test, the internal pressure of the *enclosure* shall not decrease more than 2 kPa below the external pressure at any time. If this result is achieved, the *PECS* is category 2 and the manufacturer can follow the rules in IEC 60529:1989, IEC 60529:1989/AMD1:1999 and IEC 60529:1989/AMD2:2013 for category 2 *enclosures* for the dust test in IP5X only.

In all other case, the *PECS* is considered category 1 and the rules of IEC 60529:1989, IEC 60529:1989/AMD1:1999 and IEC 60529:1989/AMD2:2013 shall be followed for category 1 with respect to the dust test. This requires a vacuum be placed on the *enclosure* during the dust test in this case.

If *PECS* is proven to be category 1 based on this test, then the measured maximum value of under pressure compared to atmospheric pressure may be used as value of maximum under pressure of vacuum during this IP5X or IP6X test based on IEC 60529:1989, IEC 60529:1989/AMD1:1999 IEC 60529:1989/AMD2:2013.

5.2.2.3.4 *Acceptance criteria*

5.2.2.3.4 is intended to be used in conjunction with the acceptance criteria listed in IEC 60529:1989, IEC 60529:1989/AMD1:1999 and IEC 60529:1989/AMD2:2013.

For second characteristic numerals 1 through 6 defined in IEC 60529:1989, IEC 60529:1989/AMD1:1999 and IEC 60529:1989/AMD2:2013, if any water has entered the *enclosure*, it shall not

- a) be sufficient to interfere with the correct operation of the *PECS* or impair safety,
- b) deposit on *insulation* parts where it could lead to tracking along the *creepage distances*,
- c) reach *live parts*,
- d) accumulate near the cable end or enter the cable if any, and
- e) accumulate near a cable entrance or exit.

All *clearances* and *creepage distances* between *live parts* and any water that has accumulated in the *enclosure* shall comply with the requirements of 4.4.7.4 and 4.4.7.5.

5.2.2.4 Enclosure integrity test (type test)

5.2.2.4.1 General

The integrity tests apply to *PECS* and also where *PECS* are intended for operation without a further *enclosure* in *restricted access areas*.

The integrity tests shall be performed at the worst case point on representative *accessible surface(s)* of the *enclosure*.

After completion of the integrity test, the *PECS* shall pass the electrical tests of 5.2.3.2 and 5.2.3.4 and shall be inspected to confirm that

- a) no degradation of any safety-relevant *component* of the *PECS* has occurred;
- b) *hazardous live parts* have not become *accessible* (see 4.4.3.3),
- c) *enclosures* show no cracks or openings which could cause a hazard,
- d) *clearances* are not less than their minimum permitted values and other *insulation* is undamaged,
- e) barriers have not been damaged or loosened, and
- f) no moving parts which could cause a hazard are exposed.

The *PECS* is not required to be operational after testing, and the *enclosure* may be deformed to such an extent that its original IP rating is not maintained.

5.2.2.4.2 Deflection test (type test)

5.2.2.4.2.1 General

If requested by 4.4.7.4.5 or 4.12.1, the test in 5.2.2.4.2.2 and 5.2.2.4.2.3 apply for metallic *enclosure*, as applicable.

The *enclosure* shall be held firmly against a rigid support.

The tests are not applied to handles, levers, knobs or to transparent or translucent covers of indicating or measuring devices, unless *hazardous live parts* are *accessible* by means of the test finger according to Figure M.2 if the handle, lever, knob or cover is removed.

During the tests of 5.2.2.4.2.2 and 5.2.2.4.2.3, earthed or unearthed conductive *enclosures* shall either

- not reduce *clearances* (4.4.7.4) required for *basic insulation*; or
- withstand the *impulse withstand voltage* test in 5.2.3.2 for *basic insulation*.

NOTE The deflection of the *enclosure* is considered as a *single fault condition*.

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

5.2.2.4.2.2 Steady force test, 30 N (type test)

Parts of an *enclosure* located in a *restricted access area* which are protected by a cover or door meeting the requirements of 5.2.2.4.2.3 are subjected to a steady force of $30\text{ N} \pm 3\text{ N}$ for a period of not less than 5 s, applied by means of a straight unjointed version of the test finger according to Figure M.2 to the part on or within the *PECS*.

For acceptance criteria, see 5.2.2.4.1.

5.2.2.4.2.3 Steady force test, 250 N (*type test*)

External *enclosures* are subjected to a steady force of $250\text{ N} \pm 10\text{ N}$ for a period of not less than 5 s, applied in turn to the top, bottom and sides of the *enclosure* fitted to the *PECS*, by means of a suitable test tool providing contact over a circular plane surface 30 mm in diameter. However, this test is not applied to the bottom of an *enclosure* of *PECS* having a mass of more than 18 kg or to surfaces that are mounted to a wall.

For surfaces neither horizontal nor vertical, test shall be performed by tilting the *PECS* in a suitable way so that the surface is either horizontal or vertical.

For acceptance criteria, see 5.2.2.4.1.

5.2.2.4.3 Impact test (*type test*)

External polymeric surfaces of *enclosures*, the failure of which would give access to hazardous parts, are tested as follows.

A sample consisting of the complete *enclosure*, or a portion thereof representing the largest unreinforced area, is supported in its normal position. A solid smooth steel ball, approximately 50 mm in diameter and with a mass of $500\text{ g} \pm 25\text{ g}$, is permitted to fall freely from rest through a vertical distance (*H*) of 1,3 m (see Figure 15) onto the sample. Vertical surfaces are exempt from this test.

In addition, the steel ball is suspended by a cord and swung as a pendulum in order to apply a horizontal impact, dropping through a vertical distance (*H*) of 1,3 m (see Figure 15) onto the sample. Horizontal surfaces are exempt from this test.

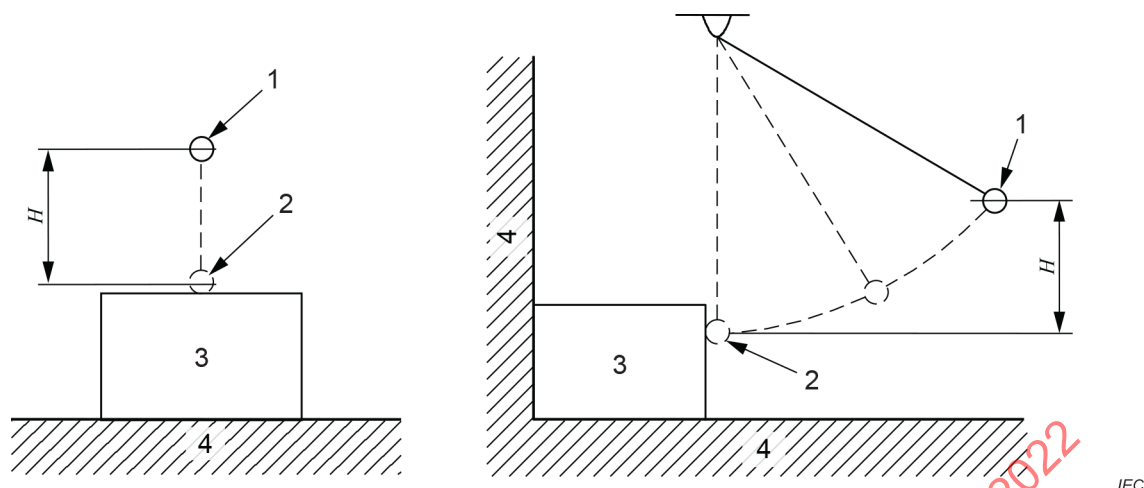
The sample is preconditioned for a period of 3 h at the lowest temperature the manufacturer specifies for operation, storage or transportation.

The sample is then allowed to rise to the lowest temperature the manufacturer specifies for operation and kept there for a period of 3 h, then tested immediately at normal laboratory conditions as specified in Table 22.

Unless analysis shows no influence, as an alternative the sample is rotated 90° about each of its horizontal axes and the ball dropped as in the vertical impact test.

The test is not applied to flat panel displays or to the platen glass of the *PECS*.

For acceptance criteria, see 5.2.2.4.1.



Key

- 1 steel ball start position
- 2 steel ball impact position
- 3 test sample
- 4 rigid supporting surface

Figure 15 – Impact test using a steel ball

5.2.2.4.4 Drop test (type test)

PECS designed as *hand-held equipment*, *direct plug-in equipment* and *movable equipment* with mass of 18 kg or less and requiring lifting or handling by an *ordinary person* as part of its intended use are subjected to the following test.

A sample of the complete *PECS* is subjected to one impact on each position of 3 corners, 3 edges and each face that result from being dropped onto a sufficiently rigid horizontal surface.

The following is considered to be sufficiently rigid for the drop test:

- the horizontal surface consists of hardwood at least 13 mm thick, mounted on two layers of plywood each 19 mm to 20 mm thick, all supported on a concrete or equivalent non-resilient floor; or
- the horizontal surface consists of 50 mm thick hardwood board having a density of more than 700 kg/m³ lying flat on a rigid base such as concrete.

The height of the drop for shall be

- 1 000 mm for *PECS* designed as *hand-held equipment* and *direct plug-in equipment*; or
- 750 mm for *PECS* designed as *movable equipment*.

For acceptance criteria, see 5.2.2.4.1.

NOTE Test requirements and severity are aligned with IEC 60068-2-31:2008, 5.2 (free fall procedure 1), by consideration of unpacked product.

5.2.2.4.5 Mould stress relief distortion test (type test)

When required in 4.12.7, compliance shall be checked by the test procedure described below or by the *visual inspection* in 5.2.1 of the construction and the available data where appropriate.

One sample consisting of the complete *PECS*, or of the complete *enclosure* together with any supporting framework, is tested at a temperature 10 K higher than the maximum temperature

of the *enclosure* during the temperature rise test of 5.2.3.10, but not less than 70 °C, for a period of 7 h, then permitted to cool at room temperature.

NOTE More information can be found in IEC 60695-10-3:2016.

For large *PECS* where it is impractical to condition a complete *enclosure*, it is permitted to use a portion of the *enclosure* representative of the complete assembly with regard to thickness and shape, including any mechanical support members.

For acceptance criteria, see 5.2.2.4.1.

5.2.2.5 Stability test (*type test*)

When required in 4.12.5, the stability shall be verified by the following tests. Each test is carried out separately.

During the tests, reservoirs, if provided, shall contain the amount of liquid within their rated capacity producing the most disadvantageous condition. All castors and jacks, if used in normal operation conditions, are placed in their most unfavourable position, with wheels and the like locked or blocked. However, if the castors are intended only to transport the *PECS*, and if the documentation requires jacks to be lowered after installation, then the jacks (and not the castors) are used in this test; the jacks are placed in their most unfavourable position, consistent with reasonable leveling of the *PECS*.

A *PECS* having a mass of 7 kg or more shall not fall over when tilted to an angle of 10° from its normal upright position. Doors, drawers, etc., are closed during this test. A *PECS* provided with multi-positional features shall be tested in the least favourable position possible by the construction.

A floor-standing *PECS* having a mass of 25 kg or more shall not fall over when a force equal to 20 % of the weight of the *PECS*, but not more than 250 N, is applied in any direction except upwards, at a height not exceeding 2 m from the floor. Doors, drawers, etc., which may be moved during installation, normal operation conditions, maintenance and service, are placed in their most unfavourable position, consistent with the documentation.

A floor-standing *PECS* shall not fall over when a constant downward force of 800 N is applied at the point of maximum moment to any horizontal surface of at least 12,5 cm by at least 20 cm, at a height up to 1 m from the floor. Doors, drawers, etc., are closed during this test. The 800 N force is applied by means of a suitable test tool having a flat surface of approximately 12,5 cm by 20 cm. The downward force is applied with the complete flat surface of the test tool in contact with the *PECS* under test; the test tool need not be in full contact with uneven surfaces (for example, corrugated or curved surfaces).

5.2.2.6 Wall or ceiling mounted *PECS* test (*type test*)

When required in 4.12.1, the *PECS* shall demonstrate adequate mechanical strength for the intended use, either by test in 5.2.2.6 or calculation or simulation.

The *PECS* is mounted in accordance with the documentation.

An external force in addition to the mass of the *PECS* is applied downwards through the geometric centre of the *PECS* (on top or bottom), for 1 min.

The additional force shall be equal to three times the mass of the *PECS* but not less than 50 N. The *PECS* and its associated mounting means shall remain secure during the test.

5.2.2.7 Handles and manual controls securement test (*type test*)

When required in 4.12.2, handles and manual controls shall be tested by manual test and by trying to remove the handle, knob, grip or lever by applying for 1 min an axial force as shown in Table 24.

Table 24 – Pull values for handles and manual control securement

	Axial pull unlikely			Axial pull likely		
	N			N		
Intended for operation by	Fingers	1 hand	2 hands	Fingers	1 hand	2 hands
Operating means of components ^a	15	100	200	30	150	300
Other	20	150	300	50	200	450

^a Handles, knobs, grips levers and the like intended to operate *components*, such as valve controls, electrical switch handles etc.

Under the tests from Table 24, the handles, knobs, grips levers and the like shall remain fixed to the *PECS* as intended.

5.2.2.8 Strain relief test (*type test*)

5.2.2.8.1 Performing the test

Each strain relief in 4.12.6 and cord anchorage in 4.11.9.2.1.2 of a *PECS* shall be tested with each combination of cord and bushing:

- the cord is pushed one time into the *PECS* as far as possible;
- the cord is subjected 25 times to a steady pull test with the value shown in Table 25, applied for 1 s each time in the least favourable direction; and
- the cord is subjected for 1 min to a rotational torque test with the value shown in Table 25 as close as possible to the external end of the cord strain relief or bushing.

Table 25 – Values for physical tests on strain relief of enclosure

Mass of <i>PECS</i> kg	Force for steady pull test N	Torque for torque test Nm
≤ 1	30	0,10
> 1 to ≤ 4	60	0,25
> 4	100	0,35

5.2.2.8.2 Acceptance criteria

All of the following criteria shall be met:

- the cord shall not have been damaged;
- the cord shall not have been displaced longitudinally by more than 2 mm;
- there shall be no signs of strain at the point where the strain relief clamps the cord;
- clearance* and *creepage distances* shall not have been reduced below the applicable values; and
- the cord shall pass the AC or DC voltage test of 5.2.3.4 as follows:
 - for *PECS* with a *PE* conductor:

- i) the test is made between the *PE conductor* and the phase and neutral conductors joined together, with the test voltage for *basic protection*; and
 - ii) the continuity between conductive *accessible parts* and the *PE conductor* shall be tested according to 5.2.3.11.4;
- b) for *PECS* without a *PE conductor*, the test is made between conductive *accessible parts* of the *PECS* and the phase and neutral conductors joined together, with the test voltage for *enhanced protection*.

5.2.3 Electrical tests

5.2.3.1 General

The electrical tests described in 5.2.3.2 to 5.2.3.5 are applicable to *basic insulation*, *supplementary insulation*, *double insulation* and *reinforced insulation* when required by 4.4.7.4 (*clearance*) and 4.4.7.8 (*solid insulation*).

Before performing these tests as *type test* or *sample test*, preconditioning according to 5.2.6.3.1 and 5.2.6.3.2 is required. When these tests are performed as part of acceptance criteria, then no preconditioning for tests are required.

When performing electrical and preconditioning tests, the preferred procedure is to test the complete *PECS*; however, it is acceptable to test the *components* or sub-assemblies providing the *basic insulation* and *reinforced insulation*. When *components* or sub-assemblies are tested, test conditions shall simulate the least favourable conditions occurring inside the *PECS* at the place of *installation*.

5.2.3.2 Impulse withstand voltage test (*type test*, *sample test*)

The *impulse withstand voltage* test is performed with a voltage having a 1,2/50 μ s waveform (see IEC 61180:2016, 7.1 and 7.2) and is intended to simulate overvoltages of atmospheric origin. It also covers overvoltages due to switching of *PECS*. See Table 26 for conditions of the *impulse withstand voltage* test.

Tests on *clearances* smaller than required by 4.4.7.4 and 5.2.2.1 and test on *solid insulation* required by 4.4.7.8 are performed as *type tests* using appropriate voltages from Table 27.

Tests on *components* and devices for *enhanced protection* are performed as a *type test* and a *sample test* before they are assembled into the *PECS*, using the *impulse withstand voltages* listed in column 3 or column 5 of Table 27.

To ensure that *surge protective devices* (see 4.4.7.2.3, 4.4.7.2.4, 4.4.7.3) are able to reduce the overvoltage, the values of column 2 or column 4 in Table 27 are applied to the *PECS* as a *type test*. The measured peak voltage shall not exceed the next lower voltage value of the same column of that table.

If it is necessary to test a *clearance* that has been designed according to 4.4.7.4.3 for altitudes between 2 000 m and 20 000 m using IEC 60664-1:2020, Table A.2, which is reproduced as Table E.1 or test a *clearance* designed according to 4.4.7.4.3 for frequencies above 30 kHz, the appropriate test voltage may be determined from the *clearance*, using Table E.2 in reverse.

See 5.2.3.3 as an alternative for the *impulse withstand voltage* test.

Table 26 – Impulse withstand voltage test procedure

Subject	Test conditions		
Test reference	IEC 61180:2016, 7.1 and 7.2; IEC 60664-1:2020, 6.2.2.1		
Requirement reference	According to 4.4.3.2, 4.4.5.5, 4.4.7, 5.2.2.1		
Testing of	Clearances, solid insulation, components and sub-assemblies		Transient overvoltage reduction
Preconditioning	For type test and sample test, solid insulation and components bridging basic insulation, supplementary insulation, double insulation or reinforced insulation shall be preconditioned once according to 5.2.3.1. No preconditioning is required for testing clearance.		None
	Live parts belonging to the same circuit shall be connected together.		
Impulse voltage shall be applied between:	1) circuit under test and the surroundings; and 2) circuits to be tested.		the parts for which reduction of impulse voltage due to circuit characteristics or due to SPD shall be verified
Initial measurement	None.		
Test equipment	An impulse generator with an output impedance not higher than 2 Ω shall be used, where the output impedance is specified by dividing the open circuit peak output voltage by the peak current measured into short-circuits irrespective of current waveform.		
Alternative test equipment	An impulse generator with an output impedance of not more than 500 Ω is permitted to be used, if the impulse voltage is verified to show full crest value at the object under test.		None
Alternative test	5.2.3.3		None
Power	Not applied to the circuits under test.		May be necessary.
Type of insulation	Basic insulation/ supplementary insulation	Double insulation/ reinforced insulation	--
Measurement and verification	Clearances smaller than required by Table 8 and in case of homogeneous field conditions	Solid reinforced insulation	Impulse voltage rating reduced by surge protective device or by circuit characteristics
	Solid, basic insulation or supplementary insulation	Components and devices for enhanced protection	--
	Components and sub-assemblies bridging basic insulation or supplementary insulation	--	--
Quantity of pulses	Three pulses of each polarity with an interval of ≥ 1 s, set to a minimum open circuit peak voltage according to:		
Appropriate test voltage	Column 2 or column 4 of Table 27.	Column 3 or column 5 of Table 27.	Column 2 or column 4 of Table 27.
Altitude correction	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 IEC 60664-1:2020, Table F.6, which is reproduced as Table E.2 in this document.		
	The altitude correction factor does not apply to impulse withstand voltage testing on solid insulation according to IEC 60664-1:2020, 6.4.4.1.		

The *impulse withstand voltage* test is successfully passed if no puncture of *insulation*, flashover, or sparkover occurs. In the case of *components* and devices which use *solid insulation* for *enhanced protection*, a subsequent partial discharge test (see 5.2.3.5) shall also be passed when required by 4.4.7.10.3.

Table 27 – Impulse withstand voltage test

Column 1		2	3	4	5
System voltage (see 4.4.7.1.7)		Impulse withstand voltage for insulation between circuits connected to <i>non-mains supply</i> and their surroundings according to <i>overvoltage category II</i>		Impulse withstand voltage for insulation between circuits connected to <i>mains supply</i> and their surroundings according to <i>overvoltage category III</i>	
		Basic or supplementary	Double or reinforced	Basic or supplementary	Double or reinforced
V AC	V DC	V	V	V	V
≤ 50	≤ 75	500	800	800	1 500
100	150	800	1 500	1 500	2 500
150	225	1 500	2 500	2 500	4 000
300	450	2 500	4 000	4 000	6 000
600	900	4 000	6 000	6 000	8 000
1 000	1 250	6 000	8 000	8 000	12 000
--	1 500	8 000	10 000	10 000	15 000
-	-	Interpolation is permitted		Interpolation is not permitted	
NOTE 1 Test voltages for <i>overvoltage categories I</i> and <i>III</i> (col. 2 and 3) can be derived in a similar way from Table 7.					
NOTE 2 Test voltages for <i>overvoltage categories II</i> and <i>IV</i> (col. 4 and 5) can be derived in a similar way from Table 7.					

5.2.3.3 Alternative to *impulse withstand voltage test (type test, sample test)*

For verification of *clearance* and *solid insulation*, an AC or DC voltage test according to 5.2.3.4 with following modifications may be used as an alternative method to the *impulse withstand voltage test* of 5.2.3.2.

For an AC voltage test, the peak value of the AC test voltage shall be equal to the impulse test voltage of Table 27 and applied for three cycles of the AC test voltage.

For a DC voltage test, the average value of the DC test voltage shall be equal to the impulse test voltage of Table 27 and applied three times for 10 ms in each polarity.

For *PECS*, the voltage can be applied using a ramp of up to 1 s in duration.

See IEC 60664-1:2020, 6.2.2.1.3, for further information.

5.2.3.4 AC or DC voltage test (*type test, routine test*)

5.2.3.4.1 Purpose of test

The *type test* is used to verify that the *clearances* and *solid insulation* of *components* and assembled *PECS* have adequate dielectric strength to resist *temporary overvoltage* conditions and to verify the *insulation* coordination between *adjacent circuits*.

Routine tests are performed to verify that *clearances* have not been reduced during the manufacturing operations.

5.2.3.4.2 Value and type of test voltage

The values of the test voltage for circuits connected to *mains supply* are determined from column 2 or 3 of Table 28.

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

Between circuits with *enhanced protection* (*double insulation* or *reinforced insulation*), the test voltage of column 3 shall be applied for *type tests*.

For *routine tests* between circuits with *enhanced protection*, 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 *PECS* with *enhanced protection* according to 4.4.5.1.

For circuits connected to *non-mains supply*, the test voltage shall be as follows:

- for *type testing* circuits with *basic protection*, and for all *routine testing*: the *temporary overvoltage* (AC RMS or DC) as determined in 4.4.7.2.4; and
- for *type testing* circuits with *enhanced protection*, and between circuits and *accessible surfaces* (non-conductive or conductive but not connected to protective earth, *class II equipment* according to 4.4.6.3): 1,6 times the *temporary overvoltage* (AC RMS or DC) as determined in 4.4.7.2.4.

The test is performed between circuits and *accessible surfaces* of *PECS* which are non-conductive or which are conductive but not connected to the *PE 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 DC voltage of a value equal to the peak value of the specified AC voltage.

For a circuit that is galvanically connected to both *mains supply* and *non-mains supply*, the test voltages are determined by considering the worst case result of using the *mains supply system voltage* determined from column 2 or 3 of Table 28, and the result of using the *non-mains supply* recurring peak *working voltage* determined from Table 29.

Table 28 – AC or DC test voltage for circuits connected directly to *mains supply*

Column 1	2		3 ^b	
System voltage (see 4.4.7.1.7)	Voltage for type testing circuits with basic protection, and for all routine testing		Voltage for type testing circuits with enhanced protection, and between circuits and accessible surfaces (non-conductive or conductive but not connected to protective earth, class II equipment according to 4.4.6.3)	
V	AC RMS ^a V	DC V	AC RMS V	DC 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
Interpolation is permitted.				
^a Corresponding to 1 200 V + <i>system voltage</i> .				
^b A voltage source with a short-circuit current of at least 0,1 A according to IEC 61180:2016, Clause 6, is used for this test.				

For *non-mains supply* circuits, where *temporary overvoltages* are not present, the test voltages are determined from Table 29, based on the *working voltage*.

Table 29 – AC or DC test voltage for circuits connected to *non-mains supply* without *temporary overvoltages*

Column 1	2 ^a		3 ^a	
Working voltage (recurring peak) (see 4.4.7.1.7.2)	Voltage for type testing circuits with basic protection, and for all routine testing		Voltage for type testing circuits with enhanced protection, and between circuits and accessible surfaces (non-conductive or conductive but not connected to protective earth, class II equipment according to 4.4.6.3)	
V	AC RMS V	DC V	AC RMS V	DC 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

Column 1	2 ^a		3 ^a	
Working voltage (recurring peak) (see 4.4.7.1.7.2)	Voltage for type testing circuits with basic protection, and for all routine testing		Voltage for type testing circuits with enhanced protection, and between circuits and accessible surfaces (non-conductive or conductive but not connected to protective earth, class II equipment according to 4.4.6.3)	
V	AC RMS V	DC V	AC RMS V	DC V
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
Interpolation is permitted.				
NOTE Test voltages in this table are based upon 80 % of the withstand voltage for the corresponding <i>clearance</i> of Table 9 as provided by IEC 60664-1:2020, Table A.1.				
^a A voltage source with a short-circuit current of at least 0,1 A according to IEC 61180:2016, 5.2, is used for this test.				

5.2.3.4.3 Additional test considerations

Protective devices designed to reduce impulse voltages on the circuits under test (see 4.4.7.2.3 and 4.4.7.2.4), 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.

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 DC test voltage according to 5.2.3.4.2.

Where testing is not possible in the assembled *PECS* due to a low impedance of *SPD* not designed to sustain the test voltage for the duration of the test, the connection to the *SPD* shall be opened before testing. In this case, the connection shall be carefully restored after the voltage test.

Protective impedances according to 4.4.5.5 shall either be included in the testing or the connection to the protectively separated part of the circuit shall be opened before testing. In this case, the connection shall be carefully restored after the voltage test.

5.2.3.4.4 Performing the voltage test

The test shall be applied as follows, according to Figure 16.

- Test (1) between conductive *accessible part* (connected to earth) and each circuit sequentially (except *DVC As* circuits). Test voltage according to Table 28 or Table 29, 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 As* circuits). Test voltage according to Table 28 or Table 29, column 3 (for *type test*) or column 2 (for *routine test*), corresponding to voltage of considered circuit under test.
- Test between each considered circuit sequentially and the other *adjacent circuits* connected together. Test voltage according to Table 28 or Table 29, column 2, corresponding to voltage of considered circuit under test.

- c) Test between *DVC As* circuit and each *adjacent circuit* sequentially. Test voltage according to Table 28 or Table 29, 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 As* circuit may be earthed for this test. It is necessary to test *basic insulation* between *DVC As* circuits, but it is not necessary to test *functional insulation* between *adjacent DVC As* circuits.

Because *DVC As* circuits and circuits of *DVC C* 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 *PECS* without overstressing the *basic insulation*. Because of this, it may be necessary to disassemble the *PECS*, or it may not be possible to perform *type tests* of protective *insulation* at voltages according to column 3 of Table 28 to Table 29. In these cases, the *type test* of *insulation* used for *enhanced protection* shall be performed at voltages according to column 2 of the appropriate table.

NOTE Test of *double insulation* or *reinforced insulation* is done on the *component* separately.

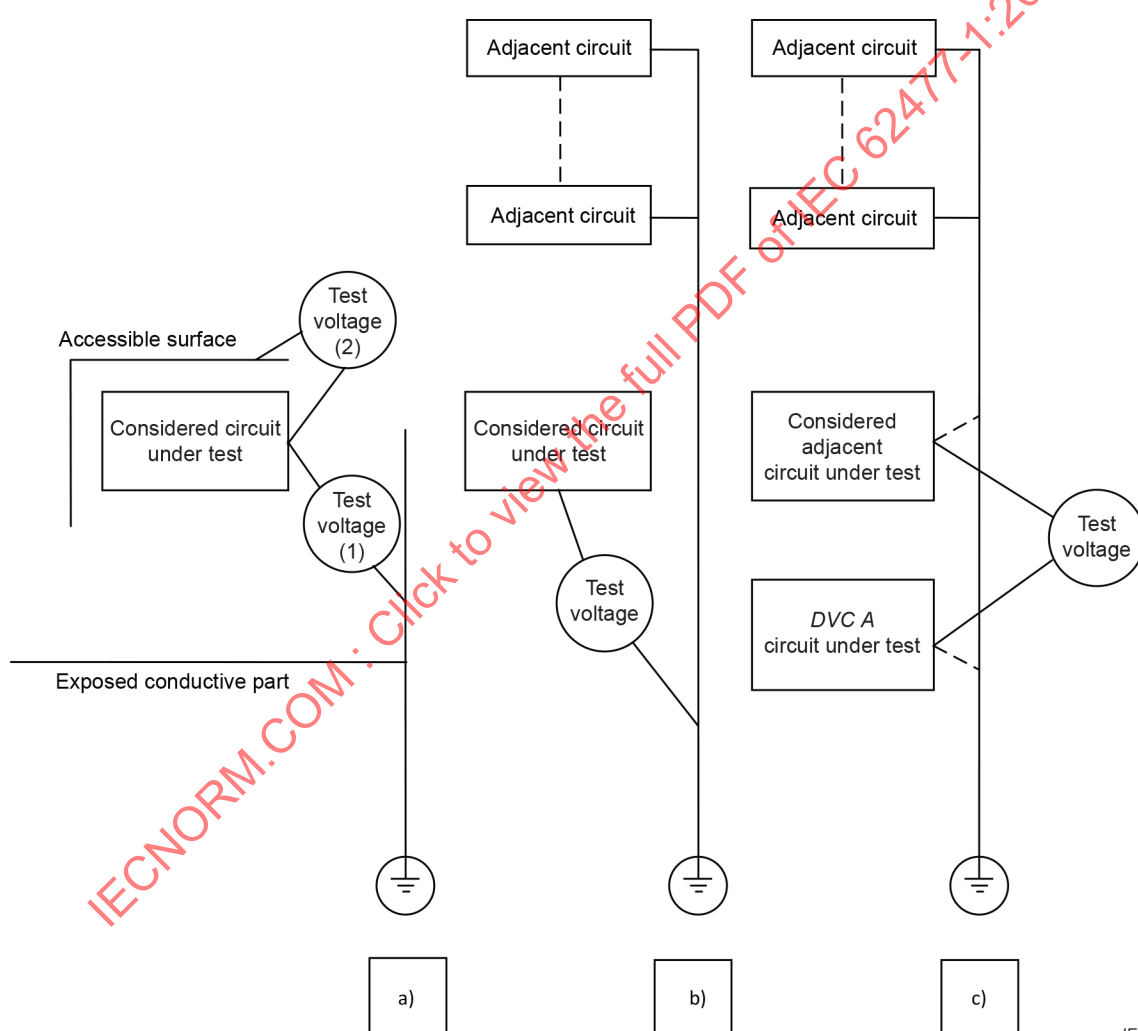


Figure 16 – Voltage test procedures

The tests shall be performed with the doors of the *enclosure* closed and all *enclosure* covers in place.

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

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

Where the *PECS* 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*.

If the *PECS* does not have an opening allowing access to the electrical connections, then the *routine test* may be conducted with the door open or a cover removed.

The applied test voltage shall be measured and monitored throughout the test.

Protective screens according to 4.4.4.7 shall remain connected to conductive *accessible parts* during the voltage test.

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

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

5.2.3.4.5 Duration of the AC or DC voltage test

The test voltage may be applied with increasing and/or decreasing ramp voltage but the full voltage shall be maintained for minimum 60 s and 1 s respectively for *type* and *routine tests*.

5.2.3.4.6 Verification of the AC or DC voltage test

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

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

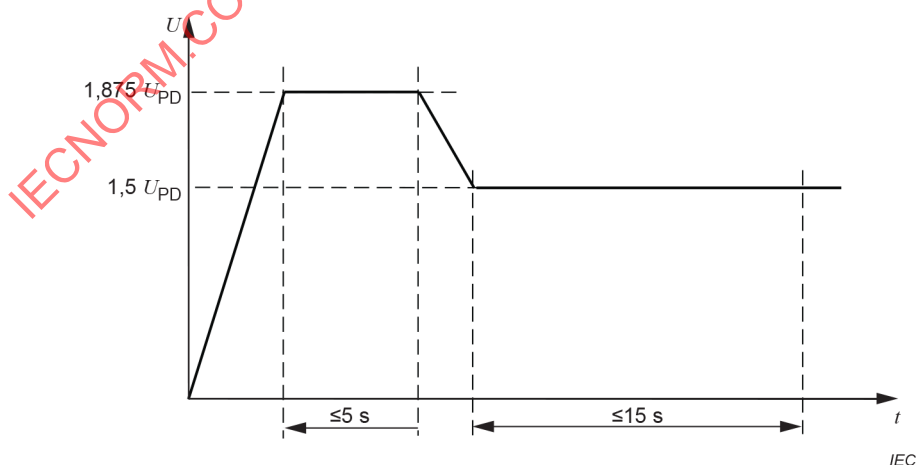
The partial discharge test shall confirm that the *solid insulation* (see 4.4.7.8.2) used in *components* and sub-assemblies for *enhanced protection* of electrical circuits remains partial-discharge-free within the specified voltage range (see Table 30).

This test shall be performed as a *type test* and a *sample test*. It may be omitted 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 30 – Partial discharge test

Subject	Test conditions
Test reference	IEC 60664-1:2020, 6.4.6
Requirement reference	4.4.7.8.1
Preconditioning	<i>Precondition</i> according to 5.2.3.1. <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 <i>impulse withstand voltage</i> test (see 5.2.3.1) in order that any damage caused by the <i>impulse withstand voltage</i> test is apparent. It is advisable that the partial discharge test is performed before inserting the <i>components</i> or devices into the <i>PECS</i> because partial discharge testing is not normally possible when the equipment is assembled.
Initial measurement	According to specification of <i>component</i> or device.
Test equipment	Calibrated charge measuring device or radio interference meter without weighting filters.
Test circuit	IEC 60664-1:2020, Clause C.1.
Test voltage	The peak value of AC 50 Hz or 60 Hz.
Test method	IEC 60664-1:2020, 6.4.6.1: $F_1 = 1,2$; $F_2, F_3 = 1,25$. Test procedure of IEC 60664-1:2020, 6.4.6.3.
Calibration of test equipment	IEC 60664-1:2020, Clause C.4.
Measurement	Starting from a voltage below the rated partial discharge test 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 (see Figure 17). 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.
Verification	The test shall be considered to have been successfully passed if the partial discharge is less than 10 pC during the measurement period.
NOTE Partial discharge testing of <i>solid insulation</i> with a DC <i>working voltage</i> according to A.5.4 can be omitted. ^a The rated partial discharge test voltage U_{PD} is the <i>working voltage</i> (recurring peak) measured across the <i>insulation</i>.	

**Figure 17 – Partial discharge test procedure**

NOTE Values less than 10 pC are required for an *insulation system* that through its construction could be damaged due to air void when exposed to the voltage stress (e.g. cast resin, potting, moulding, triple insulated wire, etc.).

Corona discharges in air do not have a defined acceptance criterion.

5.2.3.6 **Protective impedance test (type test, routine test)**

A *type test* shall be performed to verify that the current through a *protective impedance* under normal operating conditions or *single fault conditions* does not exceed the values given in 4.4.5.5.

The test shall be performed using the circuit of IEC 60990:2016, Figure 4 (see Figure L.1), or by measuring the current through the *protective impedance* to *protective earth*.

NOTE IEC 60990:2016 states that the use of a single network for the measurement of AC combined with DC 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*.

5.2.3.7 **Touch current test and leakage current test**

5.2.3.7.1 **General**

For a *PECS* intended to be connected to a particular supply system earthing (see 4.4.7.1.5), this *system* shall operate as intended during the test.

If a *PECS* is intended to be connected to more than one supply system earthing (see 4.4.7.1.5), each of these different *system* networks (or the worst case, if that can be determined) shall be used to make the *touch current* and leakage current measurement. The highest value of the measured current will be taken as the definitive result.

- a) For a *PECS* to be connected to an earthed neutral *system*, the neutral of the *mains supply* or *non-mains supply* of the test site shall be directly connected to the *PE conductor*.
- b) For a *PECS* to be connected to an isolated *system* or impedance *system*, the neutral shall be connected through a resistance of 1 k Ω to the *PE conductor* which shall be connected to each input phase in turn. The highest value will be taken as the definitive result.
- c) For a *PECS* to be connected to a corner-earthed or high-leg delta *system*, the *PE conductor* shall be connected to each input phase in turn. The highest value will be taken as the definitive result.

The *PECS* shall be set up in an insulated state without any connection to earth and shall be operated at rated voltage.

5.2.3.7.2 **Touch current test (type test)**

The *touch current* test shall be performed as a *type test* to determine if the means in 4.4.4.3.3 are applicable. The *touch current* shall be measured between the means of connection for the *PE conductor* and the *PE conductor* itself with the test circuit of IEC 60990:2016, Figure 4 (see Figure L.1).

For *PECS* which may be energized from multiple sources of supply, the *touch current* limits in 4.4.4.3.3 apply in all possible intended *installation* configurations and combinations of sources that may be energized at the same time, unless one of the means in 4.4.4.3.3.3 a) or 4.4.4.3.3.3 b) is used.

5.2.3.7.3 **Leakage current test (type test)**

The leakage current test shall be performed as a *type test* with the *PECS* in normal operating conditions to determine if the means in 4.4.4.3.3 are applicable.

The *PECS* shall be set up in an insulated state with an current measuring device of negligible impedance (less than 0,5 Ω) inserted between the means of connection for the *PE conductor* and the *PE conductor* itself.

5.2.3.8 Capacitor discharge test (*type test*)

The capacitor discharge time as required by 4.4.9 and 4.5.1.2 shall be verified by a *type test* and/or by calculation taking into account the relevant tolerances.

The test is passed if the compliance criteria of 4.4.9 and 4.5.1.2 are met.

5.2.3.9 Limited power source test (*type test*)

When required by 4.6.5, a limited power circuit shall be tested as below, with the *PECS* operating under normal operating conditions.

In case the limited power source requirement depends on *overcurrent protective device(s)*, the device(s) shall be short-circuited.

Single fault conditions are applied in a regulating network according to Clause 4.2 while operating under the following conditions.

The open-circuit output voltage shall not exceed the relevant value of Table 16 or Table 17, as applicable.

With the *PECS* operating under normal operating conditions, a variable resistive load is connected to the parts under consideration. The resistive load is adjusted to obtain the limit of apparent power or current as indicated in Table 16 or Table 17. Further adjustment is made, if necessary, to maintain the limit of apparent power or current for the time period indicated in Table 16 or Table 17.

The test is passed if, after the test period, the available apparent power or current does not exceed the limits indicated in Table 16 or Table 17.

In case the limited power source requirement depends on *overcurrent protective device(s)*, the current rating of at least one of the protective device(s) in the current path shall not exceed the limit in Table 17.

5.2.3.10 Temperature rise test (*type test*)

The test is intended to ensure that parts and *accessible surfaces* of the *PECS* do not exceed the temperature limits specified in 4.6.4 and the *component* manufacturer's temperature limits of safety-relevant parts.

The *PECS* shall be tested at worst case conditions of rated power and *PECS* output current, taking derating and cooling control characteristic into account.

For *PECS* where the amount of heating or cooling is designed to be dependent on temperature (for example, the *PECS* contains a fan that has a higher speed at a higher temperature), the temperature measurement shall be performed at the worst case ambient temperature condition within the manufacturer's specified operating range.

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 *PECS* shall be tested with at least 1,2 m of wire attached to each *field wiring terminal*. The wire shall be of the smallest size intended to be connected to the *PECS* as specified by the manufacturer for installation. When there is only means for the connection of bus-bars to the *PECS*, they shall be of the minimum size intended to be connected to the *PECS* 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 % of the previously elapsed duration of the test and not less than 10 min intervals, indicate no change in temperature, defined as ± 1 °C between any of the three successive readings, with respect to the ambient temperature.

The temperature of an *electrical insulation* (other than that of windings) is measured on the surface of the *insulation* at a point close to the heat source, if a failure of this *insulation* could cause a hazard. If temperatures of windings are measured by the thermocouple method, the thermocouple shall be located on the surface of the winding assuming the hottest part due to surrounding heat emitting *components*. See also footnotes in Table 14.

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

For compliance,

- no corrected temperature shall exceed the rated temperature of the material or *component* measured; and
- thermal cutout, overload detection functions and devices shall not operate during the test.

5.2.3.11 **Protective equipotential bonding tests (type tests, routine test)**

5.2.3.11.1 **General**

Each *conductive accessible part* under consideration shall be tested separately, to determine if the *protective equipotential bonding* path for that part is adequate to withstand the test current that the bonding path may be subjected to under *single fault conditions*.

The *conductive accessible part* under consideration shall be selected from amongst those circuits adjacent to the *accessible part* under consideration and not separated by *enhanced protection*.

All of these selected circuits shall be analyzed regarding *prospective short-circuit current* and the associated protective element(s).

- If the circuit under consideration exceeds the 5 s disconnection time requirement of IEC 60364-4-41:2005 and IEC 60364-4-41:2005/AMD1:2017, the *protective equipotential bonding* impedance test of 5.2.3.11.2 and the *protective equipotential bonding* short-circuit test of 5.2.3.11.3 shall be performed.

NOTE 1 Examples for circuits with disconnection times of more than 5 s: *non-mains supply* circuits where the short-circuit current is limited by internal impedances or current limiters or by the load characteristics like solar panels.

- If the circuit under consideration meets the 5 s disconnection time requirement of IEC 60364-4-41:2005 and IEC 60364-4-41:2005/AMD1:2017, the *protective equipotential bonding* short-circuit test of 5.2.3.11.3 shall be performed.

NOTE 2 Examples for circuits with disconnection times not exceeding 5 s: *mains supply* circuits where the *prospective short-circuit current* is limited by the impedance of the *mains supply*.

- If the circuit under consideration meets the disconnection time requirement of IEC 60364-4-41:2005 and IEC 60364-4-41:2005/AMD1:2017, Table 41.1, as applicable, depending on the earthing system of the *installation*, no *type test* is required.
- For *PECS* designed as *pluggable equipment type A* only, the *protective equipotential bonding* impedance test of 5.2.3.11.2 shall be performed.

NOTE 3 See Annex Q for more information about IEC 60364-4-41:2005 and IEC 60364-4-41:2005/AMD1:2017, Table 41.1.

The testing shall include an individual test of the *protective equipotential bonding* path for each conductive *accessible part* unless analysis shows that the results of one combination are representative of other combinations.

5.2.3.11.2 *Protective equipotential bonding impedance test (type test)*

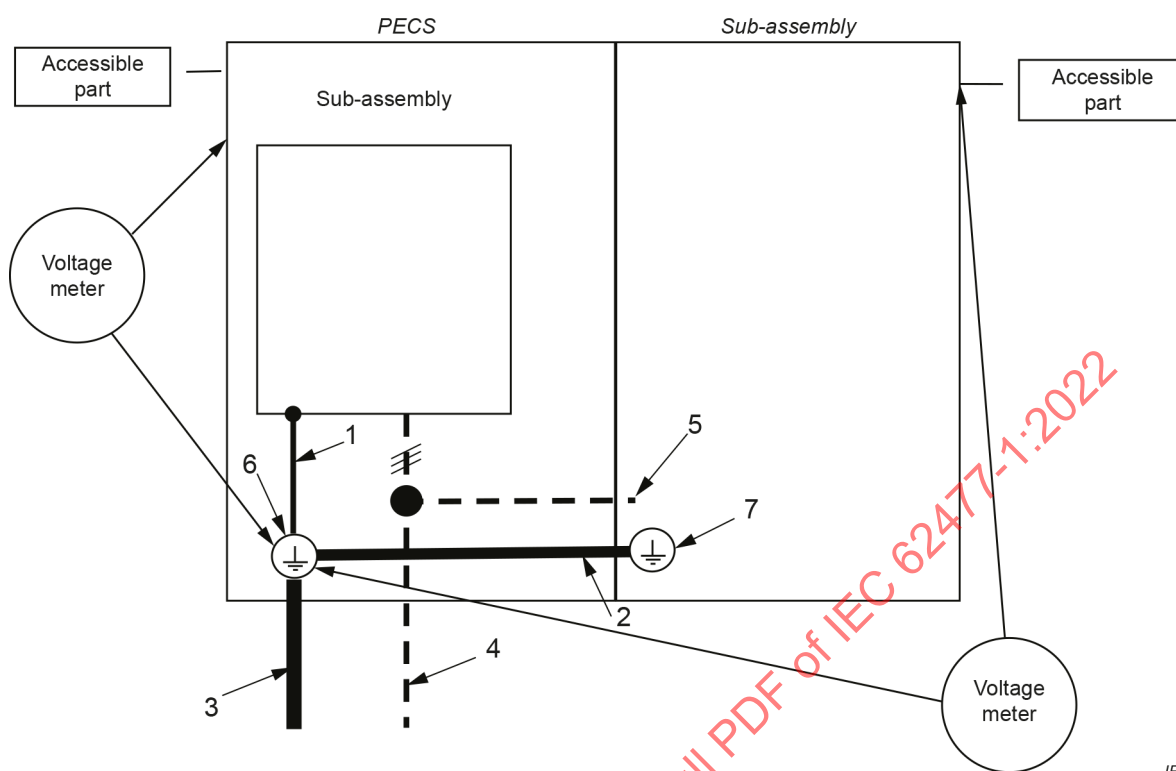
5.2.3.11.2.1 *Test conditions*

Where required by 4.4.4.2.2 and 5.2.3.11.1, the impedance of *protective equipotential bonding* means shall be checked by passing a test current through the bond for a period of time. The test current is based on the rating of the *overcurrent protective device* for the *PECS* or part of the *PECS* under consideration, as follows:

- for *PECS* designed as *pluggable equipment type A*, the *overcurrent protective device* is that provided external to the *PECS* (for example, in the building wiring, in the *mains supply plug* or in an equipment rack);
- for *PECS* designed as *pluggable equipment type B* and *permanently connected equipment*, the maximum rating of the *overcurrent protective device* external to the *PECS* as specified in the documentation; or
- the rating of the overcurrent device for a circuit or part of the *PECS* for which an *overcurrent protective device* is provided as part of the *PECS*.

Voltages are measured from the protective earthing terminal to all the parts whose *protective equipotential bonding* means are being considered. The impedance of the *PE conductor* is not included in the measurement. However, if the *PE conductor* is supplied with the *PECS*, it is permitted to include the conductor in the test circuit, but the measurement of the voltage drop is made only from the main protective earthing terminal to the *accessible part* required to be earthed.

On *PECS* where the protective earth connection to a sub-assembly or to a separate *PECS* is part of a cable that also supplies power to that sub-assembly or *PECS*, the resistance of the *protective equipotential bonding* conductor in that cable is not included in the *protective equipotential bonding* impedance measurements for the sub-assembly or separate *PECS* as in Figure 18. However, this option is only permitted if the cable is protected by a suitably rated protective device that takes into account the size of the conductor. Otherwise, the impedance of the *protective equipotential bonding* conductor between the separate *PECS* shall be included, by measuring to the protective earthing terminal where the power source enters the first *PECS* in the system, as in Figure 19.



IEC

Key

- 1 protective equipotential bonding
- 2 protective equipotential bonding for the sub-assembly
- 3 PE conductor for the PECS
- 4 energy supply from the *mains supply*
- 5 energy supply from the PECS to the sub-assembly
- 6 terminal point of the external PE conductor
- 7 connection point of the bonding to the sub-assembly (may be more than 1)

Figure 19 – Protective equipotential bonding impedance test for sub-assembly with accessible parts and with power fed from the PECS

The test current is derived from an AC or DC supply source, the output of which is not earthed.

For protection of the person performing the test, the source shall have a maximum no-load voltage below the limits for *DVC* As.

5.2.3.11.2.2 Test current, duration and acceptance criteria

The test current, duration of the test and acceptance criteria are as follows and as indicated in Table 31.

Table 31 – Test duration for *protective equipotential bonding* test

Overcurrent protective device rating	Duration of the test
A	min
Up to 32	2
33 to 63	4
64 to 100	6
101 to 200	8
201 to 460	10

- a) For *PECS* with an *overcurrent protective device* rating of 16 A or less, this test may be omitted, if an impedance not exceeding 0,1 Ω can be demonstrated.
- b) As an alternative to Table 31, where the time-current characteristic of the *overcurrent protective device* that limits the fault current in the *protective equipotential bonding* means is known because the device is either provided in the *PECS* or fully specified in the documentation, the test duration may be based on that specific device's time-current characteristic. The tests are conducted for a duration corresponding to the 200 % current value on the time-current characteristic.
- c) For *PECS* with an *overcurrent protective device* rating of more than 460 A, calculations or simulations according to IEC 60949:1988 and IEC 60949:1988/AMD1:2008 shall be used to show the ability of the *prospective short-circuit current* to fulfill the requirements. The *protective equipotential bonding continuity routine test* of 5.2.3.11.4 shall be performed to show that the impedance of the *protective equipotential bonding* means during and at the end of the test shall not exceed the expected value.

Acceptance criteria are as follows.

The test current is 200 % of the *overcurrent protective device* rating and the duration of the test is as shown in Table 31. The voltage drop in the *protective equipotential bonding* means, during and at the end of the test, shall not exceed the limits from Figure 7 with respect to the *accessible surface* of the *enclosure*.

After the tests, *visual inspection* in 5.2.1 shall show no damage to the *protective equipotential bonding* means.

5.2.3.11.3 *Protective equipotential bonding short-circuit withstand test (type test)*

As required by 5.2.3.11.1, the short-circuit test in 5.2.4.3 shall be performed to ensure that *protective equipotential bonding* has the ability to withstand the *prospective short-circuit current* that it may be subjected to under *single fault conditions*.

The testing shall include an individual test of the *protective equipotential bonding* path for each conductive *accessible part* unless analysis shows that the short-circuit withstand capability of the path is adequate, or that the results of one combination are representative of the anticipated results of another combination.

5.2.3.11.4 *Protective equipotential bonding continuity test (type test, routine test)*

The *protective equipotential bonding continuity routine test* shall be conducted when

- the continuity of the *protective equipotential bonding* is achieved by a single means only (for example a single conductor or a single fastener),
- the *PECS* is assembled at the *installation* location, or
- this is required by 5.2.3.11.2.2 c).

The test current may be any convenient value sufficient to allow measurement or calculation of the resistance of the *protective equipotential bonding* means.

NOTE Larger currents used for the continuity test increases the accuracy of the test result, especially with low impedance values, i.e. larger cross sectional areas and/or lower conductor length. In general, 25 A is considered sufficient for most products.

The expected value of the resistance is the result of calculation or simulation according to 5.2.3.11.2.2 considering the length, the cross sectional area and the material of the related protective bonding conductor(s).

For acceptance criteria, the resistance measured shall be within 90 % up to 110 % of the expected value.

5.2.3.12 Input test (type test)

The input test shall be performed to determine the maximum input current and input power either by test or calculation or simulation with respect to the worst case conditions such as, but not limited to,

- input voltage ratings range,
- power source characteristics range,
- maximum rated output power,
- maximum output current,
- derating characteristics,
- operation mode, and
- cooling control characteristics.

The test shall be conducted for each power input *port*.

These worst case values of the maximum input current or maximum input power from all power input *ports* are used for the temperature rise test in 5.2.3.10 and specified according to 6.2.1.3.

Product standards (see Annex S) may specify more precise test conditions as applicable.

5.2.3.13 Thin sheet material test (type test)

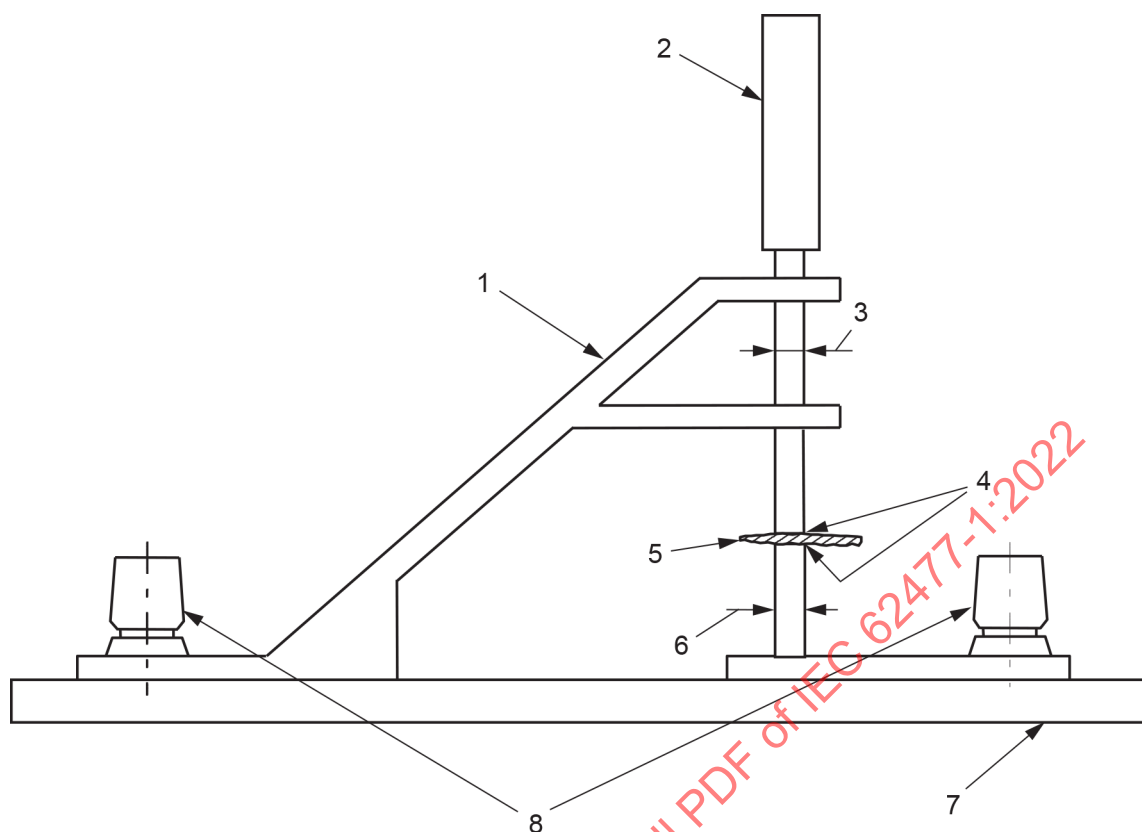
5.2.3.13.1 General

5.2.3.13 provides requirements for tests of thin sheet materials according to 4.4.7.8.3.

5.2.3.13.2 Standard test procedure for non-separable thin sheet material (type test)

One layer of the material is placed in the electric strength test instrument, as shown in Figure 20, and the test voltages according to the requirements of Table 11 apply. In order to avoid an electrical breakdown around the edges of the layer of insulating material, the specimen under test shall be sufficiently large to keep its edges away from the vertical test rods.

This test can be waived for non-separable material consisting of three or more layers used for *reinforced insulation*, in which case the mandrel test in 5.2.3.13.3 applies.



IEC

Key

1 Metal frame holding the upper pin in an upright position and allow it to move up and down	5 Specimen under test
2 Metal pin having a mass of 100 g	6 $\varnothing 5 \text{ mm} \pm 0,1$
3 $\varnothing 5 \text{ mm} \pm 0,1$	7 Insulating base
4 Edges of the test pin rounded with a radius of 0,5 mm	8 Terminals for test voltage

Figure 20 – Electric strength test instrument

5.2.3.13.3 Mandrel test (type test)

The purpose of the mandrel tests is to ensure that the material has adequate mechanical strength to resist damage when hidden in inner layers of *insulation*.

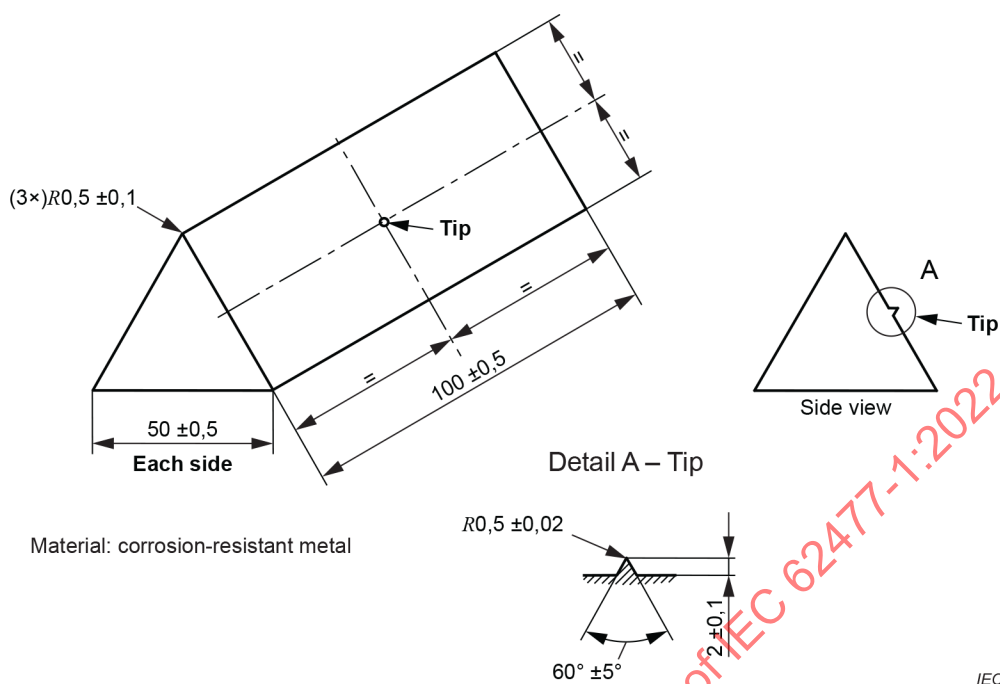
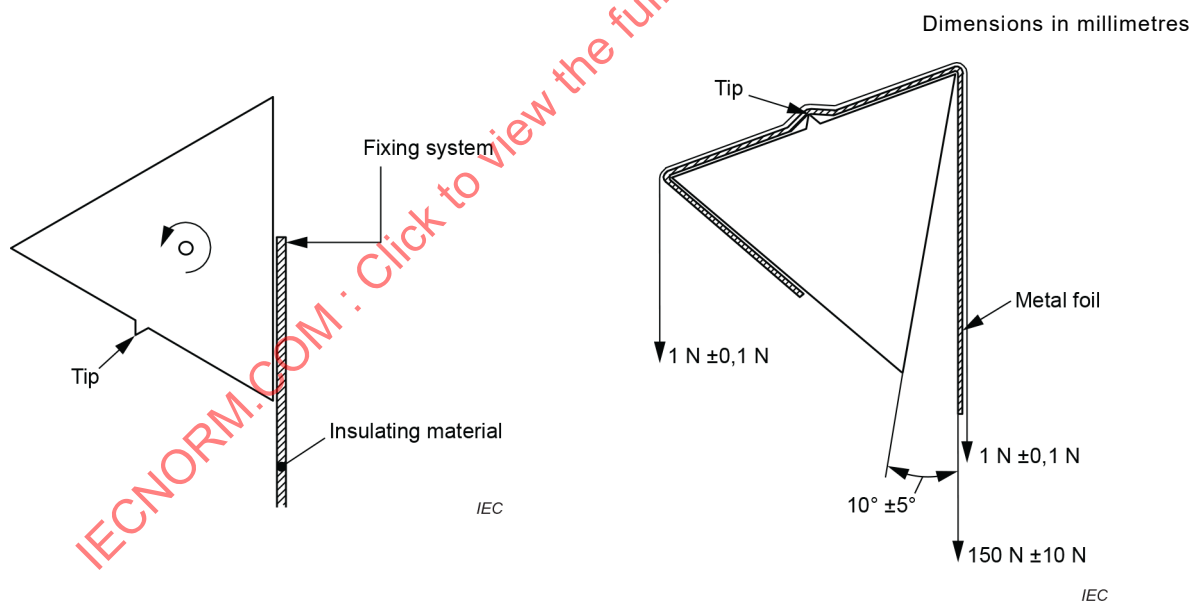
The test requirements for *reinforced insulation* made of non-separable material consisting of three or more layers are specified below.

NOTE This test is based on IEC 61558-1:2017 and will give the same results.

Three test samples are used. The test is repeated on each sample.

Each sample is fixed to the mandrel of the test fixture given in Figure 21. The fixing shall be performed as shown in Figure 22.

Dimensions in millimetres

**Figure 21 – Mandrel**

The final position of the mandrel is rotated $230^\circ \pm 5^\circ$ from the initial position.

Figure 22 – Initial position of mandrel**Figure 23 – Final position of mandrel**

A pull force is applied to the free end of the sample, using an appropriate clamping device. The mandrel is rotated

- from the initial position (Figure 22) to the final position (Figure 23) and back, and
- a second time from the initial position to the final position.

After the above test, a sheet of metal foil, $0,035 \text{ mm} \pm 0,005 \text{ mm}$ thick, at least 200 mm long, is placed along the surface of the sample, hanging down on each side of the mandrel (see Figure 23). The surface of the foil in contact with the sample shall be conductive, not oxidized or otherwise insulated. The foil is positioned so that its edges are not less than 20 mm from the edges of the sample (see Figure 24). The foil is then tightened by two equal weights, one at each end, using appropriate clamping devices.

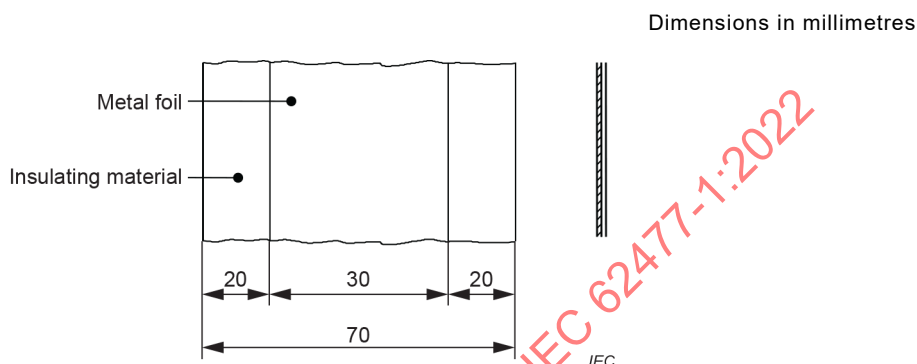


Figure 24 – Position of metal foil on insulating material

For *reinforced insulation*, the test voltage U_{test} is

- 100 % of the test voltage specified for the *impulse withstand voltage* test in 4.4.7.10, and
- 150 % of the test voltage specified for the AC or DC voltage test in 4.4.7.10.

Where the peak voltage of 150 % of U_{test} is less than 7,1 kV, the *impulse withstand voltage* test and the AC or DC voltage test shall be replaced by an AC voltage test of 5 kV RMS.

5.2.3.14 Determination of *working voltage* (type test)

When required in 4.4.7.1.2, the *working voltage* shall be determined

- within circuits,
- against *adjacent circuits*, and
- against *PE*.

See A.5.1, A.5.3, A.5.4 and A.5.5 for guidance on evaluating voltage waveforms.

5.2.3.15 Internal SPD monitoring test (type tests)

A *PECS* having an internal *SPD* with a monitoring circuit as described in 4.4.7.2.2 shall be subjected to this test. A sample of the *PECS* shall have each *SPD* device in turn either shorted or open circuited, whichever is worst case. The *PECS* shall be connected to its nominal source of supply. The *PECS* shall be monitored to determine if it detects and indicates the *SPD* failure.

5.2.3.16 Preconditioning of material (*type test*)

When required in 4.4.7.8.4.2, 4.4.7.8.4.3 or 4.4.7.9, on the same sample, the following preconditioning according to IEC 60664-3:2016, 5.7, shall be conducted before performing the *type tests*. The required number of samples is stated in the applicable 4.4.7.8.4.2, 4.4.7.8.4.3 or 4.4.7.9:

- 1) the dry heat test in 5.2.6.3.1; followed by
- 2) the rapid change of temperature test with $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$ and 50 cycles according to IEC 60664-3:2016, 5.7.4 (test Na of IEC 60068-2-14); followed by
- 3) the damp heat test in 5.2.6.3.2.

5.2.4 Abnormal operation and simulated faults tests

5.2.4.1 General

Protection against risk of thermal, electric shock and energy hazards in case of *abnormal operating condition* or *single fault condition* of a PECS according to 4.2 and 4.3 in combination with its *installation* shall be evaluated by

- a) tests defined in 5.2.4, or
- b) calculation or simulation based on tests as defined in 5.2.4.4 and 5.2.4.6 on a representative model of PECS, where no damage other than opening of *overcurrent protective devices* or *short-circuit protective device* has occurred to the test sample.

NOTE A representative model means a PECS with similar power elements (for example, *power semiconductor devices*, fuses, circuit breakers, capacitors, overcurrent detection and output inductances) and circuit topologies as the PECS under consideration.

Before performing all *abnormal operation* tests, the test sample shall be mounted, connected, and operated as described in the temperature rise test (see 5.2.3.10).

Simulated faults or *abnormal operating conditions* shall be applied one at a time. Faults that are the direct consequence of a simulated fault or *abnormal operating conditions* are considered to be part of that simulated fault or *abnormal operating condition*.

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

The PECS, and the wire mesh cage (if used), shall be earthed according to the requirements of 4.4.4.2.2.

Cheese cloth or 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.

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

The voltages of *accessible circuits* of DVC As as well as earthed and unearthed conductive *accessible parts* shall be monitored.

The supply shall be capable of delivering the specified *prospective short-circuit current* (see 4.3.1) at the test station terminal to which the PECS is connected, unless the analysis of 4.2 demonstrates that a lower value may be used.

The complete length of the cable (forth and back) shall be no more than 2 m. This length may be exceeded, in which case the specified *prospective short-circuit current* shall be calibrated at the terminals of the PECS.

The individual tests shall be performed until terminated by activation of a protective device or mechanism (internal or external), a *component* failure occurs that interrupts the fault condition, or the temperatures stabilize.

5.2.4.2 Acceptance criteria

As a result of the simulated fault or *abnormal operation* tests, the *PECS* shall comply with the following:

- a) there shall be no emission of flame, burning particles or molten metal;
- b) the cheese cloth or surgical cotton indicator shall not have ignited;
- c) the earth connection and *protective equipotential bonding* of the *PECS* shall not have opened;
- d) doors and covers shall remain in place;
- e) *accessible circuits* of *DVC As*
 - 1) shall not exhibit voltages greater than the time dependent voltages of Table 2, Figure 5, Figure 6 and Figure 7 as applicable during the test, or
 - 2) shall be proven to remain separated from *hazardous live parts* by performing the AC or DC voltage test of 5.2.3.4 for *basic protection* after the test;
- f) during and after the test, *hazardous live parts* shall not become *accessible*;
- g) no conductor being a *hazardous live part* shall get pulled out of its terminal connector;
- h) no parts shall be ejected.

The *PECS* shall comply with the AC or DC voltage test of 5.2.3.4 for *basic protection* following the *abnormal operation* tests of 5.2.4.7, 5.2.4.8 and 5.2.4.9. A single sample may be used for multiple tests; in this case, the AC or DC voltage test may be conducted following each test or after the final test of the sequence.

The *PECS* is not required to be operational after testing and it is possible that the *enclosure* can become deformed. *Overcurrent protective device* integral to the *PECS*, or required to be used with the *PECS*, is allowed to open.

5.2.4.3 Protective equipotential bonding test (type test)

5.2.4.3.1 General

When required by 5.2.3.11.1, a *protective equipotential bonding* path shall be subjected to the following short-circuit withstand test.

5.2.4.3.2 Test conditions

The *PECS* under test shall be supplied with power and the output *port* shall be operating as intended in 5.2.4.1 prior to closing the switching means that applies the short-circuit, unless energizing the *PECS* with the short-circuit already applied will be more severe.

The *protective equipotential bonding* short-circuit test shall be performed with the *PECS* working with light load, unless analysis shows that higher short-circuit currents are available under higher loading conditions.

The *PECS* may be tested un-energized and not operating as intended prior to the *protective equipotential bonding* test, unless analysis shows that the test result is affected.

A new sample may be used for each short-circuit test.

5.2.4.3.3 **Protective equipotential bonding short-circuit test method**

The test current is applied by connecting the *accessible part* under consideration to one of the conductors of the test source circuit through a switching means that will not limit the short-circuit current. The switch shall be located such that the source is short-circuited through the *accessible part* and its *protective equipotential bonding* path back to the protective earthing terminal for the source circuit under consideration. The connections to the shorting switch shall be through cables having the same cross-section as specified for the *PE conductor* in the *installation* and the length of the cables shall be limited to 2 m. If the size of the *PECS* requires a greater length, the length shall be as short as practical to perform the test and the short-circuit current shall be calibrated at the entrance of the product.

5.2.4.3.4 **Acceptance criteria**

At the conclusion of the test, in addition to acceptance criteria of 5.2.4.2, there shall be no damage to the *protective equipotential bonding* means under test. Compliance shall be checked by *visual inspection* in 5.2.1, and if necessary, by the *protective equipotential bonding* continuity test (*routine test*) of 5.2.3.11.4.

5.2.4.4 **Output short-circuit test (type test)**

5.2.4.4.1 **Load conditions**

When required in 4.3.2.2, the short-circuit test shall be performed with the *PECS* at full load or light load whichever creates the more severe condition.

5.2.4.4.2 **Short-circuit test method**

Power output *port* terminals shall be provided with cable of a cross-section as specified for the *installation* connected to an appropriate switching means that will not limit the short-circuit current. The complete length of the cable (forth and back) shall be approximately 2 m, unless the size of the *PECS* requires a greater length, in which case the length shall be as short as practical to perform the test.

The *PECS* under test shall be supplied with power and the output *port* shall be operating as intended prior to closing the switching means that applies the short-circuit, unless energizing the *PECS* with the short-circuit already applied will be more severe.

The testing shall include individual tests of each output *port* where combinations of two or more terminals, including earth, on each individual *port* are subjected to short-circuit tests on those terminals.

A new sample may be used for each short-circuit test.

In addition to determining compliance with the criteria of 5.2.4.2, this test is used to determine the *output short-circuit current* rating of the *port* under consideration, in accordance with 4.3.2.4. An oscilloscope or other suitable instrument shall be used to measure the peak current during the test, and to measure or calculate the RMS value of the current.

The value(s) to be recorded and to be provided with the documentation, in accordance with 6.2, are the peak current, and the highest of the RMS current values measured or calculated over a time period as follows:

- a) for AC signals, three cycles of the nominal AC frequency for the *port* under consideration, in which case the value shall be stated as the 3-cycle RMS value;
- b) for all signals, the duration of the short-circuit from the time the short-circuit is applied, until the time the short-circuit current is interrupted by a protective device or other mechanism, in which case the value stated shall include the RMS value and the time period in seconds; and

- c) for short-circuit tests that result in a continuous non-zero value, the steady-state RMS value, in which case the value shall be stated as a continuous RMS value.

For *PECS* with internal short-circuit protection according to 4.3.2.4, which protects the output *port* within some few μ s, the requirements in a), b) and c) above are not applicable.

The *PECS* shall comply with the acceptance criteria of 5.2.4.2.

5.2.4.4.3 Short-time withstand current (I_{cw}) test (type test)

5.2.4.4.3.1 General

As required in 4.3, the *short-time withstand current* test shall be performed as a *type test* to verify the safety of the *PECS*.

Short-circuits are applied in the *PECS* at locations based on the evaluation in 4.2 so that terminals and other parts in the fault current path are being exposed to the short-circuit current.

5.2.4.4.3.2 Short-time withstand current test method

The input *mains supply port* terminals shall be provided with a cable with a cross-section as specified for the installation.

If a switching device is used to initiate the short-circuit or switch the power to the *PECS*, it shall not limit the test current.

The testing shall include individual tests for each input *mains supply port*. The worst case combination of terminals (including neutral and earth) shall be subjected to a short-circuit test.

The *PECS* can be tested un-energized and not operating as intended prior to the short-circuit withstand test, if it can be shown that the test result is not affected.

A new sample may be used for each short-circuit test.

Table 32 lists the AC current test method as a minimum requirement for *PECS*. Requirements for DC current are under consideration.

If the specified I_{cp} value is higher than listed in Table 32, the recommended test current is: 16 kA, 20 kA, 25 kA, 35 kA, 50 kA, 65 kA, 85 kA, 100 kA.

Depending on the characteristics of the *PECS*, the actual values observed during the test may be different from those listed in Table 32, in which case the observed values shall be used for the declaration of I_{cw} .

Table 32 – AC short-time withstand current test, minimum PECS requirements

Rated PECS input current I (RMS) A	Prospective test current ^a		Initial asymmetric peak current ratio ^e (I_{pk} / I_{cw})	Minimum duration of prospective test current ^{f, g} ms
	I_{cp} (RMS) A ^b	Typical power factor ^e		
$I \leq 16$	1 000 ^{c d}	0,95	1,42	100
	3 000	0,9		
$16 < I \leq 75$	6 000	0,7	1,53	100
$75 < I \leq 400$	10 000	0,5	1,70	100
$400 < I \leq 500$	10 000	0,5	1,70	100
$500 < I$	$20 \times I$ or 50 kA whichever is the lower	$0,5 - 0,3 \times (I_{cp} / 20 - 500) / 2\,000$ or 0,2, whichever is the higher	$(0,5 I_{cp} / 20 + 3\,150) / 2\,000$ or 2,2, whichever is the lower	100

^a Prospective test current, in the context of this document, shall be understood as *prospective short-circuit current* (I_{cp}) – refer to 3.58.

^b Values compatible with IEC 60947-6-1:2021, Table 6.

^c Pluggable PECS only.

^d The typical fault current of public supply networks rated 75 A and below and intended to supply equipment with a rated current of 16 A or below can be calculated from the reference impedances in IEC TR 60725:2012: phase conductor $0,24 + j0,15 \, \Omega$ and neutral conductor $0,16 + j0,10 \, \Omega$. For 230 V/400 V supplies, this results in typical fault currents of 0,5 kA (230 V) and 0,7 kA (400 V).

^e From IEC 60947-1:2020, Table 16.

^f In case a lower duration is wanted, the I_{cc} according to 4.3.2.2 can be specified.

^g To ensure global compatibility with external SCPD to clear the fault in the specified duration, a higher minimum duration should be considered and specified, in which case this specified time shall be used for the test. See also IEC 61439-1:2020, 5.3.4.

5.2.4.4.3.3 Acceptance criteria

As a result of the *short-time withstand current* (I_{cw}) test, the PECS shall comply with the acceptance criteria of 5.2.4.2.

5.2.4.5 Output overload test (type test)

The overload test shall be performed after preconditioning the PECS by operating at rated load until thermal stabilization has been reached. Each output *port* of the PECS, and each section of a tapped output, shall be overloaded in turn, one at a time. The other output *ports* and windings are loaded or not loaded, whichever load condition of intended use is less favorable.

Overloading is carried out by connecting a variable load across the output *port* or winding. The load is adjusted as quickly as possible and readjusted, if necessary, after 1 min to maintain the applicable overload. No further readjustments are then permitted.

If overcurrent protection is provided by a current-sensitive device or circuit, the overload test current is the maximum current which the *overcurrent protective device* is just capable of passing for 1 h. Before the test, the *overcurrent protective device* is made inoperative or replaced by a link with negligible impedance. The test shall be terminated after 1 h.

For PECS in which the output voltage is designed to collapse when a specified overload current is reached, the overload is slowly increased to the point of maximum output power before the point which causes the output voltage to collapse.

In all other cases, the loading is the maximum power output obtainable from the output *port*.

The *PECS* shall comply with the acceptance criteria of 5.2.4.2.

5.2.4.6 Breakdown of *components* test (type test)

5.2.4.6.1 Load conditions

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

5.2.4.6.2 Application of short-circuit or open-circuit

The short-circuit shall be applied with cable of a cross-section appropriate for the current that normally flows through the *component*, but not less than 2,5 mm². The length of the loop shall be as short as practical to perform the test. Short-circuits and open circuits are applied using an appropriate switching device.

Each identified *component* shall be subjected to only one breakdown of *components* test unless both open-circuit failure and short-circuit failure modes are likely in that *component*.

5.2.4.6.3 Test sequence

For the breakdown of *components* test, identified *components* shall be short-circuited or open-circuited, whichever creates the worst hazard, one at a time.

The *PECS* shall comply with the acceptance criteria of 5.2.4.2.

5.2.4.7 Material short-circuit test (type test)

Functional insulation provided by *clearances* and *creepage distances* which are less than those specified in Table 8 and Table 9 shall be *type tested* as described below.

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

The *PECS* shall comply with the acceptance criteria of 5.2.4.2.

5.2.4.8 Loss of phase test (type test)

A multi-phase *PECS* shall be operated with each phase (including neutral, if used) disconnected in turn at the input. The test shall be performed by disconnecting one phase with the *PECS* operating at its maximum normal load and shall be repeated by initially energizing the *PECS* with one lead disconnected.

If the disconnection of a single phase can decisively be determined to result in a more severe condition, for example disconnection of the phase with the protective device least likely to respond to the loss of phase, then the test can be conducted by disconnecting only that phase instead of each phase in turn.

The test shall continue until terminated by a protective mechanism, a *component* failure occurs, or the temperature stabilizes.

For *PECS* with rated input current greater than 500 A, compliance can be shown through simulation.

The *PECS* shall comply with the acceptance criteria of 5.2.4.2.

NOTE If fuses are used, a voltage can remain at the open phase caused by internal impedances within the *PECS* connected between the phases.

5.2.4.9 Cooling failure tests (*type tests*)

5.2.4.9.1 General and acceptance criteria

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

The test shall continue until

- the temperature stabilizes, in which case the temperature limits of 4.6.4.3 apply, or
- terminated by a protective mechanism or a *component* failure occurs, in which case the temperature limits of *accessible parts* in 4.6.4.3 may be exceeded by not more than 5 °C. If this is not possible, a warning statement shall be provided in the documentation.

NOTE The temperature increase of 5 °C with regard to the steady state limits reflects the spread of the burn threshold given in IEC Guide 117:2010.

The *PECS* shall comply with the acceptance criteria of 5.2.4.2.

5.2.4.9.2 Inoperative blower motor test (*type tests*)

A *PECS* having forced ventilation shall be operated at rated load with fan or blower motor or motors made inoperative by physically preventing their rotation. If more than one blower motor is comprised, analysis according to 4.2 shall demonstrate whether one after the other or more at the same time shall be blocked, taking into account a *single fault condition*.

NOTE In order to avoid hazards during this test, the physical prevention of the rotation can be done before energizing the blower motor.

The *PECS* shall comply with the acceptance criteria of 5.2.4.2.

5.2.4.9.3 Clogged filter test (*type tests*)

Enclosed *PECS* having filtered ventilation openings shall be operated at rated load with the openings blocked to represent clogged filters.

The test shall be performed initially with 50 % of the ventilation openings surface blocked. The test shall be repeated under a 100 % blocked condition.

The *PECS* shall comply with the acceptance criteria of 5.2.4.2.

5.2.4.9.4 Loss of coolant test (*type tests*)

A liquid cooled *PECS* shall be operated at rated load. Loss of coolant shall be simulated by draining the coolant, blocking the flow or disabling the *system* coolant pump.

If the *PECS* is shut down due to the operation of a thermal device measuring the coolant temperature, then the test shall be repeated with the coolant drained out of the *system*.

NOTE It is presumed that the thermal device is not able to operate if the coolant system is drained.

The *PECS* shall comply with the acceptance criteria of 5.2.4.2.

5.2.4.9.5 Covering of openings for cooling air test (*type test*)

The top, sides, bottom and the back of enclosed *PECS*, if such have openings for cooling, shall be covered one at a time.

All openings of a *PECS* designed as *movable equipment* are covered simultaneously.

Openings above 1,8 m do not need to be blocked.

The *PECS* shall comply with the acceptance criteria of 5.2.4.2.

5.2.5 Material tests

5.2.5.1 General

When requested by 4.4.7.8.2, the flammability properties of the materials used for insulating purposes shall be tested, as defined in 5.2.5.2, 5.2.5.3 and 5.2.5.4.

When requested by 4.6.3.2, the flammability properties of the materials used for *fire enclosure* shall be tested, as defined in 5.2.5.5.

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

Five samples of each insulating material (see Figure 25) to be tested are used. The samples shall have minimum 130 mm length and 13 mm width and have 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 AC, 50 Hz or 60 Hz (see Figure 25).

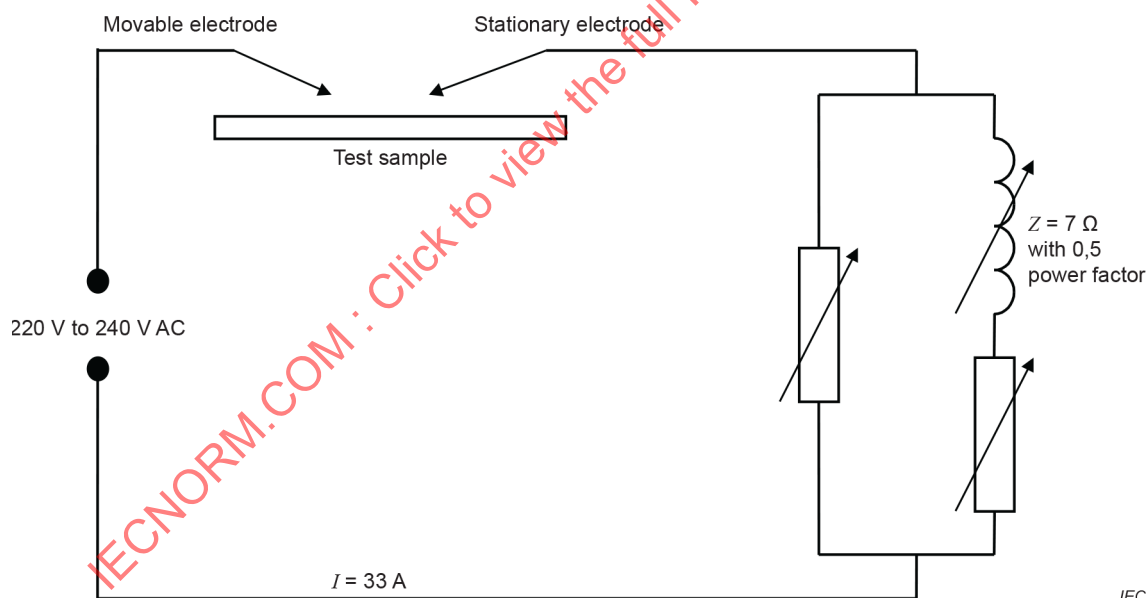


Figure 25 – Circuit for high-current arcing test

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 $250 \text{ mm/s} \pm 25 \text{ mm/s}$.

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.

5.2.5.3 Glow-wire test (type test)

The glow-wire test shall be made under the conditions specified in 4.4.7.8.2 according to IEC 60695-2-10:2013 and IEC 60695-2-13:2010 and IEC 60695-2-13:2010/AMD1:2014.

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.

NOTE Depending on the classification of the use of the *PECS*, the glow-wire test is performed at a lower test temperature according to IEC 60695-2-11:2021, Table 1, but not less than 550°C or the applicable temperature of 850°C . The test temperature is derived from IEC 60695-2-11:2021, Annex A, for equipment for unattended use continuously loaded.

5.2.5.4 Hot wire ignition test (type test)

The hot wire ignition test is an alternative to the glow-wire test.

Five samples of each insulating material (see Figure 26) are tested. The samples shall have minimum 130 mm length and 13 mm width and have uniform thickness representing the thinnest section of the part. Edges shall be free from burrs, fins, etc.

A $250 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ length of nichrome wire (nominal composition 80 % nickel, 20 % chromium, iron-free) approximately 0,5 mm diameter and having a cold resistance of approximately $5 \Omega/\text{m}$ is used. The wire is connected in a straight length to a variable source of power which is adjusted to generate $0,25 \text{ W/mm} \pm 0,01 \text{ W/mm}$ 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 26) and the ends of the wire connected to the variable power source, which is again adjusted to generate $0,25 \text{ W/mm} \pm 0,01 \text{ W/mm}$ in the wire.

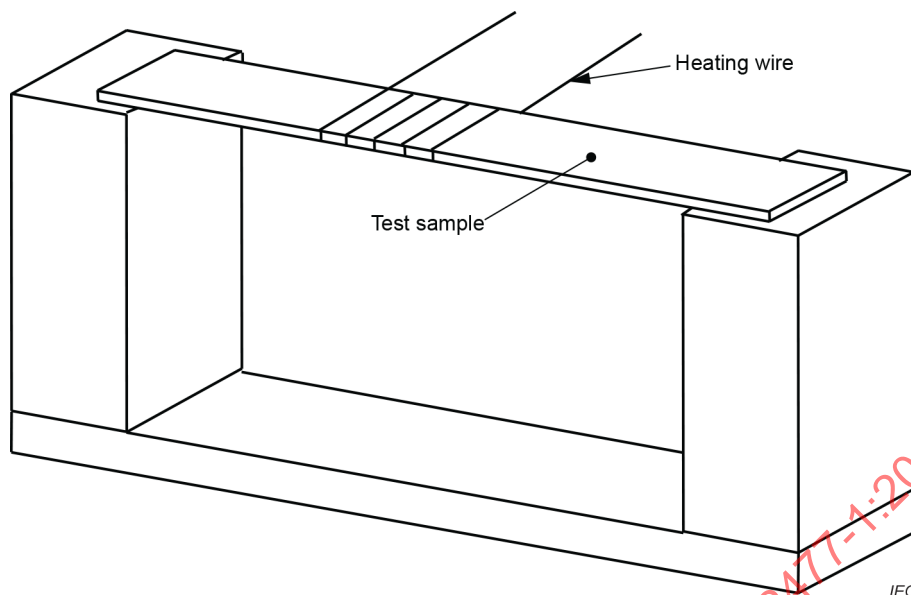


Figure 26 – Test fixture for hot-wire ignition test

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.

5.2.5.5 Flammability test (type test)

When required by 4.6.3.2, compliance is shown by the flammability test as follows.

Three samples of the complete *PECS* or three test specimens of the *enclosure* thereof (see 4.6.3) 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, as determined by the temperature rise test 5.2.3.10, 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 45 % to 55 % 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 60695-11-20:2015.

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;
- 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.

After the test, *PECS* shall meet the requirements for *basic protection* by means of *enclosures* or barriers in 4.4.3.3.

5.2.5.6 Flaming oil test (*type test*)

When required by 4.6.3.3.3, compliance is shown by the flame oil test as follows.

A sample of the complete finished bottom of the *fire enclosure* is securely supported in a horizontal position. Bleached cheesecloth of approximately 40 g/m² is placed in one layer over a shallow, flat-bottomed pan approximately 50 mm below the sample, and is of sufficient size to cover completely the pattern of openings in the sample, but not large enough to catch any of the oil that runs over the edge of the sample or otherwise does not pass through the openings.

The use of a metal screen or a wired-glass partition surrounding the test area is recommended.

A small metal ladle (preferably no more than 65 mm in diameter), with a pouring lip and a long handle whose longitudinal axis remains horizontal during pouring, is partially filled with 10 ml of a distillate fuel oil that is a medium volatile distillate having a mass per unit volume between 0,845 g/ml and 0,865 g/ml, a flash point between 43,5 °C and 93,5 °C and an average calorific value of 38 MJ/l. The ladle containing the oil is heated and the oil ignited and permitted to burn for 1 min, at which time all of the hot flaming oil is poured at the rate of approximately 1 ml/s in a steady stream onto the centre of the pattern of openings, from a position approximately 100 mm above the openings.

The test is repeated twice at 5 min intervals, using clean cheesecloth.

During the test, the cheesecloth shall not ignite.

5.2.5.7 Cemented joints test (*type test*)

When required by 4.4.7.9, representative samples of cemented joints providing protection of type 1 or type 2 as defined in IEC 60664-3:2016 shall be tested as a *type test* as follows.

The samples shall be subjected to the conditioning procedure specified in 5.2.3.16.

After the conditioning, the samples shall pass all of the following tests in the prescribed order.

- a) The mechanical strength of the joint shall be evaluated by loading the joint using the forces anticipated to be present under normal conditions. There shall be no separation of the parts.
- b) The *insulation* resistance between the conductive parts separated by the joint shall be at least 100 MΩ and measured according to IEC 60664-3:2016, 5.8.3.
- c) Cemented joints shall be treated as to be thin sheet material and shall be tested according to 4.4.7.8.3.
- d) The sectioning of the joint shall not show any cracks, voids or separation. The joint shall be visually examined according to IEC 61189-3:2007, 6.2 (test 3V02).

5.2.5.8 Durability, legibility and permanence of marking test (*type test*)

As required in 6.4.3.1, compliance is checked by *visual inspection* in 5.2.1. Permanency is determined by the following *type test* a) or b).

Each required printed or screened marking shall be tested. However, if the data sheet for a label confirms compliance with the test requirements, the test need not be performed.

The test is conducted as follows:

- a) by rubbing the marking by hand without appreciable force for 15 s with a piece of cloth soaked with water and at a different place or on a different sample for 15 s with a piece of cloth soaked with petroleum spirit; or

NOTE Petroleum spirit is a reagent grade hexane with a minimum of 85 % n-hexane. The designation "n-hexane" is chemical nomenclature for a "normal" or straight chain hydrocarbon. This petroleum spirit is further identified as a certified ACS (American Chemical Society) reagent grade hexane.

- b) the markings are rubbed by hand, without undue pressure, for 30 s with a cloth soaked with each specified cleaning agent or, if not specified, with 70 % isopropyl alcohol.

For more information, refer to IEC 62368-1:2018, F.3.9 and F.3.10, or IEC 61010-1:2010, 5.3.

For acceptance criteria, the marking shall remain legible after each test. If the marking is on a separable label, the label shall show no curling and shall not be removable by hand.

5.2.5.9 UV resistance test (*type test*)

If required in 4.12.8, *type tests* shall be performed to demonstrate sufficient resistance to UV exposure.

Samples taken from the parts, or consisting of identical material, are prepared according to the standard for the test to be performed. They are then UV conditioned according to IEC 62109-1:2010, Annex J.

After conditioning, the samples shall show no signs of significant deterioration, such as crazing or cracking. They are then kept at room ambient conditions for not less than 16 h and not more than 96 h, after which they are tested according to the standard for the relevant test.

In order to evaluate the percent retention of properties after test, samples that have not been conditioned according to IEC 62109-1:2010, Annex J, are tested at the same time as the conditioned samples.

Except for flammability classification (see 4.6), use IEC 62109-1:2010, Table 27, for the minimum property retention limits after test.

5.2.6 Environmental tests (*type tests*)

5.2.6.1 General

Environmental testing is required to establish the safety of the *PECS* at the extremes of the environmental classification to which it will be subjected according to 4.9.

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

When testing *components* or sub-assemblies separately, the temperature during the dry-heat test shall be chosen as to simulate actual use in the end-product. The *component* or sub-assembly shall be energized simulating the same conditions as in the end-product.

Table 33 shows the standard tests to be performed for the different environmental conditions.

Compliance is shown by conducting test of 5.2.6.3, 5.2.6.4, 5.2.6.5 and 5.2.6.6 according to Table 33 as applicable for the environmental conditions specified by the manufacture.

Table 33 – Environmental tests

Test condition	Indoor conditioned IEC 60721-3-3	Indoor unconditioned IEC 60721-3-3	Outdoor unconditioned IEC 60721-3-4
Climatic	Dry heat (see 5.2.6.3.1) Damp heat (see 5.2.6.3.2)	Dry heat (see 5.2.6.3.1) Damp heat (see 5.2.6.3.2)	Dry heat (see 5.2.6.3.1) Damp heat (see 5.2.6.3.2)
Chemically active substances	No test requirement	No test requirement	Test Kb of IEC 60068-2-52:2017 Salt mist ^a (see 5.2.6.5)
Mechanically active substances	No test requirement	No test requirement	Test Lc of IEC 60068-2-68:1994 Dust and sand (see 5.2.6.6)
Mechanical	Test Fc of IEC 60068-2-16:2007 Vibration (see 5.2.6.4)	Test Fc of IEC 60068-2-6:2007 Vibration (see 5.2.6.4)	Test Fc of IEC 60068-2-6:2007 Vibration (see 5.2.6.4)
Biological	No test requirement	No test requirement	No test requirement
UV resistance	No test requirement	No test requirement	5.2.5.9
^a Refer to footnote "a" in Table 18.			

When special environmental conditions are specified, additional tests (e.g. for chemically active substances) shall be considered.

5.2.6.2 Acceptance criteria

The following acceptance criteria shall be satisfied:

- no degradation of any safety-relevant *component* of the *PECS*;
- no potentially hazardous behaviour of the *PECS* during the test;
- no sign of *component* overheating;
- no *hazardous live part* shall become *accessible*;
- no cracks in the *enclosure* and no damaged or loose insulators;
- pass routine AC or DC voltage test 5.2.3.4;
- pass *protective equipotential bonding* impedance test 5.2.3.11.2;
- no potentially hazardous behaviour when the *PECS* is operated following the test.

5.2.6.3 Climatic tests

5.2.6.3.1 Dry heat test (steady state) (type tests)

To prove the ability of *components* and *PECS* to be operated, transported or stored at high temperatures, the dry heat (steady state) test shall be performed according to the conditions specified in Table 34.

Table 34 – Dry heat test (steady state)

Subject	Test conditions
Test reference	IEC 60068-2-2:2007, test Bd
Requirement reference	4.9
Initial selection and <i>visual inspection</i> before test	According to 5.1.2 and 5.2.1
Operating conditions	Operating at rated conditions
Temperature	Temperature classification according to Table 18 or manufacturer's specified maximum temperature, whichever is higher. Where <i>components</i> and sub-assemblies are tested separately according to 5.2.3.1, use the temperature expected to occur inside the <i>PECS</i> when the <i>PECS</i> is placed in its maximum permitted temperature.
Accuracy	± 2 °C (see IEC 60068-2-2:2007)
Humidity	According to IEC 60068-2-2:2007, test Bd
Duration of exposure	(16 $\pm$ 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) (type tests)

To prove the resistance to humidity, the *PECS* shall be subjected to a damp heat test (steady state) according to the conditions specified in Table 35.

Table 35 – Damp heat test (steady state)

Subject	Test conditions
Test reference	IEC 60068-2-78:2012, test Cab
Requirement reference	4.9
Initial selection and <i>visual inspection</i> before test	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	Manufacturer's specified maximum temperature or, for separate testing of <i>components</i> and sub-assemblies, according to 5.2.3.1, whichever is higher
Accuracy	± 2 °C (see IEC 60068-2-78:2012, 4.2)
Humidity	Manufacturer's specified maximum humidity
Accuracy	± 3 % (see IEC 60068-2-78:2012, 4.2)
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 AC or DC voltage test or re-connecting the <i>PEC</i> to a power supply.

5.2.6.4 Vibration test (type test)

To verify the mechanical vibration strength, the *PECS* in combination with its *installation* shall be evaluated by

- tests defined in 5.2.6.4 according to the conditions specified in Table 36, or
- calculation or simulation based on tests, as defined in 5.2.6.4, on a representative model of *PECS*.

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

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

Table 36 – Vibration test

Subject	Test conditions
Test reference	IEC 60068-2-6:2007, test Fc
Requirement reference	4.9
Initial selection and <i>visual inspection</i> before test	According to 5.1.2 and 5.2.1
Conditions	Power supply unconnected
Motion	Sinusoidal
Vibration amplitude/acceleration	
$10 \text{ Hz} \leq f \leq 58 \text{ Hz}$	0,075 mm amplitude
$58 \text{ Hz} < f \leq 150 \text{ Hz}$	10 m/s ² (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.	
NOTE This test is an accelerated test which means that the level is higher than indicated in Table 18.	

5.2.6.5 Salt mist test (type test)

To verify the resistance against salt mist, the *PECS* in combination with its *installation* shall be evaluated by tests defined in 5.2.6.5 according to the conditions specified in Table 37.

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

Table 37 – Salt mist test

Subject	Test conditions
Test reference	IEC 60068-2-52:2017, Test Kb
Requirement reference	Table 18
Initial selection and <i>visual inspection</i> before test	According to 5.1.2 and 5.2.1
Conditions	Power supply unconnected
Severity level	Severity level 2
Where the manufacturer specifies salt mist levels that are greater than those above, the higher levels shall be used for the test. The acceptance criteria shall not be changed.	

5.2.6.6 Dust test (type test)

To verify the mechanical strength against dust, the *PECS* in combination with its *installation* shall be evaluated by tests defined in 5.2.6.6 under the conditions specified in Table 38.

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

Table 38 – Dust test

Subject	Test conditions
Test reference	According chosen IP class of IEC 60529:1989, IEC 60529:1989/AMD1:1999 and IEC 60529:1989/AMD2:2013
Requirement reference	Table 33
Initial selection and <i>visual inspection</i> before test	According to 5.1.2 and 5.2.1
Conditions	Power supply unconnected
Particle size	According to IEC 60529:1989, IEC 60529:1989/AMD1:1999 and IEC 60529:1989/AMD2:2013
Dust concentration	According to IEC 60529:1989, IEC 60529:1989/AMD1:1999 and IEC 60529:1989/AMD2:2013
Air velocity	According to IEC 60529:1989, IEC 60529:1989/AMD1:1999 and IEC 60529:1989/AMD2:2013
Air pressure in the specimen	According to IEC 60529:1989, IEC 60529:1989/AMD1:1999 and IEC 60529:1989/AMD2:2013
Test duration	According to IEC 60529:1989, IEC 60529:1989/AMD1:1999 and IEC 60529:1989/AMD2:2013
Acceptance criteria	5.2.6.2 and according to chosen IP classification IEC 60529:1989, IEC 60529:1989/AMD1:1999 and IEC 60529:1989/AMD2:2013

5.2.6.7 Sand test (type test)

To verify the ability to operate under the influence of sand, the *PECS* in combination with its *installation* shall be evaluated by tests defined in 5.2.6.7 under the conditions specified in Table 39 mainly to demonstrate the robustness against abrasion by sand.

Table 39 – Sand test

Subject	Test conditions
Test reference	IEC 60068-2-68:1994, Test Lc1
Requirement reference	Table 18
Initial selection and <i>visual inspection</i> before test	According to 5.1.2 and 5.2.1
Conditions	Power supply unconnected
Particle size	Fine dust
Dust concentration	2 g/m ³
Air velocity	5 m/s
Air pressure in the specimen	Air pressure in the specimen is that of the ambient air pressure
Test duration	24 h
Where the manufacturer specifies dust and sand 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 test (type test, routine test)

For *type tests*, the pressure inside the cooling system of a liquid cooled *PECS* (see 4.7.2.2.3) 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 the purpose of this test, the coolant pump may be disabled.

For *routine tests*, the pressure shall be increased to the maximum pressure rating of the *system*.

For both *type test* and *routine test*, a suitable liquid shall be used to detect leakage.

NOTE Pretesting with compressed air can be performed before the *routine test*.

The pressure shall be maintained for at least one minute.

For acceptance criteria,

- there shall be no thermal, electric shock, or other hazard resulting from the test. There shall be no leakage of coolant or loss of pressure during the test, other than from a pressure relief mechanism during a *type test*, and
- the *PECS* shall pass the AC or DC voltage test in 5.2.3.4 after the hydrostatic pressure *type test*.

5.2.8 Electromagnetic fields (EMF)

For more information, refer to Annex P.

6 Information and marking requirements

6.1 General

The purpose of Clause 6 is to define the information necessary for the safe selection, installation, commissioning, operation and maintenance for the intended use of *PECS* and specified *accessories*.

It is presented as Table 40, showing where the information shall be provided, followed by explanatory subclauses.

Manufacturers shall clearly specify what is contained in the *PECS*, covered by and evaluated according to this document. This shall as a minimum cover the *PEC* including the load *port* and supply *port*.

Information shall be provided about any hazard which can result from reasonable foreseeable misuse as specified in 4.1.

The requirements of Clause 6 apply to all *PECS*, 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 document does not by itself assure a safe *installation*. However, when equipment complying with those requirements is properly selected and correctly installed and operated, the residual risk will be minimized.

Information and markings shall be in a language that is acceptable in the country where the *PECS* is to be installed.

To ensure that the marking is understood globally, marking should use symbols wherever possible. Information about safety warning symbols is given in 6.4.3.1 and Table C.1.

Symbols used on drawings, documentation and the *PECS* shall conform to IEC 60417, IEC 60617, ISO 7000 or ISO 7010 as appropriate. All used symbols shall be explained in the documentation.

The SI system shall be used when specifying electrical, mechanical and thermal units.

NOTE 1 In USA, US customary inch-foot-pound units are used.

NOTE 2 Further guidance for the preparation of documentation is provided in IEC 61082-1 and IEC/IEEE 82079-1:2019.

Table 40 – Marking location

Information	Subclause reference	Location ^a					Technical subclause reference
		1	2	3	4	5	
Identifying the product	6.2.1.2	X	X		X	X	4.1
Electrical ratings for each <i>port</i>	6.2.1.3	X	X			X	4.1
Supplementary information for each <i>port</i>	6.2.1.4					X	4.1
Liquid cooled <i>PECS</i>	6.2.1.5	X	X	X		X	4.1
General <i>PECS</i> marking	6.2.1.6					X	4.1
<i>Accessories</i> ^b	6.2.2	X	X		X	X	4.1
IP rating for enclosed <i>PECS</i>	6.3.2	X	X			X	4.1
Mechanical considerations	6.3.2					X	4.1
Mass information	6.3.2	X	X		X	X	4.1
Environment	6.3.3					X	4.9
Handling and mounting	6.3.4					X	4.2
<i>Enclosure</i> temperature	6.3.5					X	4.6.4.3
<i>Open type PECS</i>	6.3.6					X	4.4.3.3, 4.6.4.3
Interconnection and wiring diagrams	6.3.7.2					X	4.1, 4.2
Conductor (cable) selection	6.3.7.3					X	4.11.10.2
Identification of <i>field wiring terminals</i>	6.3.7.4.1	X	X	X		X	4.11.5
Other details of <i>field wiring terminals</i>	6.3.7.4.2					X	4.11.10.3
Plug and socket-outlets	6.3.7.5	X	X	X		X	4.11.7
Commissioning	6.3.8					X	4.1, 4.2
Accessible parts and circuits	6.3.9.1	X				X	4.4.3.3, 4.4.2.1
<i>Protective equipotential bonding circuit</i>	6.3.9.3	X	X			X	4.4.4.2, 4.4.4.3.2,
<i>Touch current</i> or high leakage current	6.3.9.4	X				X	4.4.4.3.3
Compatibility with RCD	6.3.9.5	X				X	4.4.8
External protective devices	6.3.9.6					X	4.3.1, 4.3.3
<i>Fire enclosures</i>	6.3.9.7					X	4.6.3.1
General information for intended use	6.4.1					X	4.2
Adjustment	6.4.2					X	4.2
Isolating devices and disconnects	6.4.3.2	X	X	X		X	4.1
Hot surface	6.4.4	X				X	4.6.4.3
Control and device marking	6.4.5		X			X	4.2
Manufacturing date	6.5.1.2	X	X				4.2
Safety information	6.5.1.3					X	4.4.3.3
Capacitor discharge	6.5.2	X		X		X	4.4.9, 4.5.2
Auto restart/bypass connection	6.5.3					X	4.2
Other hazards	6.5.4					X	4.2
<i>PECS</i> with multiple sources of supply	6.5.5	X				X	4.8
Replacable fuses in neutral	6.5.6	X				X	4.3.4

a	Location:	1. On <i>PECS</i> , visible when the <i>enclosure</i> cover is on and the door is closed (see 6.4.3) 2. On <i>PECS</i> , visible when opening a door or removing a cover (see 6.4.3) 3. On <i>PECS</i> , separate self-adhesive label shipped with the device 4. On packaging 5. Documentation
		For marking locations 1, 2 and 3, more than one X means that anyone of the locations with an X can be used.
b		Location 1, 2 and 4 are the required location for the <i>accessory</i> , and location 5 is for the <i>PECS</i> .

The documentation in location 5 of Table 40 can be the combination of installation, user's and maintenance manuals as appropriate.

If not against national regulation, the documentation may be supplied in electronic format (e.g. manufacturer's website on the world wide web).

If documentation is provided in electronic format only, information shall be provided on the product itself or in an information sheet

- where to download this documentation, (for example URL); and
- where a hard copy of the documentation can be ordered.

Where a URL is provided, this shall be in human-readable form. A machine readable code may also be provided as an optional addition.

NOTE An example for a machine readable code is QR code.

A warning shall be provided on the *PECS* by the symbol ISO 7010-M002:2011-05 (see Annex C).

When more than one of any product is supplied to a single user, it is not necessary to supply documentation with each unit, if acceptable to the user.

Compliance with 6.1 to 6.5 is determined by *visual inspection* in 5.2.1.

6.2 Information for selection

6.2.1 General

6.2.1.1 Overview

As required in 4.1, each part of a *PECS* including specified *accessories* that is supplied as a separate product shall be provided with information for the intended use relating to its function, electrical characteristics, and intended environment (see 6.3.3), so that its fitness for purpose and compatibility with other parts of the *PECS* can be determined. This information includes, but is not limited to, 6.2.1.2, 6.2.1.3, 6.2.1.4, 6.2.1.5 and 6.2.1.6.

6.2.1.2 Identifying the product

- name or trademark of the manufacturer, supplier or importer;
- catalogue number or equivalent.

6.2.1.3 Electrical ratings for each port

- maximum nominal input voltage;
- maximum nominal output voltage;
- maximum nominal output current or nominal power output rating;

- duty cycle rating for *PECS* designed to operate intermittently;
- maximum nominal input current RMS for dimensioning overload protective elements and wiring;
- number of phases (e.g. 3 AC);
- nominal frequency range (e.g. 50 Hz to 60 Hz);
- equipment class (I, II, III), see 6.3.9.2;
- A *DVC As* circuit shall be durably marked where visible after installation to indicate the class of supply and its electrical rating (for example, 30 Vac, *DVC As*), or equivalent.

6.2.1.4 Supplementary information for each *port*

- multiple rated *PECS*;
- *DVC* classification according to 4.4.2.1;
- for a *DVC As* circuit not evaluated for use in wet or salt water-wet locations, one of the following information, whichever is applicable according to Table 18, or equivalent wording:
 - "Not for use in wet locations"; or
 - "Not for use in salt water-wet locations";
- electrical (*overvoltage category*);
- the type of electrical supply *system* (e.g. TN, IT, etc.) to which the *PECS* may be connected (see 4.4.7.1.5);
- thermal derating characteristics for operation at an altitude above 1 000 m or by increased ambient temperature; and
- short-circuit current rating(s) in terms of
 - *conditional short-circuit current* (I_{cc}) and *minimum required prospective short-circuit current* $I_{cp,mr}$ and the characteristics of the *short-circuit protective device* according to 4.3.2.2,
 - *rated short-time withstand current* (I_{cw}), duration and the rated peak withstand current (I_{pk}) according to 4.3.2.3,
 - *output short-circuit current* in accordance with 4.3.2.4,
 - protective device characteristics, in accordance with 4.3.2 and 5.2.4.4, or
 - supply requirements of the load (if applicable).

6.2.1.5 Liquid cooled *PECS*

- liquid coolant type;
- nominal operating pressure;
- maximum operating pressure.

6.2.1.6 General *PECS* marking

- intended use (see 4.1);
- specified *accessories* (see 4.1);
- specific auxiliary equipment (see 4.1);
- reference(s) to relevant standard(s) for manufacture, test, or use;
- reference to documentation 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 the specific item of equipment. If information covers a number of product variants, it shall be readily possible to distinguish between them.

For *open type PECS*, the marking on the *PECS* is not required to be visible when mounted side by side or next to other devices.

6.2.2 Instructions and markings pertaining to accessories

As required in 4.1, the following information for identification shall be marked on the *accessory* when the *accessory* is not delivered with the *PECS*:

- a) the manufacturer's name or trademark;
- b) the catalog number or equivalent;
- c) other information, as specified in 6.3 to 6.5.

6.3 Information for installation and commissioning

6.3.1 General

As required in 4.2, safe and reliable installation is the responsibility of the installer, machine builder, and/or user. The manufacturer of any part of the *PECS* shall provide information to support this task. This information shall be unambiguous, and may be in diagrammatic form.

6.3.2 Mechanical considerations

As required in 4.1, the following information shall be provided:

- IP rating for enclosed *PECS*;
- dimensional drawing;
- mounting drawing;
- mass information.

For enclosed *PECS* designed as *pluggable equipment type A*, marking of the IP rating is not mandatory on the product.

For *PECS* weighing 18 kg or less, marking of the mass information is not mandatory on the product.

6.3.3 Environment

As required in 4.1, and in accordance with 4.9, the following environmental conditions shall be specified for operation, transportation and storage:

- climatic (ambient temperature, humidity conditions, altitude, ultra-violet light (UV), etc.);
- mechanical (vibration, shock, drop, topple, etc.);
- *pollution degree* for which the *PECS* has been designed, when required in 4.4.7.1.3.

NOTE Environmental categories as specified in IEC 60721 (all parts) can be used where appropriate.

6.3.4 Handling and mounting

In order to prevent injury or damage as required in 4.2, 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, and

- provision of adequate access for operation, adjustment and maintenance.

6.3.5 Enclosure temperature

When surface temperatures of the *PECS*, close to mounting surfaces, exceed the limit of 4.6.4.3, the documentation shall contain a warning to consider the combustibility of the mounting surface.

The following marking or equivalent shall appear:

"Suitable for mounting on concrete or other non-combustible surfaces only".

See also 6.4.4.

6.3.6 Open type *PECS*

6.3.6.1 Fire protection for open type *PECS*

When required by 4.6.4.3, the documentation shall include the following warning text or equivalent:

"This *open type PECS* does not provide comprehensive mitigation for fire hazards. It is intended to be installed inside a supplementary *enclosure* or in a *restricted access area* which provides appropriate protection against the spread of fire."

6.3.6.2 Protection against electric shock not provided by *enclosures* or barriers

When required by 4.4.3.3, the documentation shall include the following warning text or equivalent:

"This *open type PECS* does not provide protective means for access to *hazardous live parts*. It is intended to be installed inside a supplementary *enclosure* or in a *restricted access area* which provides appropriate protection against access to *hazardous live parts*".

6.3.7 Connections

6.3.7.1 General

Information shall be provided to enable the installer to make safe electrical connection to the *PECS*. This shall include information for protection against hazards that may be encountered during installation, operation or maintenance.

EXAMPLE Electric shock, availability of energy or special wiring *systems*.

6.3.7.2 Interconnection and wiring diagram

As required in 4.1 and 4.2, the documentation shall include details of all necessary connections, together with a suggested interconnection diagram.

6.3.7.3 Conductor (cable) selection

As required in 4.11.2, the documentation shall define the voltage and current levels for all connections to the *PECS*, together with cable *insulation* requirements. These shall be worst case values, taking into account short-circuit and overload conditions and the possible effects of non-sinusoidal currents.

6.3.7.4 Identification and other details of *field wiring terminals*

6.3.7.4.1 Identification of *field wiring terminals*

The identification of all *field wiring terminals* shall be marked on the *PECS*, either directly or by a label attached close to the terminals (see 4.11.5 and 4.11.10.3).

The documentation shall identify all *field wiring terminals* relating to circuits of DVC As.

A *field wiring terminal* for the connection of the neutral conductor as required by 4.11.5 shall be readily distinguishable by location and/or marking or colour from the other *field wiring terminals*, or proper identification of the *field wiring terminal* for the connection of the neutral conductor shall be clearly shown in some other manner, such as on an attached wiring diagram.

6.3.7.4.2 Other details of *field wiring terminals*

To ensure a safe *installation*, the documentation shall specify the following in a), b), c), d) and e) as applicable.

a) Terminal capacity

- range of acceptable conductor sizes and types (solid or stranded) for all terminals (see 4.11.10.2);
- maximum number of conductors which can simultaneously be connected in parallel per terminal;
- size of the fasteners (see d)).

b) Tightening torque value

- required tightening torque value;
- required strength of bolts and nuts.

c) Cable type and temperature

- whether the terminals are suitable for connection of copper, aluminium and/or copper-clad aluminum conductors;
- the *insulation* temperature rating requirements for the conductor or cable based on the results of the temperature test in 5.2.3.10.

d) *Accessories* for wire connection

- the stripping length of the wire;
- specific ring lugs, ferrules, leads, wire binding screws or pressure wire connectors;
- pressure wire connector or *component* terminal *accessory* kits;
- wiring *accessories* such as nuts, bolts, spring washers;
- *accessories* for the securement, routing and fixing of cables.

e) Wire terminal *components*

- when wire terminals *components* are not provided on the *PECS* as shipped, the documentation shall state which *component* terminal kits are intended for use with the *PECS*;
- when parts of terminals (e.g. cable lugs or removable part of two-part connectors) are not provided on the *PECS* as shipped, the documentation shall state which terminal kits are intended for use with the *PECS*, or standard off the shelf parts of the terminals.

6.3.7.5 Plug and socket-outlets

When required in 4.11.7, plug and socket-outlets accepting standard *mains supply* plugs shall be marked with the voltage if it is different from the *mains supply* voltage. If the plug and socket-outlet is for use only with specific *accessories*, it shall be marked to identify the *accessories* for which it is intended. If not, the maximum rated current or power shall be marked, or symbol ISO 7010-W001:2011-05 or ISO 7000-0434:2006-12 shown in Annex C placed beside the plug and socket-outlet with the full details included in the documentation.

6.3.8 Commissioning

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

As required in 4.1 and 4.2, commissioning information shall include references to hazards that might be encountered during commissioning, for example those mentioned in 6.4 and 6.5.

6.3.9 Protection requirements

6.3.9.1 Accessible parts and accessible circuits

The installation and maintenance documentation shall identify any conductive *accessible parts* and *accessible circuits* at voltages greater than *DVC As* (see 4.4.2.1), and shall describe the *insulation* and protective means required for protection.

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

Where a hazard is present after the removal of a cover of an enclosed *PECS* (see 4.4.3.3), a warning label shall be placed on the *PECS*. The label shall be visible before the cover is removed.

The documentation of a *PECS* shall state the maximum voltage allowed to be connected to each *port*.

The documentation shall provide instructions for the use of *DVC As* circuits within a *zone of equipotential bonding*.

6.3.9.2 Equipment class

6.3.9.2.1 General

The *PECS* shall be marked according to the requirement of 6.3.9.2.2, 6.3.9.2.3 and 6.3.9.2.4.

6.3.9.2.2 PECS designed as class I equipment

Means of connection for the external *PE conductor* to the *PECS* as required by 4.4.4.3.2 shall be clearly and indelibly marked with one or more of the following:

- the symbol IEC 60417-5019:2006-08 (see Annex C);
- the letters "PE";
- the colour coding green or green-and-yellow.

NOTE In the USA and Canada, the symbol IEC 60417-5017:2006-08 or symbol IEC 60417-5019:2006-08 or the wording "G," "GR," "GRD," "Ground," "Grounding," or similar designation can be used. A wire binding screw intended for the connection of a field-installed equipment PE conductor require a green coloured head that is hexagonal, slotted, or both.

When requested by 4.11.5, the documentation shall specify clear instruction on the location of the *PE*-terminal and correct connection to the terminal.

6.3.9.2.3 PECS designed as class II equipment

PECS of *class II equipment* shall be marked with symbol IEC 60417-5172:2003-02 (see Annex C). Where such *PECS* has means for the connection of an earthing conductor for functional reasons (see 4.4.6.3), the means of connection shall be marked with symbol IEC 60417-5018:2011-07 (see Annex C).

6.3.9.2.4 PECS designed as class III equipment

PECS of class III equipment shall be marked with symbol IEC 60417-5180:2003-02 (see Annex C).

6.3.9.3 Protective equipotential bonding circuit

The *protective equipotential bonding* circuit in 4.4.4.2 shall be marked as follows.

- For the means of connection for the external *PE conductor* in 4.4.4.3.2, see 6.3.9.2.2.

NOTE 1 The following text is copied and modified from IEC 60204-1:2016, 13.2.2.

- The internal *protective equipotential bonding* conductor shall be readily distinguishable from other conductors by shape, location, marking, or colour.
- Where the internal *protective equipotential bonding* conductor can be easily identified by its shape, position, or construction (for example a braided conductor, uninsulated stranded conductor), no additional marking is required.
- When identification is by colour alone, the bicolour combination green-and-yellow shall be used throughout the length of the conductor, or where the insulated conductor is not readily *accessible* or is part of a multicore cable, colour coding throughout its length is not necessary. However, where the conductor is not clearly visible throughout its length, the ends or *accessible* locations shall be clearly identified by
 - the symbol IEC 60417-5017:2006-08,
 - the bicolour combination green-and-yellow, or
 - markings, if explained in the documentation.

NOTE 2 The following text is copied and modified from IEC 60950-1:2005 and IEC 60950-1:2005/AMD1:2009, 1.7.7.1.

- However, where terminals for the connection are provided on a *component* or subassembly, either the symbol IEC 60417-5017:2006-08 or the symbol IEC 60417-5019:2006-08 is permitted.

As required in 4.4.4.2.1, where screws for connecting the *protective equipotential bonding* are used for other purpose, this shall be specified in the documentation.

6.3.9.4 Touch current or high leakage current

6.3.9.4.1 General

The documentation shall specify if one or more of the solutions mentioned in 4.4.4.3.3 are applicable for the PECS.

6.3.9.4.2 Touch current

Where the *touch current* exceeds the limits given in 4.4.4.3.3.3, this shall be stated in the documentation. In addition, a warning symbol ISO 7010-W001:2011-05 or ISO 7000-0434:2006-12 (see Annex C) shall be placed on the PECS, and a notice shall be provided in the documentation to instruct the user that the minimum size of the *PE conductor* shall comply with the local safety regulations for high *touch current*.

6.3.9.4.3 High leakage current

If the *PE conductor* current exceeds the limits given in 4.4.4.3.3.4, this shall be stated in the documentation. In addition, a warning symbol ISO 7010-W001:2011-05 or ISO 7000-0434:2006-12 (see Annex C) shall be placed on the PECS and a notice shall be provided in the documentation about the protective means to instruct the user that connection of simultaneously conductive *accessible parts* adjacent to the PECS to the protective bonding circuit of the PECS is required.

6.3.9.5 Compatibility with RCD

The documentation shall indicate compatibility with RCDs (see 4.4.8). When 4.4.8 b) applies, a caution notice and the symbol ISO 7010-W001:2011-05 or ISO 7000-0434:2006-12 (see Annex C) shall be provided in the documentation, and the symbol shall be placed on the *PECS*. The caution notice shall be the following or equivalent:

"This product can cause a DC current in the PE conductor. Where a residual current-operated protective device (RCD) is used for protection against electric shock, only a RCD of type B is allowed on the supply side of this product."

NOTE See 6.4.3 for general requirements for labels, signs and signals.

6.3.9.6 External protective devices

Where external protective devices are necessary to protect against hazards, the documentation shall specify the required characteristics (see also 5.2.4 and 4.3.2.1).

6.3.9.7 Fire enclosure

When it is intended to use the *PECS* only in areas without combustible material to avoid the use of a *fire enclosure* according to 4.6.3.1, the following marking or an equivalent text shall appear:

"Intended to be used only in areas without combustible materials".

When required by 4.6.3.3.4, the documentation shall include information for correct removal and reinstallation of the door or cover, to ensure that the *fire enclosure* is maintained during installation or maintenance.

When required by 4.6.3.3.2, the documentation shall specify appropriate mounting instructions to ensure moveable equipment has a well defined top and bottom.

6.4 Information for intended use

6.4.1 General

As required in 4.1, the documentation shall include all information regarding the safe operation of the *PECS*. In particular, it shall identify any

- hazardous materials,
- risks of electric shock,
- overheating,
- explosion, and
- excessive acoustic noise (see 4.10).

6.4.2 Adjustment

As required in 4.2, the documentation shall give details of all safety-relevant adjustments intended for the user. The identification or function of each control or indicating device and *overcurrent protective devices* 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 documentation.

Maintenance adjustments may also be described in this documentation, but it shall be made clear that they should only be made by *skilled persons*.

Clear warnings shall be provided in the documentation where excessive adjustment could lead to a hazardous state of the *PECS*.

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

6.4.3 Labels, signs, symbols and signals

6.4.3.1 General

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

As required in 4.2, all safety related *PECS* labels shall be located so as to be visible after installation or readily visible by opening a door or removing a cover.

All safety related caution and warning labels required for location "2" according to 6.1 and Table 40 indicating a hazard shall be located so as to be visible after installation or readily visible by opening a door or removing a cover when *PECS* is installed as intended including side-by-side with specified *clearance*.

Where a symbol is used, the information provided with the *PECS* shall contain an explanation of the symbol and its meaning.

Labels shall

- wherever possible, use international symbols as given by ISO 3864-1, ISO 7000, ISO 7010 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, and
- 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, and
- the nature of safe conditions, the wording should include the noun appropriate to the safety device.

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

- DANGER indicates a hazardous situation which, if not avoided, will result in death or serious injury, for example: "High voltage";
- WARNING indicates a hazardous situation which, if not avoided, could result in death or serious injury, for example: "This surface can be hot";
- CAUTION indicates a hazardous situation which, if not avoided, could result in minor or moderate injury, for example: "Some of the tests specified in this document involve the use of processes imposing risks on persons concerned".

Danger, warning and caution markings on the *PECS* shall be prefixed with the signal 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.

If the danger, warning or caution marking is on a visible surface whose width and length are both 20 cm or more, the signal word "DANGER", "WARNING", or "CAUTION" as appropriate shall have letters not less than 5 mm high. The remaining letters of such markings shall not be less than 2,5 mm high.

Cautionary markings shall not be located solely on a part that is removable unless removal of the part is only possible by means of a tool and impairs the operation.

The signal word hierarchy shall be observed as a minimum. For example, "Danger" may be substituted for either "Warning" or "Caution" but not vice versa.

NOTE 1 ANSI Z535.4 (all parts) and ISO 3864-2 can be useful for further information on markings.

Cautionary marking for operating instructions shall be legible and visible during normal operation conditions of the *PECS*.

A marking that provides servicing instructions shall be legible and visible when such servicing is being performed.

All markings shall be

- moulded, die-stamped, paint-stenciled, stamped,
- etched metal that is permanently secured, or
- indelibly stamped lettering on a pressure-sensitive label secured by adhesive that is rated for the environmental ratings of the *PECS*.

Usage, handling, storage, and similar conditions to which the product is exposed shall be applied in the determination of the permanency of a marking. For test, see 5.2.5.8.

Unless otherwise specified, safety signs do not need to be in colour.

If a safety sign is in colour, the colour shall be in accordance with ISO 3864 (all parts).

NOTE 2 For guidance of determination of contrast, see Clause C.2.

Markings that are engraved or moulded need not be in contrasting colours provided that they are legible and readily discernable under normal lighting conditions.

6.4.3.2 Isolating devices and disconnects

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 *PECS*.

- If the isolating device is mounted in a *PECS 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 *PECS*.
- Where a control circuit disconnect 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 disconnect stating that it does not disconnect all power to the *PECS*.

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, and
- 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.

6.4.4 Hot surfaces

Where required by 4.6.4.3, the warning symbol IEC 60417-5041:2002-10 or ISO 7010-W017:2011-05 (see Annex C) shall be marked on or adjacent to parts exceeding the touch temperature limits of Table 15.

6.4.5 Control and device marking

As required in 4.2, the identification of each control or indicating devices and internal *overcurrent protective devices* shall be marked adjacent to the item.

Each replaceable internal *overcurrent protective device* shall be marked with its characteristics or manufacturer's name and catalog number nearby.

Where it is not possible to do this on the *PECS*, the information shall be provided pictorially in the documentation.

There shall also be a marking near all replaceable fuses that states the following text or equivalent wording:

"Warning – Risk of fire. Replace fuses only as marked."

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 Supplementary information

6.5.1 Maintenance

6.5.1.1 General

As required in 4.2, the manufacturer shall provide information to ensure that maintenance of the *PECS* can be conducted in a safe manner providing safety markings as specified in 6.5.1.2 and 6.5.1.3.

6.5.1.2 Manufacturing date

The manufacturing date of the *PECS* shall be determined by a code marked on the product. This code can be a unique identification code, date code, serial number or similar.

6.5.1.3 Safety information

The documentation shall include, as appropriate, the following safety information:

- preventive maintenance procedures and schedules;
- safety precautions during installation, commissioning and maintenance;
- location of *hazardous live parts* that can be *accessible* during maintenance (for example, when covers are removed) – see 4.4.3.3;
- sub-assembly and *component* repair and replacement procedures;
- any other relevant information;
- qualification required for installation, commissioning and maintenance.

NOTE 1 These can best be presented as diagrams.

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

6.5.2 Capacitor discharge

When required by 4.4.9 c) or 4.5.2, the warning symbol IEC 60417-6042:2010-11 or ISO 7010-W012:2011-05 and IEC 60417-5416:2015-04 (see Annex C) and an indication of the minimum discharge time (see Annex C) required for discharge under worst conditions (e.g. discharge time 5 min) shall be located according to 6.4.3.1 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 *PECS* shall be stated in the documentation.

NOTE The value of the discharge time declared by the manufacturer can cover a range of *PECS* taking into account the relevant tolerances for the complete range of *PECS*.

6.5.3 Auto restart/bypass connection

As required in 4.2, if a *PECS* can be configured to provide automatic restart or bypass connection, the documentation shall contain appropriate warning statements.

A *PECS* 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 Other hazards

As required in 4.2, the manufacturer shall identify, as applicable, any *components* and materials of a *PECS* which require special procedures to prevent hazards.

6.5.5 PECS with multiple sources of supply

In accordance with 4.8, where there is more than one source of supply energizing the *PECS*, information shall be provided to indicate which disconnect device or devices are required to be operated in order to completely isolate the *PECS*.

6.5.6 Replaceable fuses in neutral of single-phase PECS

When required in 4.3.4, a suitable marking shall be provided in the documentation to inform a *skilled person* of a possible hazard, where both of the following conditions exist:

- a fuse is used in the neutral of single-phase *PECS* either *permanently connected* or provided with a non-reversible plug;
- after operation of the fuse, parts of the *PECS* that remain energized might represent a hazard during servicing.

The following or similar wording is regarded as suitable:

"CAUTION

DOUBLE POLE/NEUTRAL FUSING"

As an alternative to the above wording, the use of the following combination of representative symbols is permitted:

- the electric shock hazard symbol IEC 60417-6042:2010-11 or ISO 7010-W012:2011-05;
- the fuse symbol IEC 60417-5016:2002-10;
- an indication that the fuse is in the neutral N (see Annex C).

However, in this case, the statement shall also be provided in the documentation.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62477-1:2022

Annex A (normative)

Additional information for protection against electric shock

A.1 General

Figure A.1 to Figure A.3 show examples of the means used for protection against electric shock in *class III equipment* and *DVC As* circuits (see 4.4.6.4).

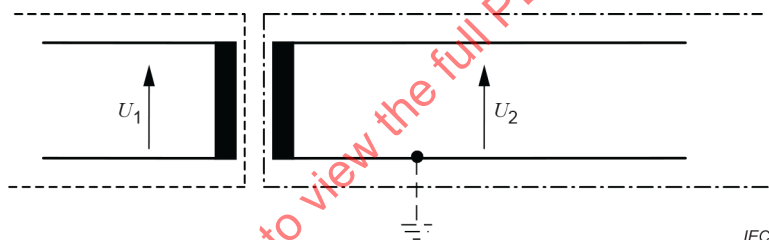
The following key applies to Figure A.1 to Figure A.3.

----- *Basic protection*

----- *Enhanced protection to adjacent circuits according to Table 3*

A.2 Protection by means of *DVC As*

(see 4.4.2.2)



Key

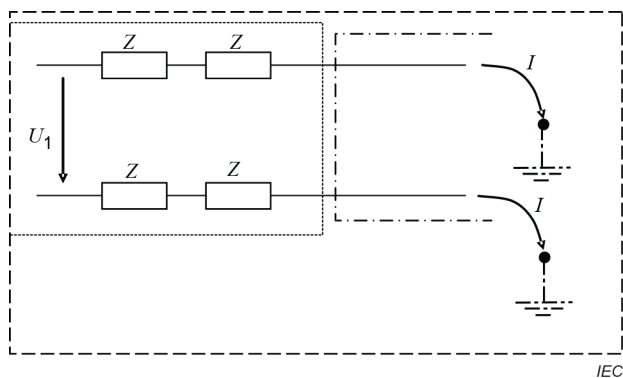
U_1 hazardous voltage, earthed or unearthed

$U_2 \leq \text{DVC As from Table 2}$

Figure A.1 – Protection by *DVC As* with *enhanced protection*

A.3 Protection by means of *protective impedance*

(see 4.4.5.5)



Key

Z resistor

U_1 hazardous voltage, unearthed

$I \leq$ limits in Table 5

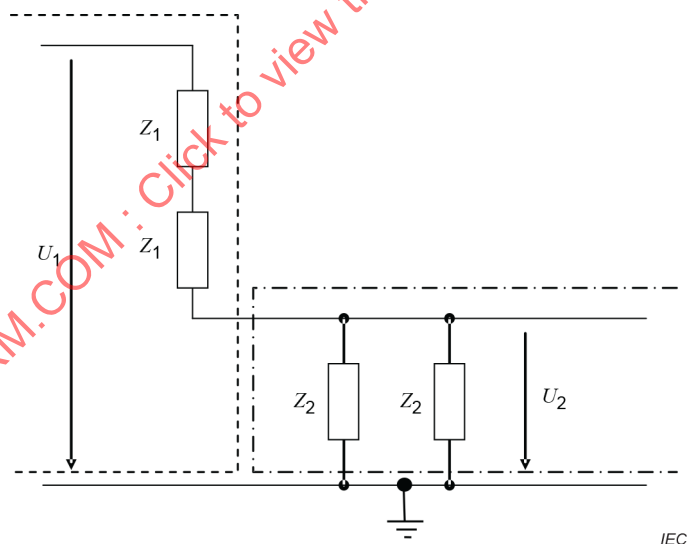
Figure A.2 – Protection by means of protective impedance

NOTE A similar approach can be made for earthed systems.

To provide protection in *single fault conditions*, use the following formula: $I = \frac{U_1}{Z}$.

A.4 Protection by using limited voltages

(see 4.4.2.2)



Key

Z resistor

U_1 hazardous voltage, earthed

$U_2 \leq$ DVC As from Table 2

Figure A.3 – Protection by using limited voltages

To provide protection in *single fault conditions*, use the following formulae:

$$U_2 = \frac{U_1 Z_2}{2Z_1 + Z_2} \quad \text{or} \quad U_2 = \frac{U_1 Z_2}{2(Z_1 + \frac{Z_2}{2})}$$

A.5 Evaluation of the *working voltage* of circuits

A.5.1 General

The decisive voltage of each circuit of the *PECS* in respect of the protective means to be employed against electric shock is the highest voltage which occurs between any two arbitrary *live parts* within this circuit during rated worst operating conditions when used as intended.

If connection of the circuit to *PE* is provided, then the decisive voltage is the highest voltage which occurs between any arbitrary *live part* of this circuit and earth (for example circuits connected to an earthed three-phase supply).

A portion of a *DVC As* circuit may exceed the voltage limits of Table 2 when this portion is protected against direct contact according to 4.4.3.3 and the *accessible* portion of the *DVC As circuit* complies with the voltage limits of Table 2 under *single fault conditions* according to 4.2. However, the voltages in this higher voltage portion of the circuit shall still be used in the determination of *clearances* for the circuit under consideration to its surroundings in 4.4.7.4 and 4.4.7.5.

A.5.2 Classification of the *working voltage*

The limits of Table 2 are valid for nearly sinusoidal *AC* and nearly ripple free *DC*. However, electronic power conversion circuits present voltage waveforms which are neither nearly sinusoidal *AC* nor ripple free *DC*.

In A.5.2, methods and rules are provided to classify any voltage shape into one of the *DVC* in Table 2.

In the first step, the mean value of the voltage under investigation is determined.

If the mean value is zero, this voltage is considered *AC working voltage* and the rules are given in A.5.3.

NOTE The meaning of "zero" is a negligible mean value.

If the mean value is unequal to zero, in the second step the *RMS* value of the superposed ripple voltage is determined as follows:

- if this *RMS* value of the ripple does not exceed 10 % of the mean value of the *DC*, this voltage is considered *DC working voltage* and the rules are given in A.5.4;
- if this *RMS* value of the ripple exceeds 10 % of the mean value of the *DC*, this voltage is considered pulsating *working voltage* and the rules are given in A.5.5.

In the third step, determination of the applicable values for the *DVC* is done considering the:

- *AC RMS* (U_{AC}),
- *AC recurring peak* (U_{ACP}),
- *DC mean* (U_{DC}), and
- *DC recurring peak* (U_{DCP}),

as specified in 4.4.2.6.

Three cases of waveforms are considered: Figure A.4, Figure A.5 and Figure A.6 shows typical waveforms for the evaluation of *working voltage*.

A.5.3 AC working voltage

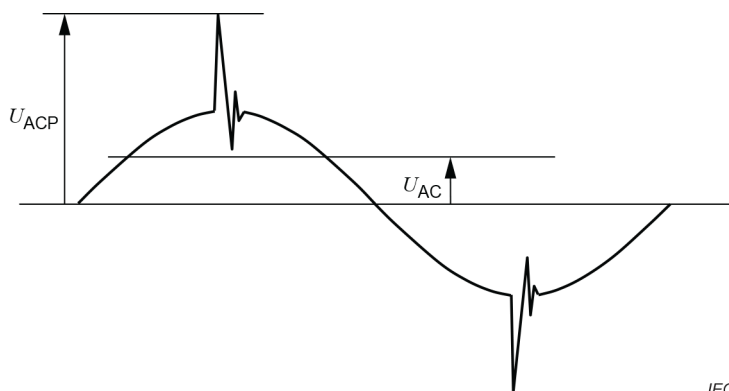


Figure A.4 – Typical waveform for AC working voltage

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

The *DVC* is that of the lowest voltage row of Table 2 starting with *DVC* As for which both of the following conditions are satisfied for the same row:

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

Example with values:

- $U_{AC} = 39 \text{ V}$ --> is lower than $U_{ACL} = 50 \text{ V}$ --> *DVC B*
- $U_{ACP} = 91 \text{ V}$ --> is higher than $U_{ACPL} = 71 \text{ V}$ --> *DVC C*

The rule for determining the *DVC* of the voltage is to select the highest *DVC*.

Result: --> this *working voltage* is *DVC C*.

A.5.4 DC working voltage

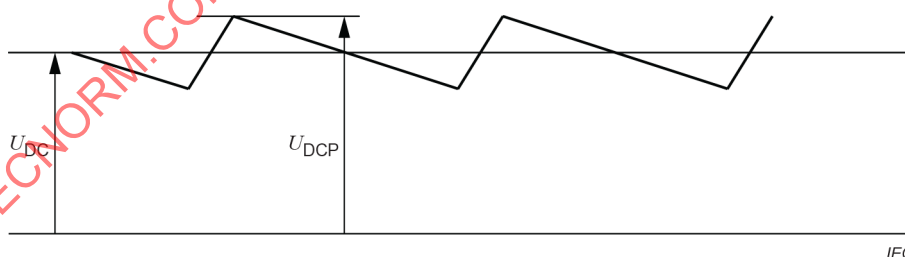


Figure A.5 – Typical waveform for DC working voltage

The *working voltage* has a mean value U_{DC} and a recurring peak value U_{DCP} .

The *DVC* is that of the *DVC* row of Table 2 starting with *DVC* As for which both of the following conditions are satisfied for the same row:

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

NOTE The value of 1,17 results from a superimposed ripple voltage on a triangle waveform with 10 % RMS value.

Example with values:

- $U_{DC} = 39 \text{ V}$ --> is lower than $U_{DCL} = 60 \text{ V}$ --> DVC As dry
- $U_{DCP} = 69 \text{ V}$ --> is lower than $1,17 \times U_{DCPL} = 70,2 \text{ V}$ --> DVC As dry

The rule for determination of DVC of the voltage is to select the highest DVC.

Result: --> this *working voltage* is DVC As dry.

A.5.5 Pulsating working voltage

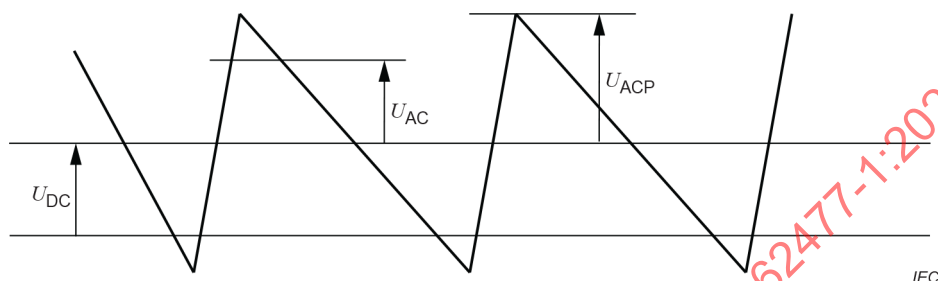


Figure A.6 – Typical waveform for pulsating *working voltage*

The *working voltage* has a mean value U_{DC} , an AC value U_{AC} and a recurring peak value U_{ACP} .

The DVC is that of the DVC row of Table 2 starting with DVC As for which both of the following conditions are satisfied for the same row:

$$\frac{U_{AC}}{U_{ACL}} + \frac{U_{DC}}{U_{DCL}} \leq 1 \quad \text{and} \quad \frac{U_{ACP}}{U_{ACPL}} + \frac{U_{DC}}{1,17 \times U_{DCL}} \leq 1$$

Example with values:

- $U_{DC} = 39 \text{ V}$;
- $U_{AC} = 49 \text{ V}$;
- $U_{ACP} = 91 \text{ V}$.

First calculation with the limits of DVC B:

$$\frac{49}{50} + \frac{39}{120} = 0,980 + 0,325 = 1,305$$

the result is exceeding 1 --> DVC C

and

$$\frac{91}{71} + \frac{39}{1,17 \times 120} = 1,282 + 0,278 = 1,560$$

the result is exceeding 1 --> DVC C

The rule for determination of DVC of the voltage is to select the highest DVC:

Result: --> this *working voltage* is *DVC C*.

A.6 The concept of protective means according to 4.4

A.6.1 General

Protection against electric shock shall be achieved by means of

- combination of *basic protection* according to 4.4.3 and *fault protection* according to 4.4.4, or
- means for *enhanced protection* according to 4.4.5.

A.6.2 Examples of the use of elements of protective means

Table A.1 provides examples of typical combinations of means for protection against electric shock.

The required grade of protection depends on

- the *DVC* of the *live parts* according to Table 2,
- the *insulation* requirement between *adjacent circuits* according to 4.4.7.2.1,
- the connection of conductive *accessible parts* to earth by *protective equipotential bonding* according to 4.4.4.2, and
- non conductive *accessible parts*.

As an alternative to *solid insulation*, a *clearance* according to Table 8, shown by L_1 and L_2 in Table A.1 may be provided.

In Table A.1, three cases are considered:

- Case a) – *Accessible parts* are conductive and are connected to earth by *protective equipotential bonding*
Basic insulation is required between *accessible parts* and the *hazardous live parts*. The relevant voltage is that of the *hazardous live parts* (see Table A.1, cells 1a, 2a, 3a).
- Cases b) and c) – *Accessible parts* are non-conductive (case b) or conductive but not connected to earth by *protective equipotential bonding* (case c)

The required *insulation* is as follows.

- *Double insulation* or *reinforced insulation* between *accessible parts* and *hazardous live parts* of *DVC C*. The relevant voltage is that of the *live parts* (see Table A.1, cells 1b, 1c, 2b and 2c).
- *Supplementary insulation* between *accessible parts* and *hazardous live parts* of circuits of *DVC C* which are separated by *basic insulation* from another *adjacent circuits* of *DVC C*. The relevant voltage is the highest voltage of the *adjacent circuits* (see Table A.1, upper cells 3b, 3c).

NOTE 1 See also Table A.1, footnote b.

NOTE 2 Table A.1 does not show any *insulation* requirement for *DVC As* and *DVC B*.

Table A.1 – Examples for protection against electric shock

Type of protection	Configuration		
	a Conductive accessible parts connected to earth by protective equipotential bonding	b Accessible parts not conductive	c Accessible parts conductive, but <u>NOT</u> connected to earth by protective equipotential bonding
1. Solid insulation			
2. Insulation totally or partially by air clearance			
3. Insulation for adjacent circuits: Circuit HP: lower voltage circuit; DVC C Circuit AC: higher voltage circuit; DVC C			
4. Requirements for openings in enclosures			
HP Hazardous live part	L_1 clearance for basic insulation	T test finger according to Figure M.2	
B basic insulation for circuit	L_2 clearance for reinforced insulation	Z supplementary insulation for circuit	
AC adjacent circuit	M conductive part	* also applies to plastic screws	
D double insulation for circuit	R reinforced insulation for circuit	F functional insulation for circuit	
I optional insulation less than B for other purposes than protection against electric shock.	S surface of PECS		
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 PECS.			
NOTE 2 In row 4, the insertion of the test finger is considered to represent the first fault.			
NOTE 3 This table shows examples only, and does not cover every situation.			
a Functional insulation is sufficient if the opening is covered during normal operation conditions. It shall not be possible to remove the cover without the use of a tool or key. If the opening is not covered during normal operating conditions, basic insulation is required.			
b When considering the insulation requirement Z from the adjacent circuit AC in row 3a, 3b and 3c, the insulation requirement from circuit HP from row 1 and row 2 shall be considered as well. The protection requirement shall be the higher of the requirement for HP (reinforced insulation from HP) from row 1 or 2 and the requirement for AC (supplementary insulation from AC) in row 3.			

Annex B (informative)

Considerations for the reduction of the *pollution degree*

B.1 General

The objective of Annex B is to give an overview of what factors should be considered to reduce the *pollution degree* for electrical equipment in order to allow for a reduction of the *clearance* and *creepage distances*. As the means to be taken depend heavily on the nature of pollution, no comprehensive guidance can be given on how to achieve the goal of a lower *pollution degree* for the equipment.

B.2 Factors influencing the *pollution degree*

The following factors influence the *pollution degree*.

- Pollution
 - no pollution;
 - dry non-conductive pollution;
 - dry non-conductive pollution that can become conductive, when moist;
 - conductive pollution.

NOTE Pollution can be external or can be internally generated or present internally at the conclusion of manufacturing.

- Moisture
 - no or low moisture without condensation;
 - temporary condensation;
 - permanent moisture;
 - rain or snow.

B.3 Reduction of influencing factors

Following are some means that may be applied to reduce the influencing factors. The described means to meet the requirements are only illustrative. There may be other possibilities.

- Coating (see 4.4.7.6).
- IP5X (dust test according to IEC 60529:1989, IEC 60529:1989/AMD1:1999 and IEC 60529:1989/AMD2:2013).
- IPX4 to IPX8 depending on the environment.

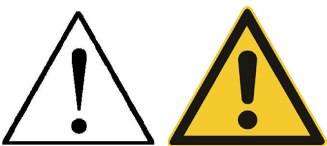
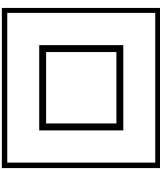
When hermetically sealing an electrical equipment, it should be ensured that the moisture level will be at the required low level when resealing the equipment after opening the *enclosure* (e.g. for service).

Annex C (informative)

Symbols referred to in this document

C.1 Symbols used

Table C.1 – Symbols used

Symbol	Standard reference	Description	Subclauses
	IEC 60417-5019: 2006-08	<i>PE conductor terminal</i>	4.4.4.3.2, 6.3.9.2.2
	IEC 60417-5017: 2006-08	<i>PE conductor terminal</i>	4.4.4.3.2, 6.3.9.2.2
	IEC 60417-5018: 2011-07	Functional earthing terminal	4.4.6.3, 6.3.9.2.3
	ISO 7010-W001: 2011-05 or ISO 7000-0434: 2006-12	Caution, refer to documentation	4.4.4.3.3, 4.4.8, 6.3.9.4, 6.3.9.5
	IEC 60417-5172: 2003-02	<i>Class II equipment</i> (double insulated)	4.4.6.3, 6.3.9.2.3
	IEC 60417-5180: 2003-02	<i>Class III equipment</i>	4.4.6.4, 6.3.9.2.4
	IEC 60417-6042: 2010-11 or ISO 7010-W012: 2011-05	Caution, risk of electric shock	4.4.9, 6.5.2

Symbol	Standard reference	Description	Subclauses
	IEC 60417-5041: 2002-10 or ISO 7010-W017: 2011-05	Caution, hot surface	4.6.4.3, 6.4.4, 6.3.5
	IEC 60417-6042: 2010-11 or ISO 7010-W012: 2011-05 and IEC 60417-5416: 2015-04 and indicating the time	Caution, risk of electric shock Capacitor discharge time	4.4.9, 6.5.2
	IEC 60417-6042: 2010-11 or ISO 7010-W012: 2011-05 and IEC 60417-5016: 2002-10 and an indication that the fuse is in the neutral N	Caution, Double pole/neutral fusing	4.3.4, 6.5.6
	ISO 7010-M002: 2011-05	The user shall read the documentation	6.1

C.2 Determination of contrast

Where the colour system of ISO 7010 for safety and warning signs is not used, the relative contrast can be calculated using the light reflectance value (LRV) of each of the background and the text/symbol colour using the following formula from ISO 21542:2021:

$$C = 100 \times \frac{Y_1 - Y_2}{Y_1}$$

where

Y_1 is the LRV of the lighter colour;

Y_2 is the LRV of the darker colour.

NOTE 1 The above formula is the Weber contrast formula.

An acceptable visual contrast is achieved, if

- the lighter colour has an LRV of at least 40, and

- the relative contrast is minimum 80 %.

NOTE 2 The lighter colour LRV of 40 is taken as an approximation of RAL 1003³ (signal yellow) as required by ISO 3864-4:2011, which has an LVR of approximately 48.

NOTE 3 The relative contrast requirement is taken from the recommendation of ISO 3864-4:2011, Clause D.2.

EXAMPLE 1

White (RAL 9010, pure white): $Y_1 = 84$

Black (RAL 9004, signal black): $Y_2 = 2$

Relative contrast = $((84 - 2) / 84) = 98 \%$

EXAMPLE 2

Yellow (RAL 1003, signal yellow): $Y_1 = 48$

Black (RAL 9004, signal black): $Y_2 = 2$

Relative contrast = $((48 - 2) / 48) = 96 \%$

EXAMPLE 3

Blue (RAL 5012, signal blue): $Y_1 = 21$

White (RAL 9010, pure white): $Y_2 = 84$

Relative contrast = $((84 - 21) / 84) = 75 \%$

NOTE 4 Any other *system* than RAL can be suitable as well, provided that the light reflective values are measured in the same system. Also, within the RAL system, the light reflective values can have slightly different values depending on the source used.

³ RAL is an example of a colour order *system* available commercially. This information is given for the convenience of users of this document and does not constitute an endorsement by IEC of this product.

Annex D (normative)

Evaluation of *clearance* and *creepage distances*

D.1 Measurement

Clearance and *creepage distances* shall be evaluated as illustrated in the examples contained in Figure D.1 to Figure D.15.

For paths consisting of parts with different *pollution degrees*, as for example when including a cemented joint that provides protection type 1 (IEC 60664-3:2016) in a *pollution degree* 2 environment, the *clearance* and *creepage distances* are determined according to Table 8 and Table 9, using the following rules.

In general, a *creepage distance* may be split in several portions of different materials and/or have different *pollution degrees* if one of the *creepage distances* is dimensioned to withstand the total voltage or if the total distance is dimensioned according to the material having the lowest CTI and the highest *pollution degree*.

For *creepage distances* for *functional insulation* on PWB and *components* assembled on PWB, designed for *pollution degree* 1 and 2, the sum of the determining voltages of each part of the path shall not be less than the determining voltage of the circuits involved. The distances for each portion of the *creepage distance* under consideration shall comply with the minimum distances according to Table D.1.

D.2 Relationship of measurement to *pollution degree*

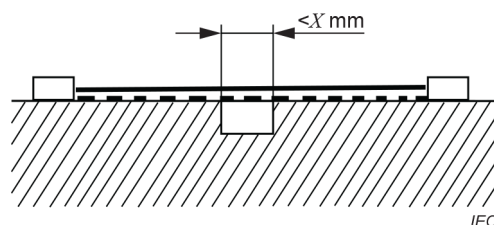
The "X" values are a function of *pollution degree* and shall be as specified in Table D.1. If the associated permitted *clearance* is less than 3 mm, the X value is one third of the *clearance*.

Table D.1 – Width of grooves by *pollution degree*

<i>Pollution degree</i>	X value
	mm
1	0,25
2	1,0
3	1,5

D.3 Examples

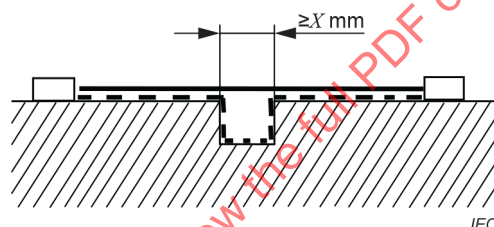
In the examples showed in Figure D.1 to Figure D.14 below, *clearance* and *creepage distance* are denoted as follows:



Condition: The path under consideration includes a parallel, diverging or converging-sided groove of any depth with a width less than X mm.

Rule: *Clearance* and *creepage distance* are measured directly across the groove as shown.

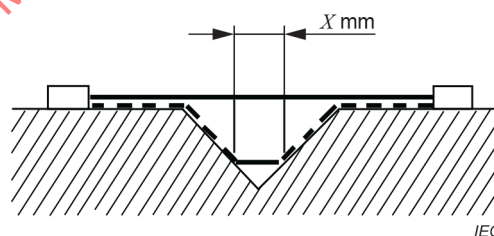
Figure D.1 – Example of measurements including a groove



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. Path for *creepage distance* follows the contour of the groove.

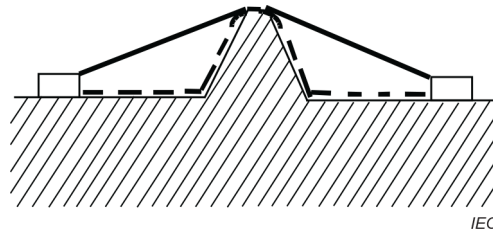
Figure D.2 – Example of measurements including a groove



Condition: Path under consideration includes a V-shaped groove with a width greater than X mm.

Rule: *Clearance* is the "line of sight" distance. Path for *creepage distance* follows the contour of the groove but "short-circuits" the bottom of the groove by X mm link.

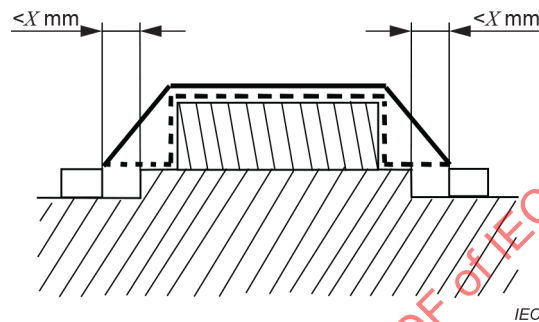
Figure D.3 – Example of measurements including a groove



Condition: Path under consideration includes a rib.

Rule: *Clearance* is the shortest air path over the top of the rib. Path for *creepage distance* follows the contour of the rib.

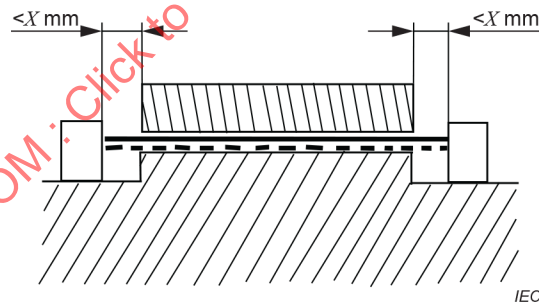
Figure D.4 – Example of measurements including a rib



Condition: Path under consideration includes a cemented joint that provides protection of type 2 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.

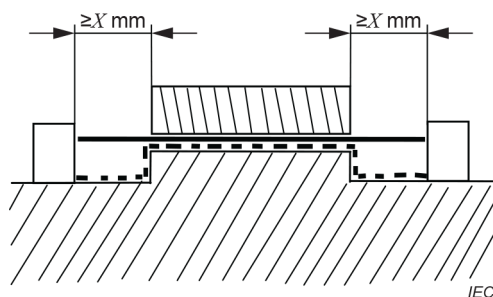
Figure D.5 – Example of measurements providing protection of type 2



Condition: Path under consideration includes an uncemented joint or a cemented joint that provides protection of type 1 with grooves less than X mm wide on each side.

Rule: *Clearance and path for creepage distance* is the "line of sight" distance shown.

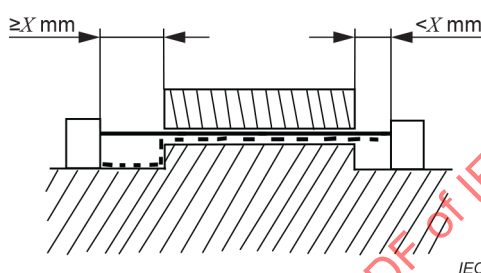
Figure D.6 – Example of measurements providing protection of type 1



Condition: Path under consideration includes an uncemented joint or a cemented joint that provides protection of type 1 with grooves equal to or more than X mm wide on each side.

Rule: *Clearance* is the "line of sight" distance. Path for *creepage distance* follows the contour of the grooves.

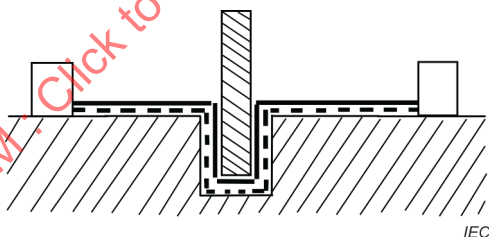
Figure D.7 – Example of measurements providing protection of type 1



Condition: Path under consideration includes an uncemented joint or a cemented joint that provides protection of type 1 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 path for *creepage distance* are as shown.

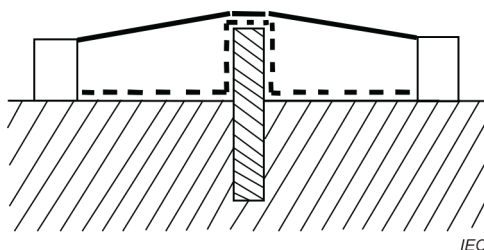
Figure D.8 – Example of measurements providing protection of type 1



Condition: Path under consideration includes an uncemented barrier or a cemented joint that provides protection of type 1 when path under the barrier is less than the path over the barrier.

Rule: *Clearance* and path for *creepage distance* follow the contour under the barrier.

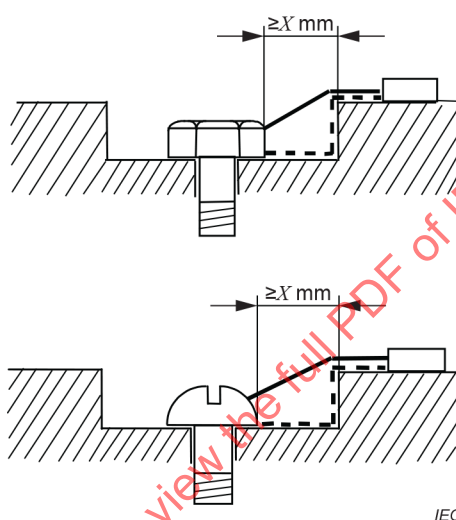
Figure D.9 – Example of measurements including a barrier (cemented joint)



Condition: Path under consideration includes an uncemented or a cemented 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. Path for *creepage distance* follows the contour of the barrier.

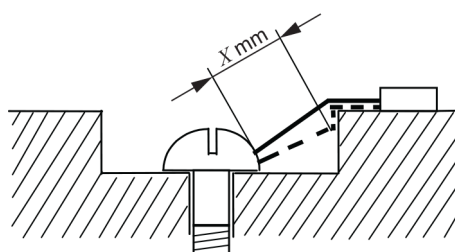
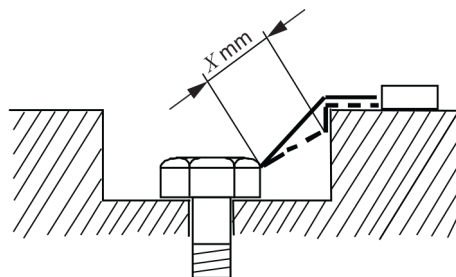
Figure D.10 – Example of measurements including a barrier



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. Path for *creepage distance* follows the contour of the surfaces.

Figure D.11 – Example of measurements including a gap

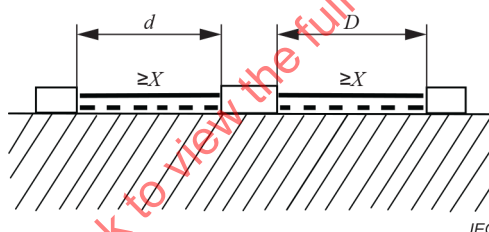


IEC

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. Path for *creepage distance* follows the contour of the surfaces but "short-circuits" the bottom of the recess by X mm link.

Figure D.12 – Example of measurements including a gap

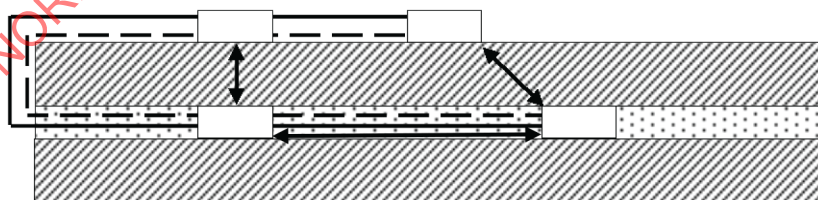


IEC

Condition: Path under consideration includes an isolated part of conductive material.

Rule: *Clearance* and path for *creepage distance* are the sum of d plus D . Where the value of d or D is smaller than X , it shall be considered as zero.

Figure D.13 – Example of measurements including an isolated conductive part



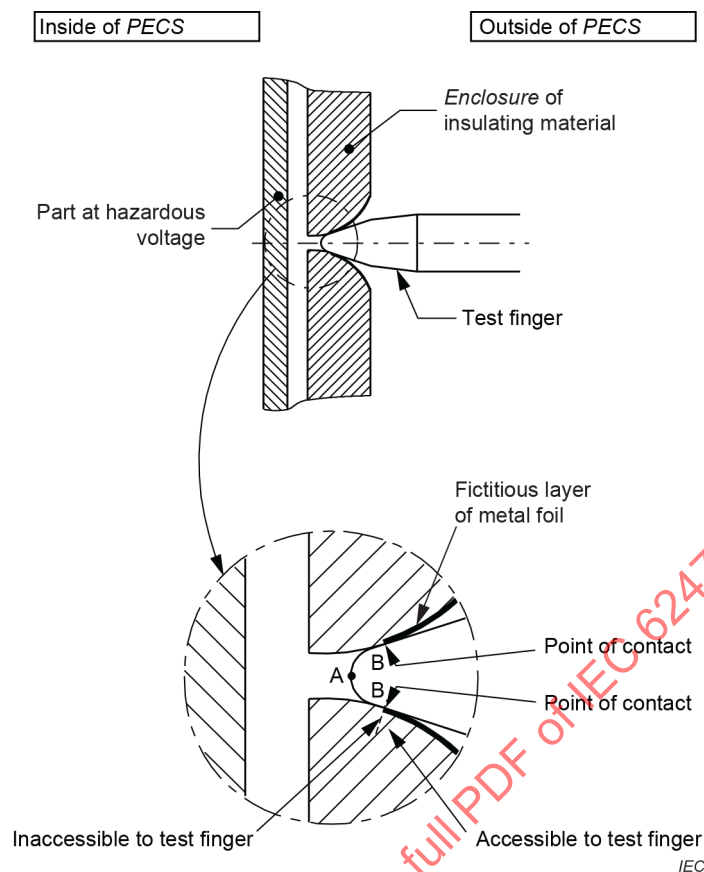
Distance through solid insulation

IEC

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 either as *creepage distance* for *pollution degree* 1 and *clearance* as in air (see 4.4.7.8.4.2 option a)) or *solid insulation* (see 4.4.7.8.4.2 option b))

Figure D.14 – Example of measurements in inner layer of PWB



Point A is used for determining the air gap to a part inside the *enclosure*.

Point B is used for measurements of *clearance* and *creepage distance* from the outside of an *enclosure* of insulating material to a part inside the *enclosure*.

Figure D.15 – Example of measurements on *enclosure* of insulating material to a part inside

Annex E (normative)

Altitude correction for *clearances*

E.1 Correction factor for *clearances* at altitudes above 2 000 m

Dimensioning of *clearances* at altitudes between 2 000 m and 20 000 m according to 4.4.7.4.3 in combination with the correction factor from Table E.1.

Table E.1 – Correction factor for *clearances* at altitudes between 2 000 m and 20 000 m

Altitude m	Normal barometric pressure kPa	Multiplication factor for <i>clearances</i>
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
Source: IEC 60664-1:2020, Table A.2.		
Linear interpolation is permitted. See IEC 60664-1:2020, 5.2.3.4.		

E.2 Test voltages for verifying *clearances* at different altitudes

Since the withstand voltage of air depends on the air pressure and thus on the altitude of the test laboratory above sea level, the test voltage (see 5.2.3.2 and Table 28 and Table 29) shall be corrected according to Table E.2.

Table E.2 – Test voltages for verifying *clearances* at different altitudes

Impulse withstand voltage in kV				
Altitude of the testing laboratory				
2 000 m ^a	1 000 m	500 m	200 m	0 m
0,33	0,36	0,37	0,38	0,39
0,50	0,54	0,56	0,57	0,58
0,80	0,87	0,90	0,92	0,93
1,50	1,6	1,7	1,7	1,8
2,50	2,8	2,9	3,0	3,1
4,00	4,4	4,7	4,8	4,9
6,00	6,7	7,0	7,2	7,4
8,00	8,9	9,4	9,6	9,8
12,00	13	14	15	15
20,00	22	24	24	25
40,00	45	47	49	50
60,00	67	71	73	75
75,00	84	89	92	94
80,00	90	95	98	100
95,00	106	112	116	119
100,00	112	118	122	125
125,00	140	148	153	157
145,00	163	172	178	182
Linear interpolation is permitted. See IEC 60664-1:2020, 5.2.3.4. When testing <i>clearances</i>, associated <i>solid insulation</i> will also be subjected to the same impulse test voltage. As the impulse test voltage is increased with respect to the rated <i>impulse withstand voltage</i>, <i>solid insulation</i> shall be designed accordingly. This results in an increased <i>impulse withstand voltage</i> capability of the <i>solid insulation</i>. NOTE 1 Explanations concerning the influencing factors (air pressure, altitude, temperature, humidity) with respect to electric strength of <i>clearances</i> are given in IEC 60664-1:2020, 6.2.2.1.4. NOTE 2 Values given above have been rounded from the calculation in IEC 60664-1:2020, 6.2.2.1.4. ^a Values from Table 7				

The voltage values of Table E.2 apply for the verification of *clearances* only.

Annex F (normative)

Clearance and creepage distance determination for frequencies greater than 30 kHz

F.1 General influence of the frequency on the withstand characteristics

The *insulation* requirement for *clearance*, *creepage distances* and *solid insulation* as mentioned in 4.4.7 are given for frequencies up to and including 30 kHz. For higher frequencies, a reduction of the withstand capability of any type of *insulation* needs to be expected and taken into account for dimensioning.

For frequencies greater than 30 kHz and up to 10 MHz, IEC 60664-4:2005 shall be applied together with IEC 60664-1:2020, for the design of *clearance* and *creepage distances* as well as *solid insulation*.

Annex F provide detailed information for the design of *clearance*, *creepage distances* and *solid insulation* based on the requirement from IEC 60664-4:2005.

The following situation needs to be considered for the design:

- *clearance* for inhomogenous fields (see F.2.2);
- *clearance* for approximately homogenous fields (see F.2.3);
- *creepage distance* (see F.3);
- *solid insulation* (see F.4).

The result of the investigation for frequencies above 30 kHz shall be compared to the investigation in 4.4.7 and the greater value of the two investigations shall be chosen.

F.2 Clearance

F.2.1 General

The withstand voltage capability within the scope of IEC 60664-4:2005 will only be influenced by the frequency for periodic voltages. For transient overvoltages, dimensioning according to 4.4.7.4 shall be used.

For frequencies exceeding 30 kHz within the scope of IEC 60664-4:2005, the withstand voltage capability of *clearances* with homogenous and approximately homogenous field distribution can be reduced by up to 25 %.

The requirement for *clearance* will depend on the field distribution of the *insulation* under investigation. F.2.2 will give the requirement for *clearance* for inhomogenous fields and F.2.3 provide design criteria for *clearance* for approximately homogenous fields.

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.

The result of the investigation of *clearance* for frequencies above 30 kHz shall be compared to the investigation in 4.4.7.4 and the greater value of the two investigations shall be chosen. See Figure F.1.

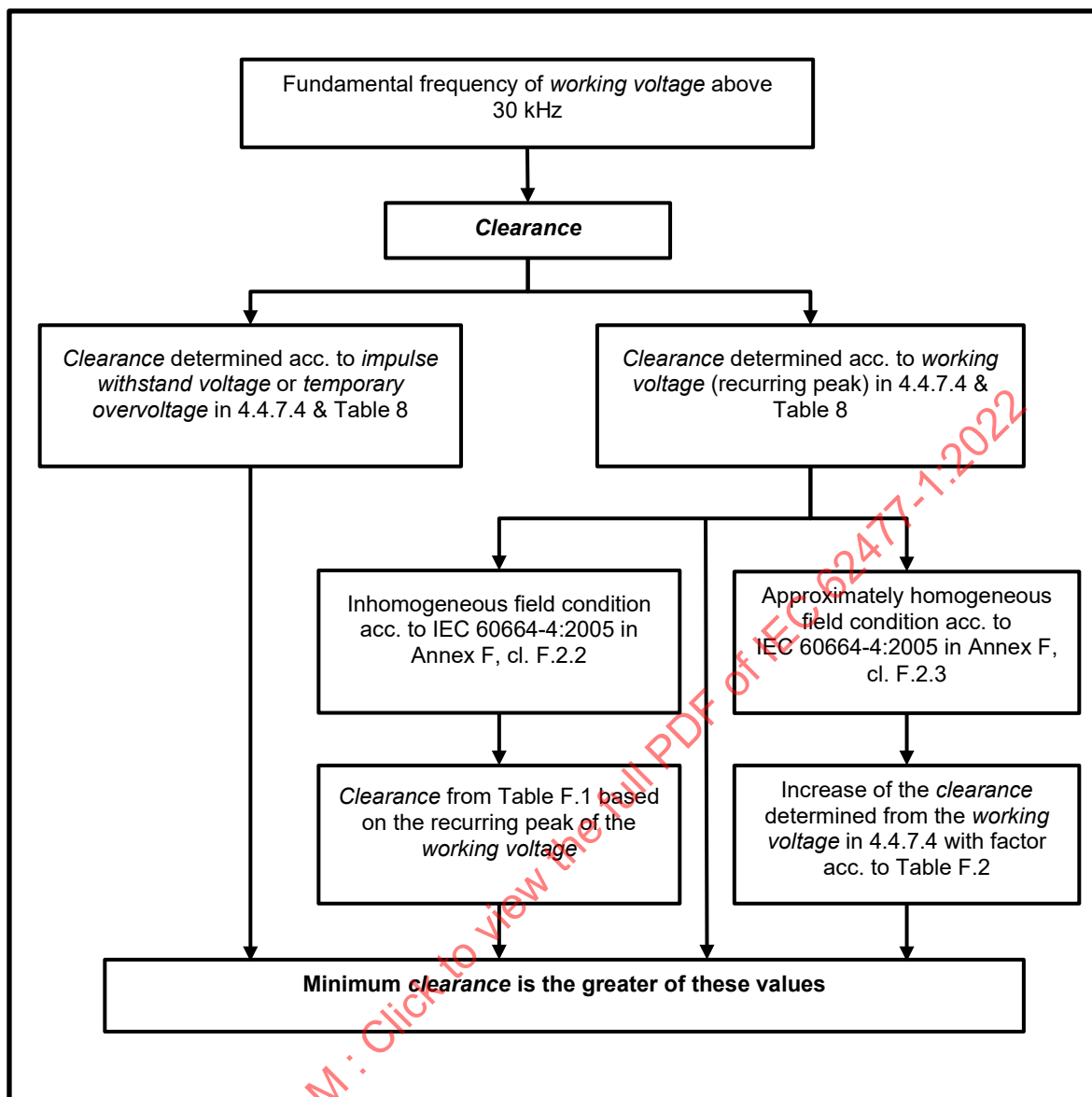


Figure F.1 – Diagram for dimensioning of clearances

F.2.2 Clearance for inhomogeneous fields

For frequencies exceeding 30 kHz, an inhomogeneous field is considered to exist when the radius of curvature of the conductive parts is less than 20 % of the *clearance*. For inhomogeneous field distribution, the reduction of the withstand voltage capability of *clearances* can be much higher.

Dimensioning for inhomogeneous field distribution is done for the required withstand voltage of the *clearance* according to the values in Table F.1. No withstand voltage test other than the requirement in 4.4.7 is required.

Table F.1 – Minimum values of *clearances* in air at atmospheric pressure for inhomogeneous field conditions

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
Source: IEC 60664-4:2005, Table 1.	
^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.	

The dimensioning for inhomogeneous field and high voltage stress (> 1 kV condition) leads to impractical distances. It is therefore preferable to choose a design improving the field distribution (approximately homogeneous field distribution).

F.2.3 Clearance for approximately homogenous fields

For *clearance* with approximately homogenous fields conditions, the *clearance* found in Table 8, where the *clearance* is determined on the *working voltage* (recurring peak) (Table 8, column 2 or column 3), is increased by a multiplication factor depending on the fundamental frequency. The multiplication factors are indicated in Table F.2.

Table F.2 – Multiplication factors for *clearances* in air at atmospheric pressure for approximately homogeneous field conditions

Fundamental frequency kHz	Multiplication factor
$30 < f_{\text{fundamental}} \leq 500$	1,05
$500 < f_{\text{fundamental}} \leq 1\,000$	1,10
$1\,000 < f_{\text{fundamental}} \leq 2\,000$	1,20
$2\,000 < f_{\text{fundamental}} \leq 3\,000$	1,25

NOTE 1 The multiplication factors are determined based on calculations as per IEC 60664-4:2005, 4.3.3. More precise calculation can be determined using the formula in IEC 60664-4:2005, 4.3.3.

NOTE 2 Circuits where the *clearance* is designed based on the *impulse withstand voltage* (Table 8, column 1), will normally not be affected by these considerations.

The dimensioned *clearance*, for approximately homogenous field conditions, is applicable for frequencies above the critical frequency calculated by means of the following formula taking into account the new distance from Table F.2:

$$f_{\text{crit}} \approx \frac{0,2}{d} \left(\frac{\text{MHz}}{\text{mm}} \right)$$

F.3 Creepage distance

For frequencies of the voltage greater than 30 kHz, in addition to tracking, thermal effects need to be taken into account with respect to the withstand capability of *creepage distances*. Dimensioning is performed both for the required RMS withstand voltage of the *creepage distance* according to the values in Table 9 and for the required peak withstand voltage according to the values in Table F.3. This peak withstand voltage is the highest value of any periodic peak of the voltage across the *creepage distance*. The greater of the distances is applicable. The dimensioning according to Table F.3 is applicable for all insulating materials which can deteriorate due to thermal effects. This includes typical base materials for printed circuit boards made from epoxy resin. For materials which cannot deteriorate due to thermal effects and where no tracking needs to be expected, dimensioning according to the *clearance* requirements, as described in 4.4.7.5, is sufficient. See Figure F.2.

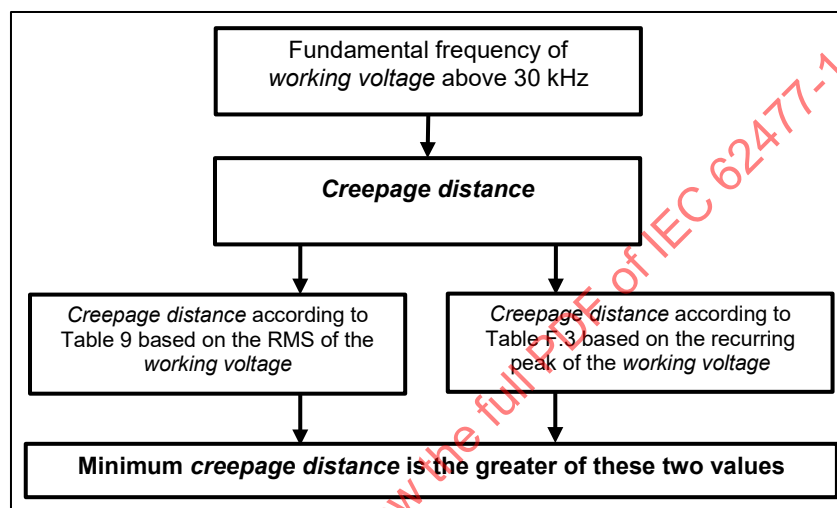


Figure F.2 – Diagram for dimensioning of *creepage distances*

Table F.3 – Minimum values of *creepage distances* for different frequency ranges

Peak voltage kV	<i>Creepage distance</i> ^{a b}						
	mm						
	30 kHz < $f \leq$ 100 kHz	$f \leq 0,2$ MHz	$f \leq 0,4$ MHz	$f \leq 0,7$ MHz	$f \leq 1$ MHz	$f \leq 2$ MHz	$f \leq 3$ 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	--	--	--	--	--	--

Source: IEC 60664-4:2005, Table 2.

^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 should be used.

^b Interpolation between columns is permitted.

F.4 Solid insulation

F.4.1 General

If *solid insulation* is used at frequencies above 30 kHz, heating effects and accelerated degradation will increase.

F.4.2 Approximately uniform field distribution without air gaps or voids

For *solid insulation* where uniform field distribution is present and no air gaps or voids are present in the *solid insulation*, the maximum field distribution shall be calculated as follows.

- For thick layers of *solid insulation* of $d_1 \geq 0,75$ mm, the peak value of the field strength E needs to be equal or less than 2 kV/mm.
- For thin layers of *solid insulation* of $d_2 \leq 30$ μ m, the peak value of the field strength needs to be equal or less than 10 kV/mm.
- For $d_1 > d > d_2$, Formula (F.1) is used for interpolation for a certain thickness d (see also Figure F.3):

$$E = \left(\frac{0,25}{d} + 1,667 \right) \left(\frac{\text{kV}}{\text{mm}} \right) \quad (\text{F.1})$$

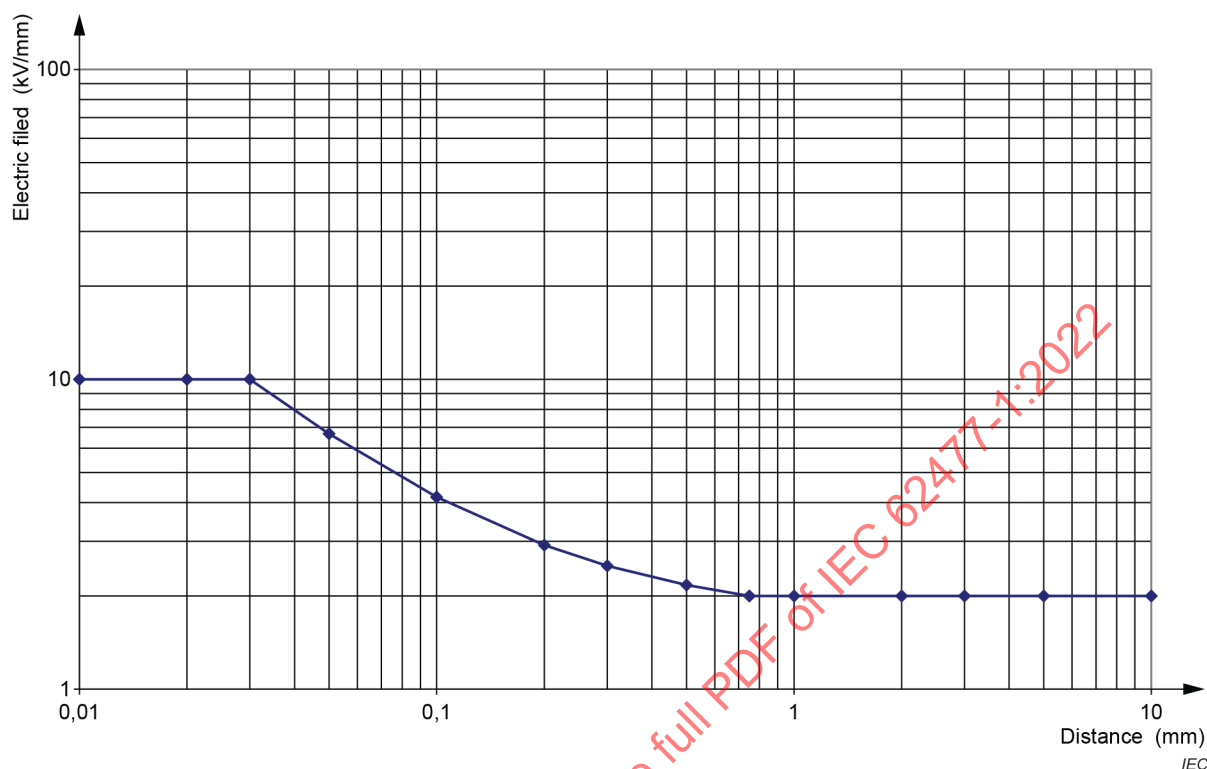


Figure F.3 – Permissible field strength for dimensioning of *solid insulation* according to Formula (F.1)

F.4.3 Other cases

The evaluation according to 4.4.7.8.1 for *solid insulation* shall be performed for *solid insulation* where

- uniform field distribution is not present,
- air gaps or voids are to be expected, or
- the field strength is above the calculation in F.4.2.

If possible, when *insulation* is being evaluated according to Annex F, the partial discharge test described in 5.2.3.5 should be performed using the frequency of the voltage that will be applied across this *insulation* under normal operating conditions. At the time of writing, such test equipment is not commonly available, and this standard allows test to be conducted at 50 Hz or 60 Hz. Product committees using this document as reference document should take this into consideration.

Annex G (informative)

Cross-sections of round conductors

Standard values of cross-section of round copper conductors are shown in Table G.1, which also gives the approximate relationship between ISO metric and AWG/MCM sizes.

Table G.1 – Standard cross-sections of round conductors

ISO cross-section mm ²	AWG/kcmil	
	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 kcmil	127
150	300 kcmil	152
185	350 kcmil	177
240	500 kcmil	253
300	600 kcmil	304
–	700 kcmil	355
–	750 kcmil	380
400	800 kcmil	405
–	900 kcmil	456
500	1 000 kcmil	506
630	1 250 kcmil	633
–	1 500 kcmil	760
800	–	–
–	1 750 kcmil	887
1 000	2 000 kcmil	1 013
NOTE The dash, when it appears, counts as a size when considering connecting capacity (see 4.11.10.2).		

Annex H (informative)

Guidelines for RCD compatibility

H.1 Selection of RCD type

Depending on the nature of the power supply, its *installation* and the type of RCD (type A, type AC, type B or type F – see IEC 60755:2017), *PECS* and RCD can be compatible or incompatible (see 4.4.8). If circuits which can cause current with a DC component to flow in the *PE conductor* during normal operating conditions or during failure are not separated from the environment by *enhanced protection*, it is considered that the *PECS* itself can cause smooth DC current and is therefore incompatible with RCDs of type AC, type A and type F.

The flow chart in Figure H.1 will help with the selection of the RCD type when using a *PECS* downstream of the RCD.

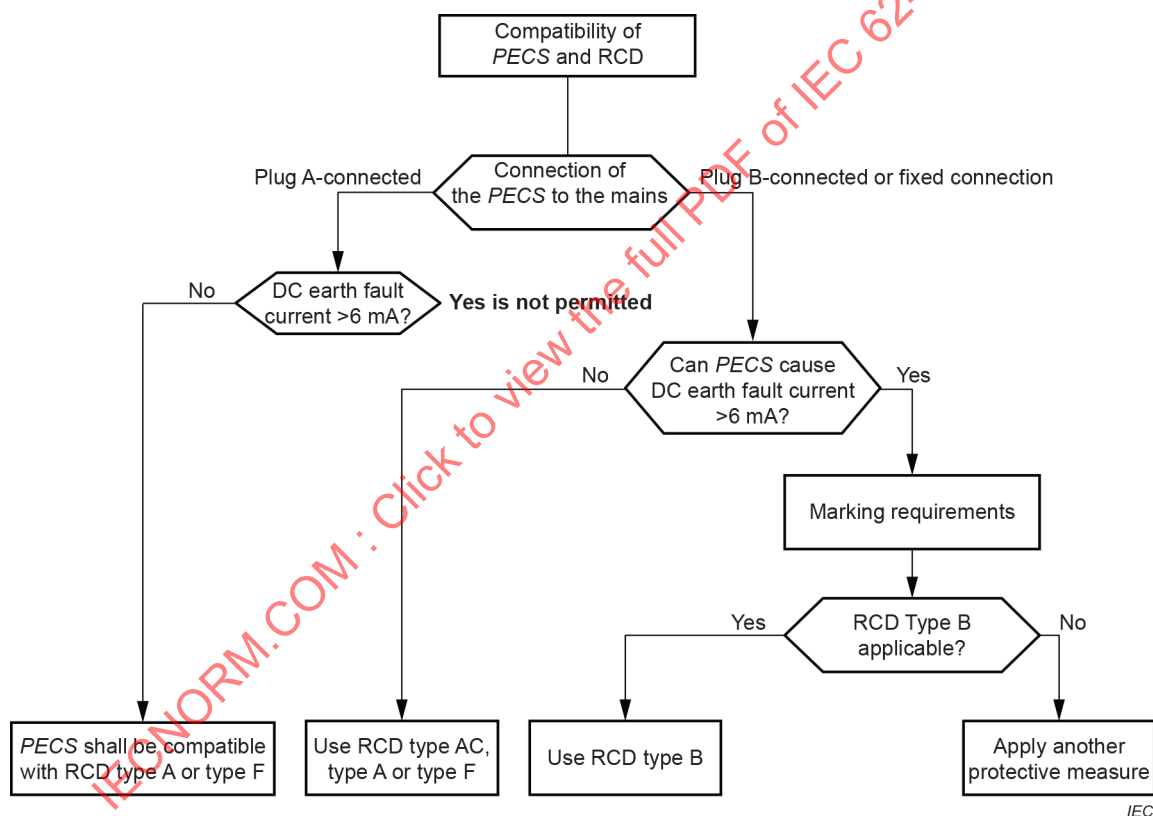


Figure H.1 – Flow chart leading to selection of the RCD type upstream of a *PECS*

RCDs suitable to be triggered by different waveforms of residual current are marked with the following symbols in Figure H.2, as defined in IEC 60755:2017, Table 2.

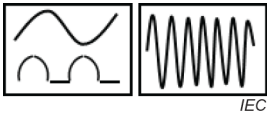
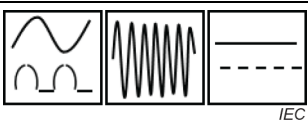
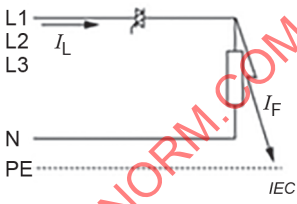
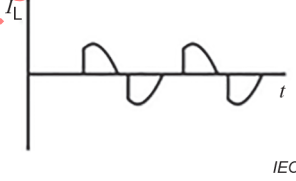
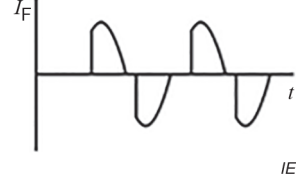
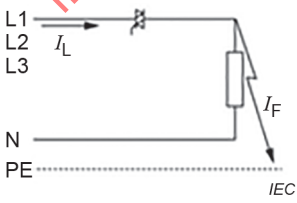
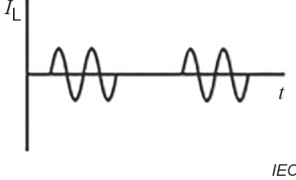
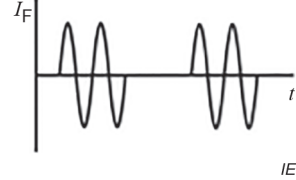
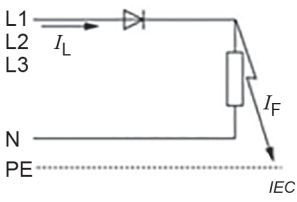
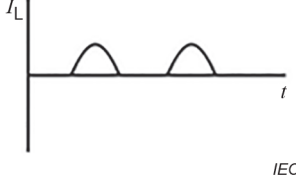
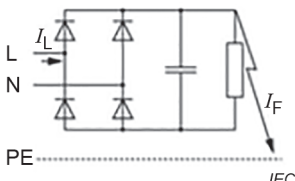
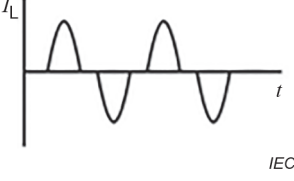
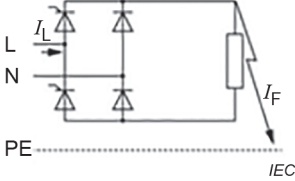
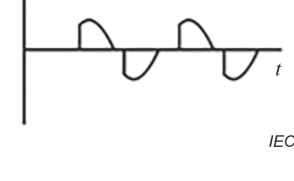
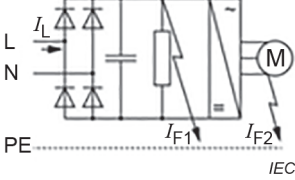
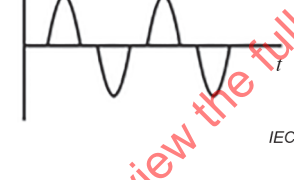
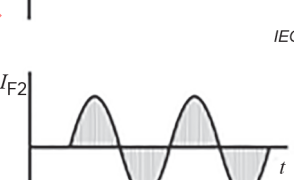
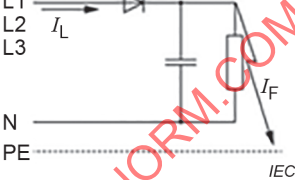
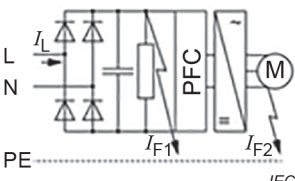
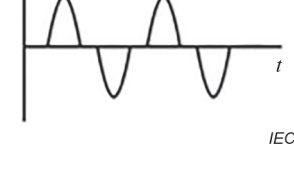
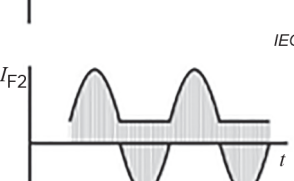
Symbol	RCD type and description
	Type AC (IEC 60417-6148:2012-01): – AC current sensitive; – suitable for Figure H.3, circuits 1 and 2.
	Type A (IEC 60417-6149:2012-01): – AC current sensitive and sensitive to residual pulsating direct currents superimposed on a smooth direct current limited to 6 mA; – suitable for Figure H.3, circuits 1 to 5.
	Type F (IEC 60417-6149:2012-01 + IEC 60417-6160:2012-04): – AC current sensitive and sensitive to residual pulsating direct currents superimposed on a smooth direct current limited to 10 mA; – suitable for Figure H.3, circuits 1 to 6.
	Type B (IEC 60417-6149:2012-01 + IEC 60417-6160:2012-04 + IEC 60417-6297:2014-11): – universal current sensitive; – suitable for Figure H.3, all circuits.

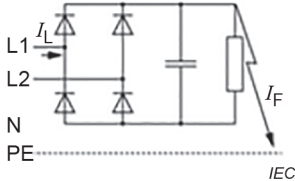
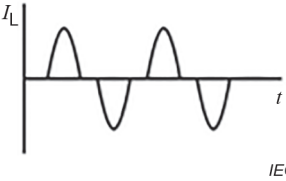
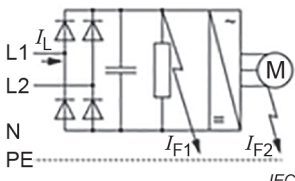
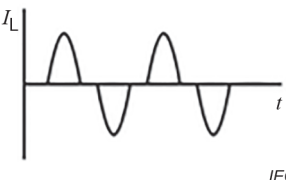
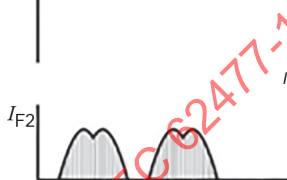
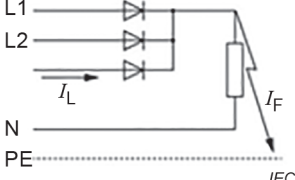
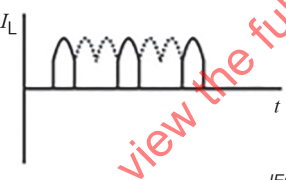
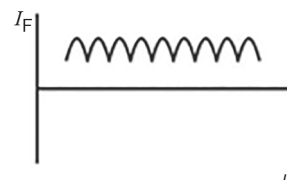
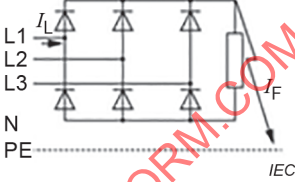
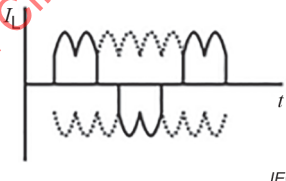
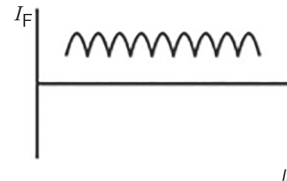
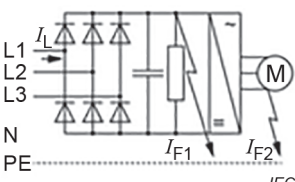
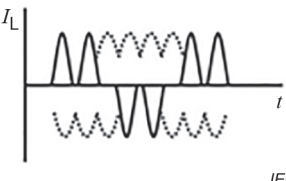
Figure H.2 – Symbols for marking depending on the type of RCD

H.2 Fault current waveforms

Figure H.3 shows typical earth fault current waveforms for star point grounded systems where a DC component can occur, for different circuit configurations, used to determine RCD compatibility.

	Circuit diagram with fault location	Shape of load current I_L	Shape of earth fault current I_F	RCD tripping characteristic
1	Phase control 			AC, A, F, B
2	Burst control 			AC, A, F, B
3	Single-phase 			A, F, B

	Circuit diagram with fault location	Shape of load current I_L	Shape of earth fault current I_F	RCD tripping characteristic
4	Two-pulse bridge 			A, F, B
5	Two-pulse bridge, half controlled 			A, F, B
6	Frequency inverter with two-pulse bridge 			F, B
7	Single-phase with smoothing 			B
8	Frequency inverter with two-pulse bridge and power factor correction (PFC) 			B

	Circuit diagram with fault location	Shape of load current I_L	Shape of earth fault current I_F	RCD tripping characteristic
9	Two-pulse bridge between phases 			B
10	Frequency inverter with two-pulse bridge between phases 			B
11	Three-phase star 			B
12	Six-pulse bridge 			B
13	Frequency inverter with six-pulse bridge 			B

Source: IEC 60755:2017, Annex B.

NOTE I_F symbolizes a fault current, not a short-circuit current.

Figure H.3 – Fault current waveforms in connections with power electronic converter devices

Annex I (informative)

Examples of overvoltage category reduction

I.1 General

Figure I.1 to Figure I.15 are intended as illustrations of the requirements in Table 3, Table 7, 4.4.7.2 and 4.4.7.3. They are not intended as indications of good design practice.

-----	protection to prevent persons from touching <i>hazardous live parts</i> , see 4.4.3.3
— — —	conductive <i>accessible parts</i> , see 4.4.4.1
— · — · — ·	<i>enhanced protection</i> , see 4.4.5.1
SPD	surge protection device (example of means to reduce transient overvoltages)
OVC	overvoltage category

I.2 Protection to the surroundings (see 4.4.7.2)

I.2.1 Circuits connected to *mains supply* (see 4.4.7.2.3)

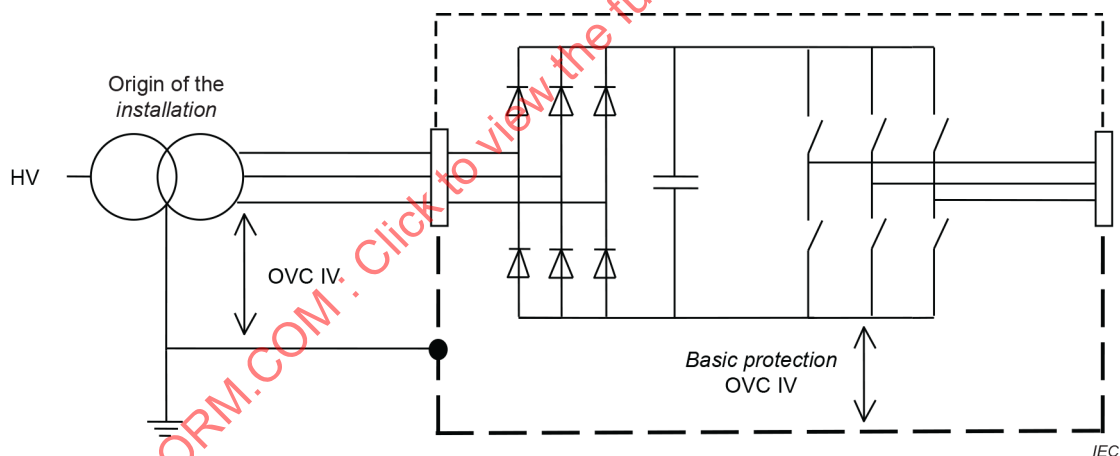


Figure I.1 – *Basic protection evaluation for circuits connected to the origin of the installation mains supply*

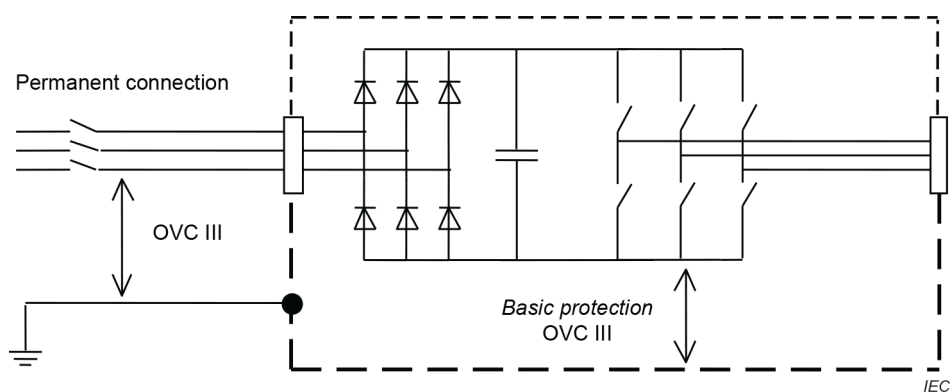


Figure I.2 – Basic protection evaluation for circuits connected to the *mains* supply

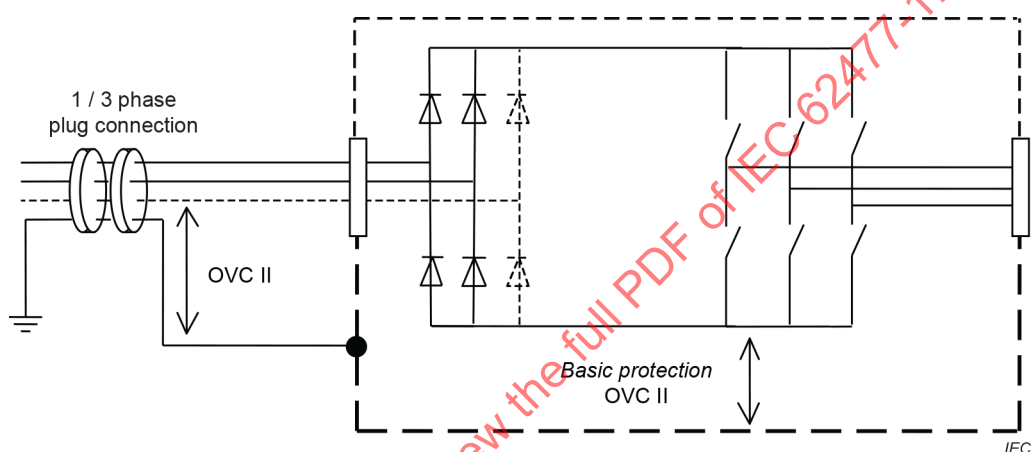


Figure I.3 – Basic protection evaluation for single and three phase *PECS* not permanently connected to the *mains* supply

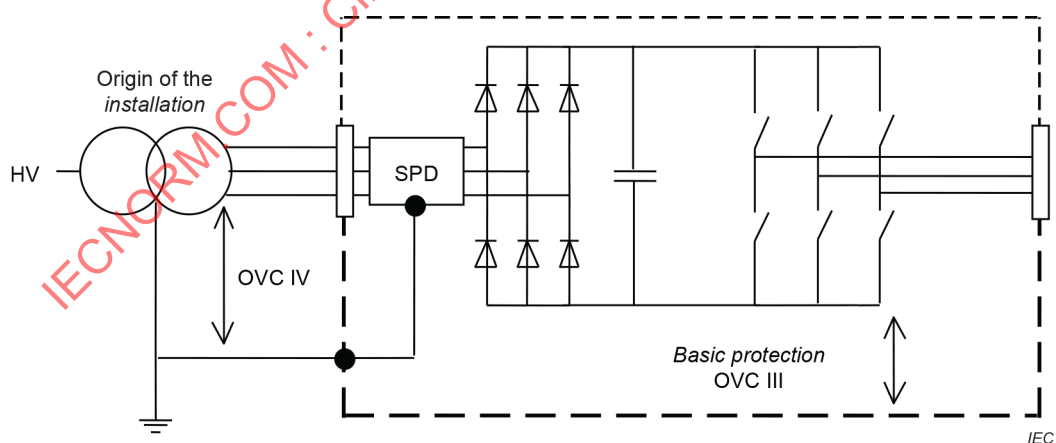


Figure I.4 – Basic protection evaluation for circuits connected to the origin of the *installation mains* supply where internal *SPDs* are used

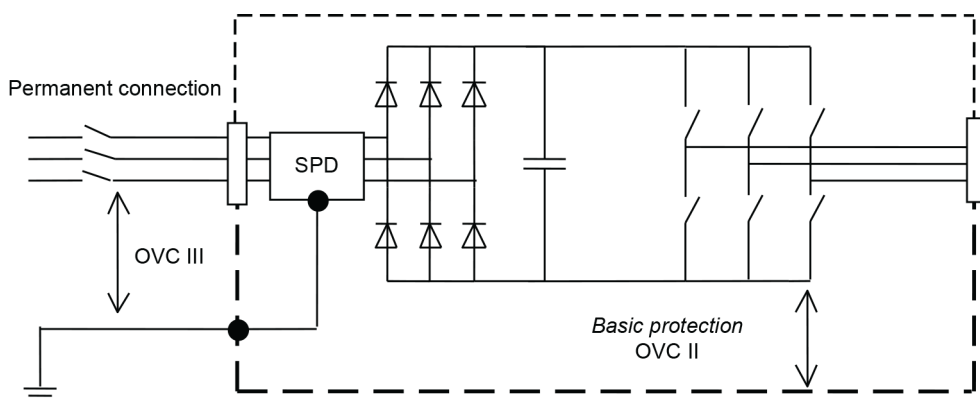


Figure I.5 – *Basic protection* evaluation for circuits connected to the *mains* supply where internal *SPDs* are used

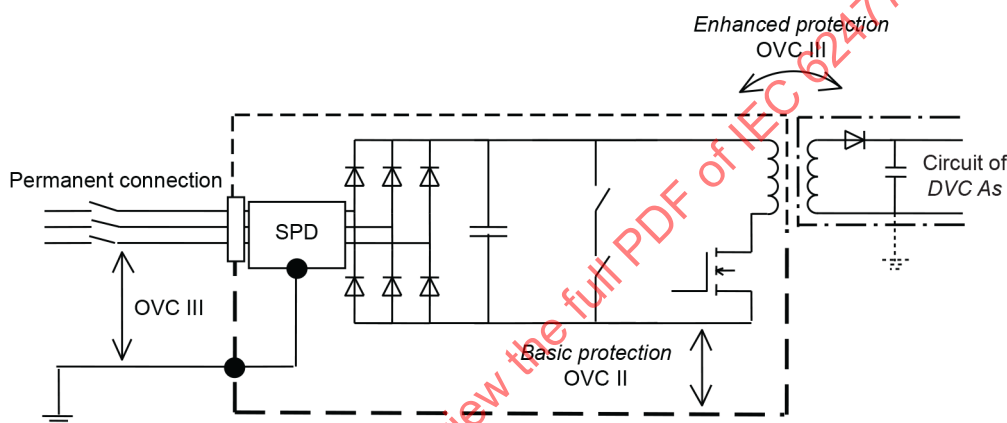


Figure I.6 – Example of *enhanced protection* evaluation for circuits connected to the *mains* supply where internal *SPDs* are used

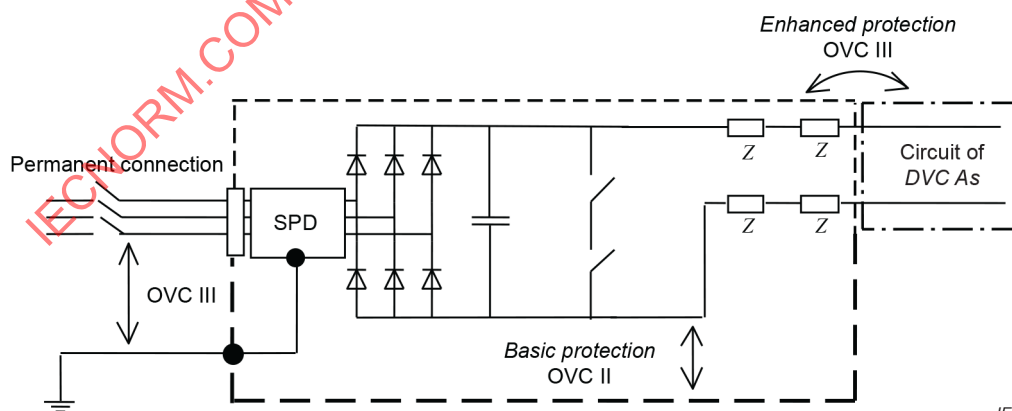


Figure I.7 – Example of *enhanced protection* evaluation for circuits connected to the *mains* supply where internal *SPDs* are used

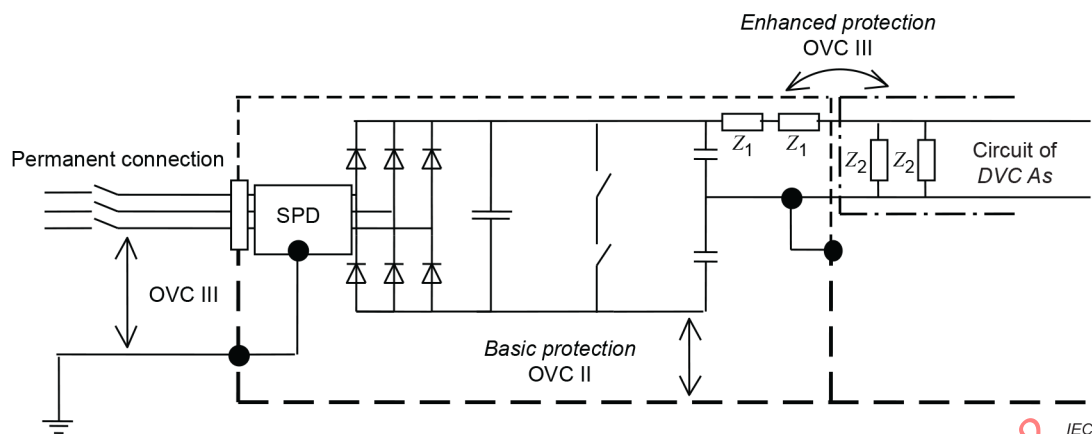


Figure I.8 – Example of *enhanced protection* evaluation for circuits connected to the *mains supply* where internal SPDs are used

NOTE For the requirements for *enhanced protection* in Figure I.6 to Figure I.8, see 4.4.7.2.3 and 4.4.7.2.4.

I.2.2 Circuits connected to the *non-mains supply* (see 4.4.7.2.4)

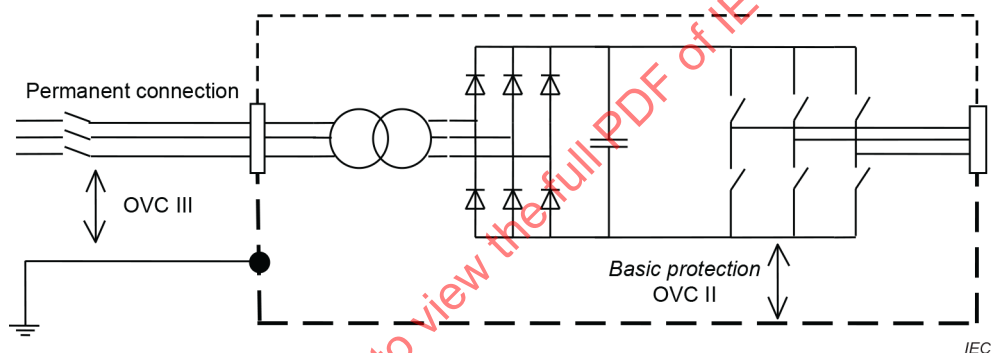


Figure I.9 – *Basic protection* evaluation for circuits connected to the *non-mains supply*

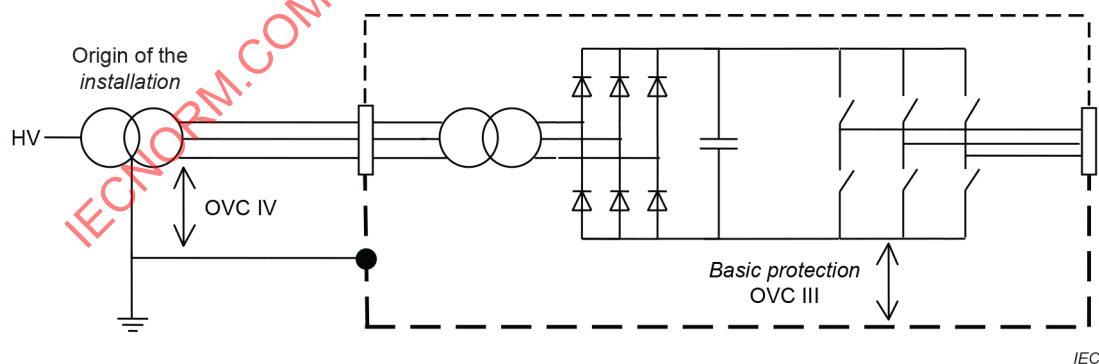
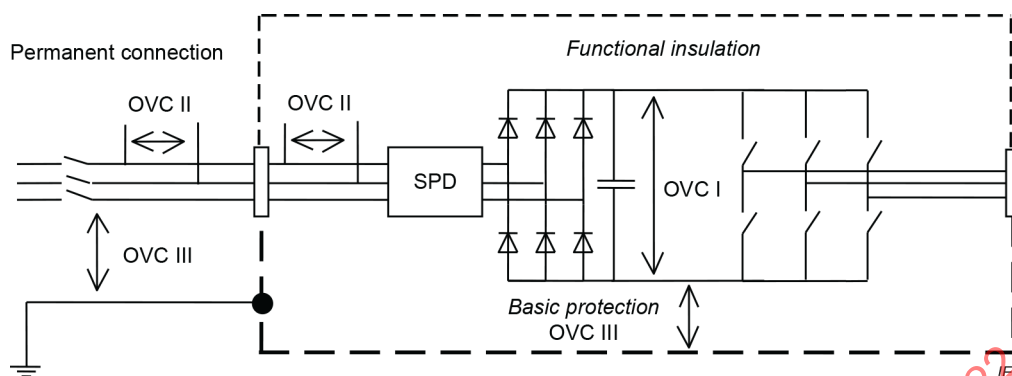


Figure I.10 – *Basic protection* evaluation for circuits connected to the the *origin of the installation non-mains supply*

I.2.3 Protection between circuits (see 4.4.7.2.7)

Insulation between two circuits shall be designed according to the circuit having the more severe requirement (see also Figure I.12).

I.3 Functional insulation (see 4.4.7.3)



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* can be further reduced by the circuit characteristics (see 4.4.7.3).

Figure I.11 – Functional insulation evaluation within circuits affected by external transients

I.4 Further examples

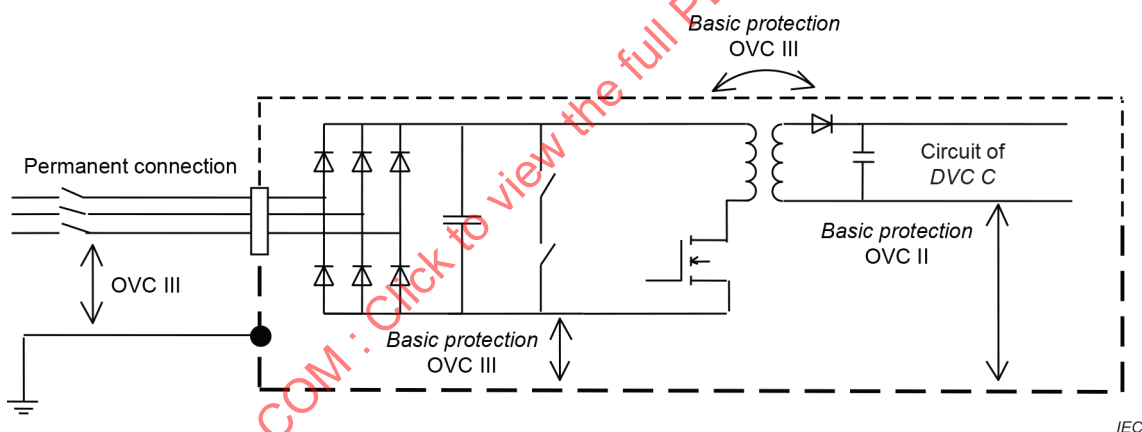


Figure I.12 – Basic protection evaluation for circuits connected to the mains supply

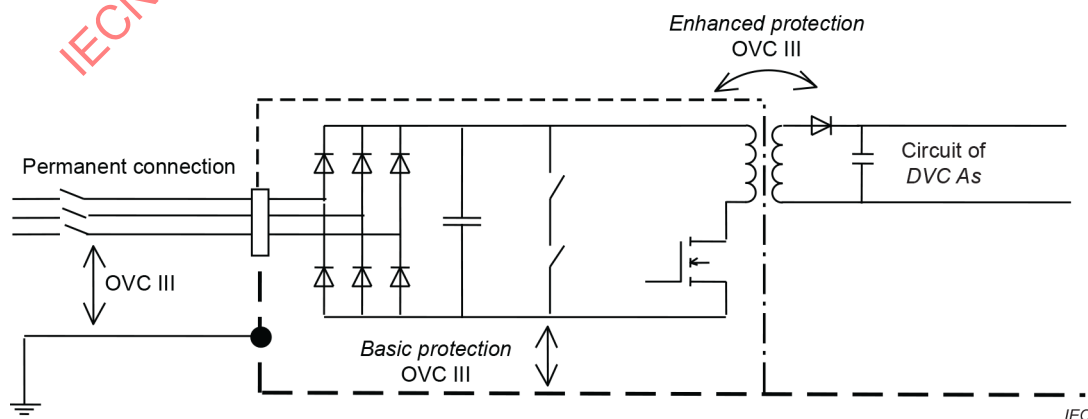
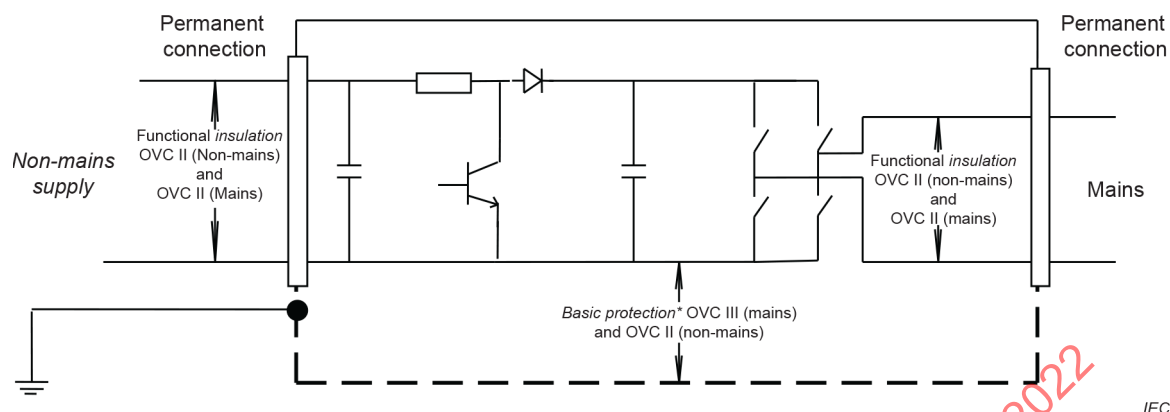


Figure I.13 – Insulation evaluation for accessible circuit of DVC As

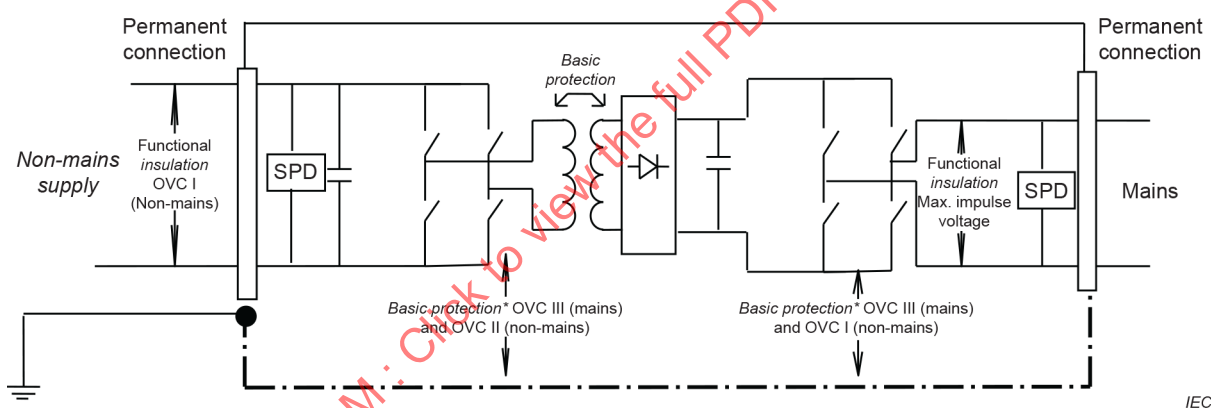
I.5 Circuits with multiple supplies (see 4.4.7.2.1)



Basic protection*: OVC III based on the *system voltage* of the *mains supply* and OVC II from *non-mains supply*. The most severe of these requirements applies. No reduction of the *impulse withstand voltage* or *overvoltage category* for *mains supply* or *non-mains supply*.

Functional insulation: OVC II based on the *mains supply system voltage* and OVC II from the *non-mains supply*. The most severe of these requirements applies.

Figure I.14 – PEC with *mains supply* and *non-mains supply* without galvanic isolation



Functional insulation: Functional insulation is based on max. *impulse withstand voltage* limited by circuit characteristic incl. SPD.

Basic protection*: OVC III based on the *system voltage* of the *mains supply* and OVC II from *non-mains supply*. The most severe of these requirements applies taking into account the reduction of the impulse voltage crossing the transformer. The SPD does not give any reduction for *basic insulation* because it is located between phases.

Figure I.15 – Transformer (basic protected) PEC inverter with SPD and transformer to reduce impulse voltage for functional and *basic protection*

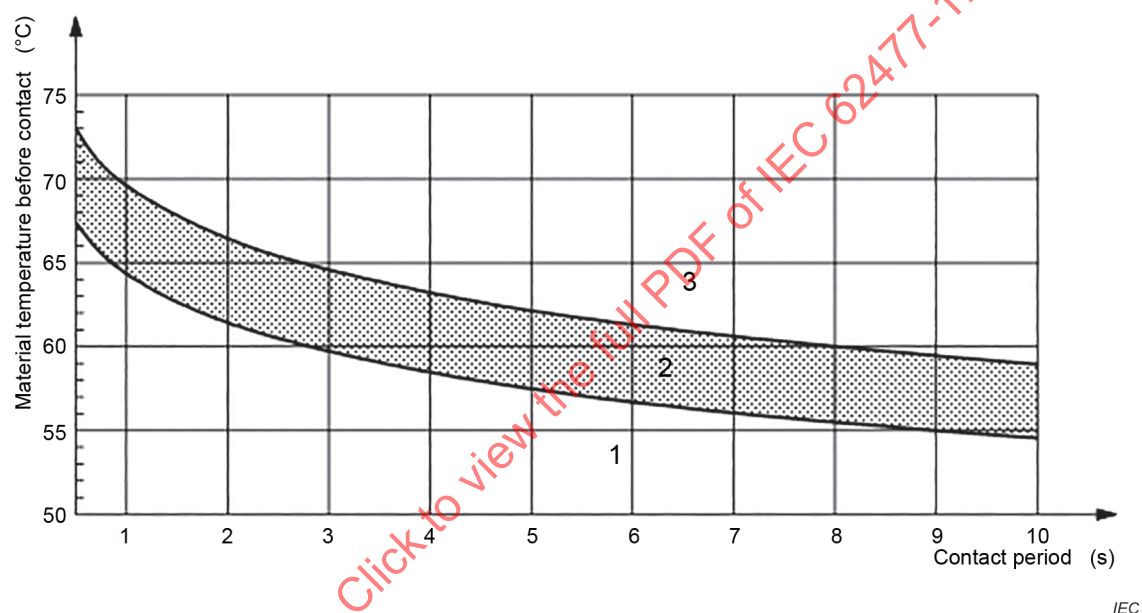
Annex J (informative)

Burn thresholds for touchable surfaces

J.1 General

Annex J contains information about burn thresholds for touchable surfaces for different materials. Figure J.1, Figure J.2, Figure J.3, Figure J.4 and Figure J.5 are copies of figures from IEC Guide 117:2010.

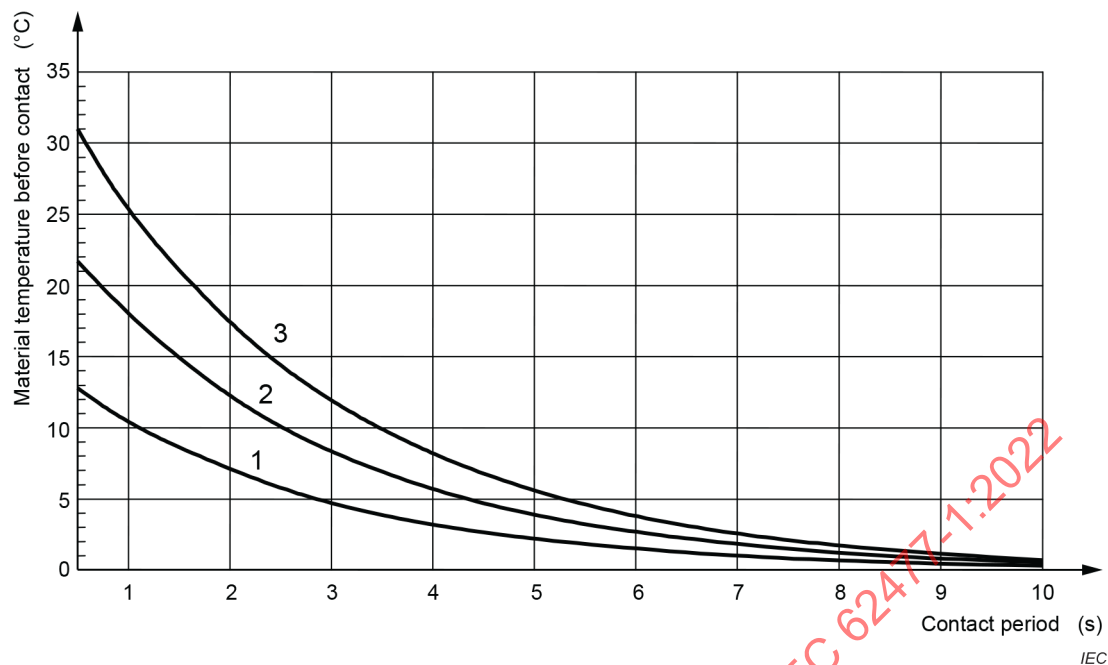
J.2 Burn thresholds



Key

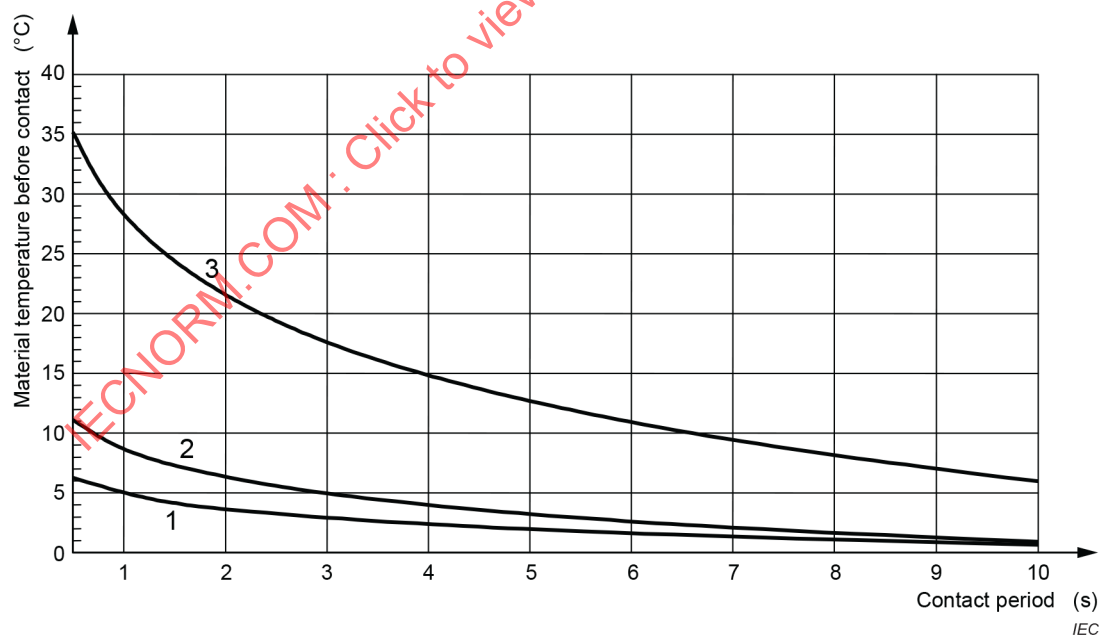
- 1 no burn
- 2 burn threshold
- 3 burn

Figure J.1 – Burn threshold spread when the skin is in contact with a hot smooth surface made of bare (uncoated) metal

**Key**

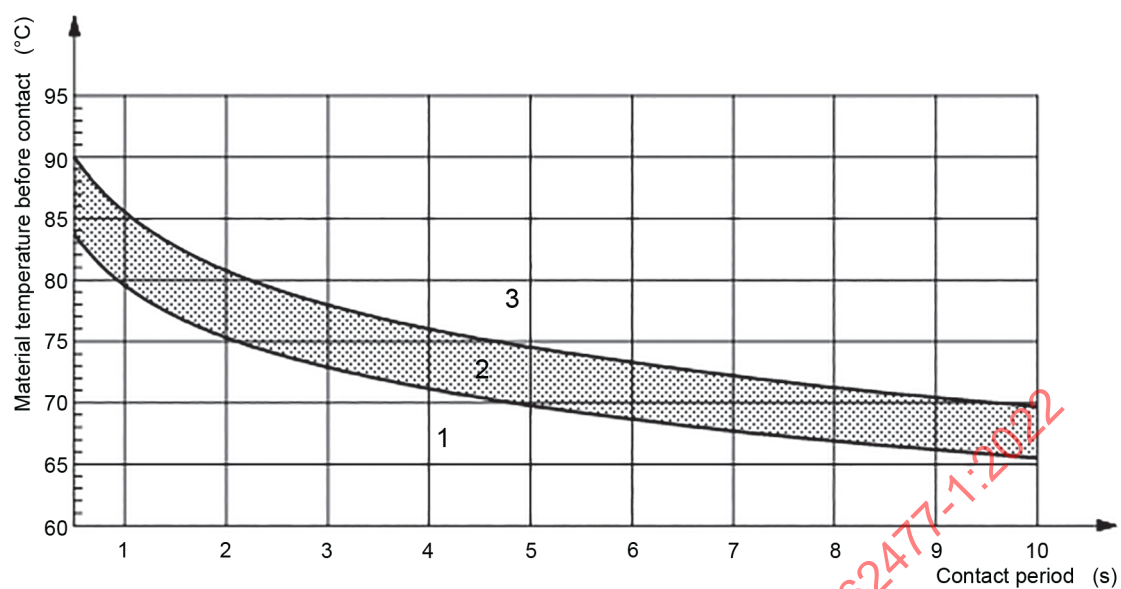
- 1 coated by shellac varnish of a thickness of 50 µm
- 2 coated by shellac varnish of a thickness of 100 µm
- 3 coated by shellac varnish of a thickness of 150 µm

Figure J.2 – Rise in the burn threshold spread from Figure J.1 for metals which are coated by shellac varnish

**Key**

- 1 porcelain enamel (thickness 160 µm)/powder (thickness 60 µm)
- 2 powder (thickness 90 µm)
- 3 polyamide 11 or 12 (thickness 400 µm)

Figure J.3 – Rise in the burn threshold spread from Figure J.1 for metals coated with the specific materials

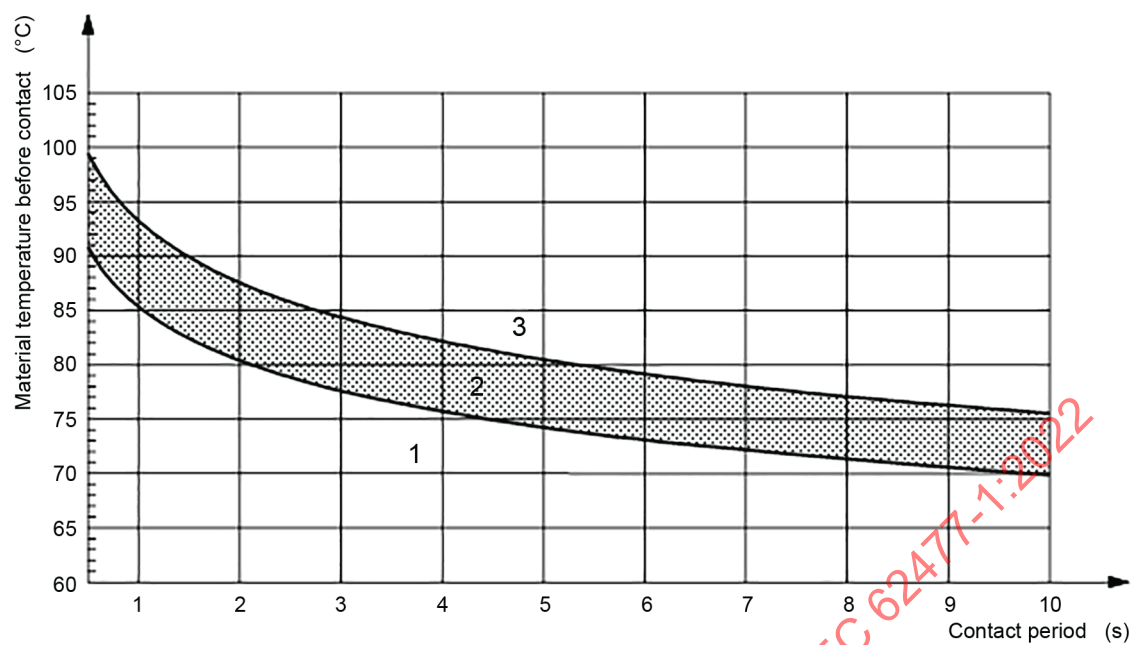


IEC

Key

- 1 no burn
- 2 burn threshold
- 3 burn

Figure J.4 – Burn threshold spread when the skin is in contact with a hot smooth surface made of ceramics, glass and stone materials



IEC

Key

- 1 no burn
- 2 burn threshold
- 3 burn

Figure J.5 – Burn threshold spread when the skin is in contact with a hot smooth surface made of plastics

Annex K (informative)

Table of electrochemical potentials

Table K.1 lists electrochemical potentials. Corrosion due to electrochemical action between dissimilar metals that are in contact is minimized if the combined electrochemical potential is below about 0,6 V. In Table K.1, the combined electrochemical potentials are listed for a number of pairs of metals in common use; combinations above the dividing line should be avoided.

Table K.1 – Table of electrochemical potentials

Magnesium, magnesium alloys	Zinc, zinc alloys	80 tin/20 Zn on steel, Zn on iron or steel	Aluminium	Cd on steel	Al/Mg alloy	Mild steel	Duralumin	Lead	Cr on steel, soft solder	Cr on Ni on steel, tin on steel 12 % Cr stainless steel	High Cr stainless steel	Copper, copper alloys	Silver solder, Austenitic stainless steel	Ni on steel	Silver	Rh on Ag on Cu, silver/gold alloy	Carbon	Gold, platinum	
0	0,5	0,55	0,7	0,8	0,85	0,9	1,0	1,05	1,1	1,15	1,25	1,35	1,4	1,45	1,6	1,65	1,7	1,75	Magnesium, magnesium alloys
	0	0,05	0,2	0,3	0,35	0,4	0,5	0,55	0,6	0,65	0,75	0,85	0,9	0,95	1,1	1,15	1,2	1,25	Zinc, zinc alloys
		0	0,15	0,25	0,3	0,35	0,45	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8	0,85	0,9	1,05	1,1	1,15	1,2	80 tin/20 Zn on steel, Zn on iron or steel
			0	0,1	0,15	0,2	0,3	0,35	0,4	0,45	0,55	0,65	0,7	0,75	0,9	0,95	1,0	1,05	Aluminium
				0	0,05	0,1	0,2	0,25	0,3	0,35	0,45	0,55	0,6	0,65	0,8	0,85	0,9	0,95	Cd on steel
					0	0,05	0,15	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,55	0,6	0,75	0,8	0,85	0,9	Al/Mg alloy
						0	0,1	0,15	0,2	0,25	0,35	0,45	0,5	0,55	0,7	0,75	0,8	0,85	Mild steel
							0	0,05	0,1	0,15	0,25	0,35	0,4	0,45	0,6	0,65	0,7	0,75	Duralumin
								0	0,5	0,1	0,2	0,3	0,35	0,4	0,55	0,6	0,66	0,7	Lead
									0	0,05	0,15	0,25	0,3	0,35	0,5	0,55	0,6	0,65	Cr on steel, soft solder
										0	0,1	0,2	0,25	0,3	0,45	0,5	0,55	0,6	Cr on Ni on steel, tin on steel 12 % Cr stainless steel
											0	0,1	0,15	0,2	0,35	0,4	0,45	0,5	High Cr stainless steel
												0	0,05	0,1	0,25	0,3	0,35	0,4	Copper, copper alloys
													0	0,05	0,2	0,25	0,3	0,35	Silver solder, Austenitic stainless steel
														0	0,15	0,2	0,25	0,3	Ni on steel
															0	0,05	0,1	0,15	Silver
																0	0,05	0,1	Rh on Ag on Cu, silver/gold alloy
																	0	0,05	Carbon
																		0	Gold, platinum
Ag	Silver																		
Al	Aluminium																		
Cd	Cadmium																		
Cr	Chromium																		
Cu	Copper																		
Mg	Magnesium																		
Ni	Nickel																		
Rh	Rhodium																		
Zn	Zinc																		

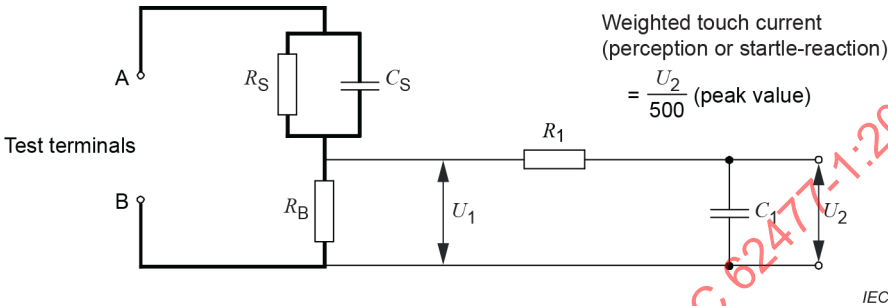
NOTE Values derived from IEC 62368-1:2018.

Annex L
(informative)

Measuring instrument for *touch current* measurements

L.1 Measuring instrument 1

The measuring test circuit of Figure L.1 is from IEC 60990:2016, Figure 4.



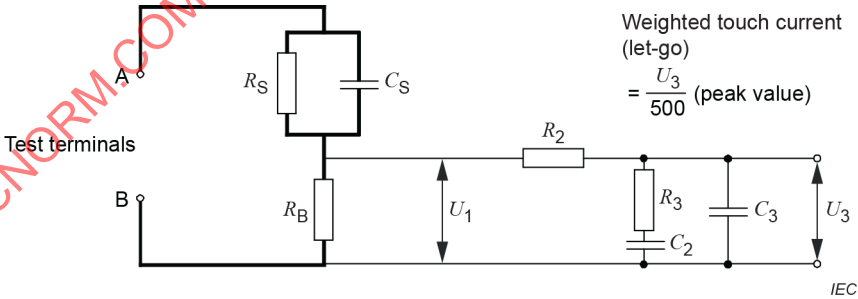
Key

R_S	1 500 Ω	R_1	10 k Ω
R_B	500 Ω	C_1	0,022 μ F
C_S	0,22 μ F		

Figure L.1 – Measuring instrument 1

L.2 Measuring instrument 2

The measuring test circuit of Figure L.2 is from IEC 60990:2016, Figure 5.



Key

R_S	1 500 Ω	R_3	20 k Ω
R_B	500 Ω	C_2	0,006 2 μ F
C_S	0,22 μ F	C_3	0,009 1 μ F
R_2	10 k Ω		

Figure L.2 – Measuring instrument 2

L.3 Measuring instrument 3

Electrical measuring instruments shall have adequate bandwidth to provide accurate readings, taking into account all components (DC, *AC mains supply* frequency, high frequency and harmonic content) of the parameter being measured. If the RMS value is measured, care shall be taken that measuring instruments give true RMS readings of non-sinusoidal waveforms as well as sinusoidal waveforms.

Voltmeter or oscilloscope (RMS or peak reading) input resistance: > 1 M Ω

Input capacitance: < 200 pF

Frequency range: 15 Hz up to 1 MHz (appropriate for the highest frequency of interest)

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62477-1:2022

Annex M (normative)

Test probes for determining access

Figure M.1 to Figure M.4 are reproduced from IEC 61032:1997.

These test probes are used for the non-accessibility test in 5.2.2.2.

All dimensions in Figure M.1 to Figure M.4 are in millimetres.

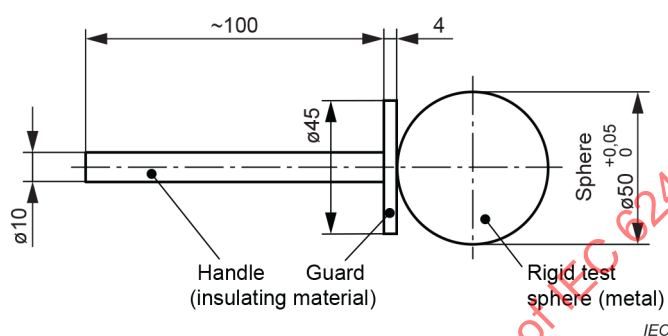
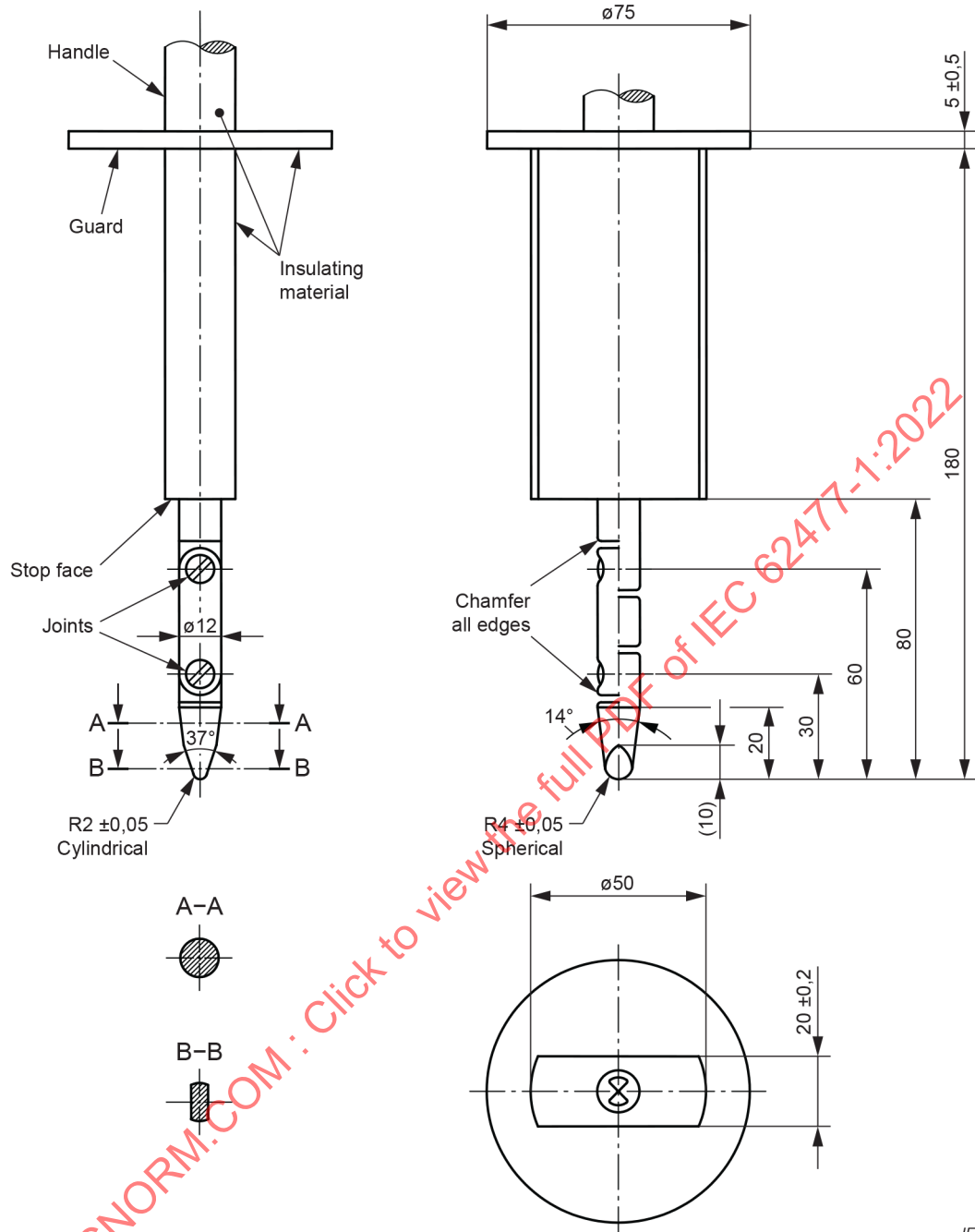


Figure M.1 – Sphere 50 mm probe according to IEC 61032:1997, test probe A



IEC

Material: metal, except where otherwise specified.

Tolerance on dimensions when no specific tolerance is given:

– on angles: $-10'$

– on linear dimensions: up to 25 mm: $-0,05$ mm; over 25 mm: $\pm 0,2$ mm.

Both joints shall permit movement in the same plane and the same direction through an angle of 90° with a 0° to $+10^\circ$ tolerance.

Figure M.2 – Jointed test finger according to IEC 61032:1997, test probe B

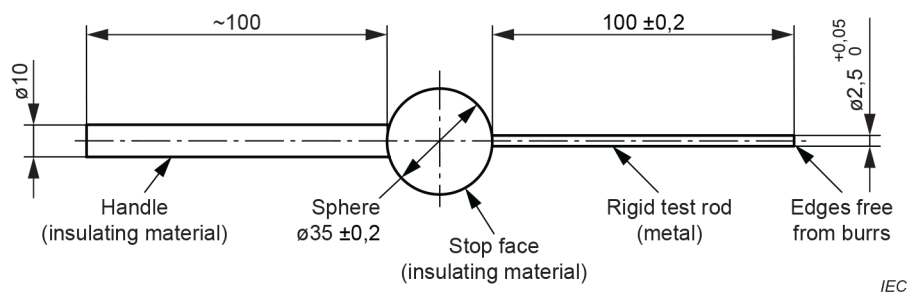


Figure M.3 – Test rod 2,5 mm according to IEC 61032:1997, test probe C

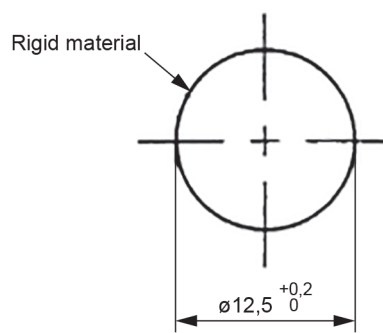


Figure M.4 – Sphere 12,5 mm test probe according to IEC 61032:1997, test probe 2

Annex N (informative)

Guidance regarding short-circuit current

N.1 General

The purpose of Annex N is to provide further in-depth informative background pertaining to short-circuit rating of the input and output as specified in 4.3, which needs to be considered during *single fault conditions* and *abnormal operating conditions* as specified in 4.2.

Internal short-circuits in a *PECS*, either through *component* failure or through human error, can lead to significant damage to the *PECS* and immediate potential danger based on the high *prospective short-circuit current* that can flow when the *PECS* is connected to an AC or DC *mains supply*.

The damage in a circuit exposed to a high *prospective short-circuit current* is mainly due to the very high level of mechanical stress, generated by the magnetic field and by the extreme thermal rise in the circuit and in its *components*.

The analysis of *single fault conditions* and *abnormal operating conditions*, as specified in 4.2, relies heavily on the internal design of the *PECS* as well as on some external parameters.

While the internal design is in full control of the manufacturer, the external parameters depend on the circuit characteristics of the *installation*. Especially, the *prospective short-circuit current* of the installation is of importance and needs to be taken into account for each installation.

The *prospective short-circuit current* of the installation indicates the amount of energy available from the installation during a failure in the product. Without any limiting devices, the available energy will increase with higher *prospective short-circuit current*, and the risk of fire, mechanical hazard, electric shock or other hazard (see 4.2) will increase during a failure.

One of the following two options for short-circuit ratings is to be specified for each input *mains supply port* of a *PECS* (see also 4.3.1).

Option 1 as specified in 4.3.2.2:

- *conditional short-circuit current* (I_{cc});
- *minimum required prospective short-circuit current* ($I_{cp,mr}$);
- characteristics or type of the *short-circuit protective device*.

Option 2 as specified in 4.3.2.3:

- *rated short-time withstand current* (I_{cw});
- associated duration (ms);
- *rated peak withstand current* (I_{pk}).

The *prospective short-circuit current* is characterised by two parameters:

- the peak current which is the maximum current, which potentially flows during a short-circuit of negligible impedance;
- the electrical energy (I^2t) generated by the RMS current (I_{RMS}) together with the duration (ms, s) of the short-circuit.

The effect of the peak current and I^2t is mainly related to the following two physical risks.

- Hazardous mechanical forces due to the generated magnetic fields caused by the short-circuit current, which might cause mechanical damage to bus-bars, *enclosure* and reduction of *clearance* and *creepage distances*. The mechanical force is proportional to the square of instantaneous short-circuit current.

NOTE Further information about the mechanical effect of the short-circuit current can be found in IEC 60865-1.

- Hazardous energy inside *components* leading to dramatic overheating/explosions of *components*, arc faults and conductive ionization of the air, which might lead to fire, reduction of *clearance* and *creepage distances* and destruction of the *enclosure*. The thermal impact, i.e. heating of conductors, is proportional to the square of RMS value of the short-circuit current.

N.2 Coordination of short-circuit current

N.2.1 General

To ensure that the *PECS* and the *components* will be able to operate safely under the available short-circuit current during a failure, the *PECS* and other installation *components* need to be designed and specified for the *prospective short-circuit current* at the point where it is installed.

For the calculation of the *prospective short-circuit currents* in three-phase AC systems, IEC 60909 (all parts) provides guidance. The consequences of the short-circuit are dealt with in IEC 60865 (all parts).

N.2.2 Conditional short-circuit current (I_{cc}) and minimum required prospective short-circuit current ($I_{cp, mr}$)

N.2.2.1 General

The *conditional short-circuit current* (I_{cc}) rating is defined in 4.3.2.2.

N.2.2.2 Conditional short-circuit current (I_{cc})

By specifying the I_{cc} , the protection of the *PECS* depends on the characteristics of the *short-circuit protective device* (e.g. fuse or circuit breaker).

In order to reduce the fault current energy and peak current and limit the damage of the *PECS* and avoid a hazard, a *current-limiting protective device* may be used. As shown in Figure N.1, both the I^2t and the peak current are limited dramatically due to the current-limiting characteristic of the protective device. Consequently, the damage and the risk of a hazard are significantly reduced. See Clause N.3 for more information.

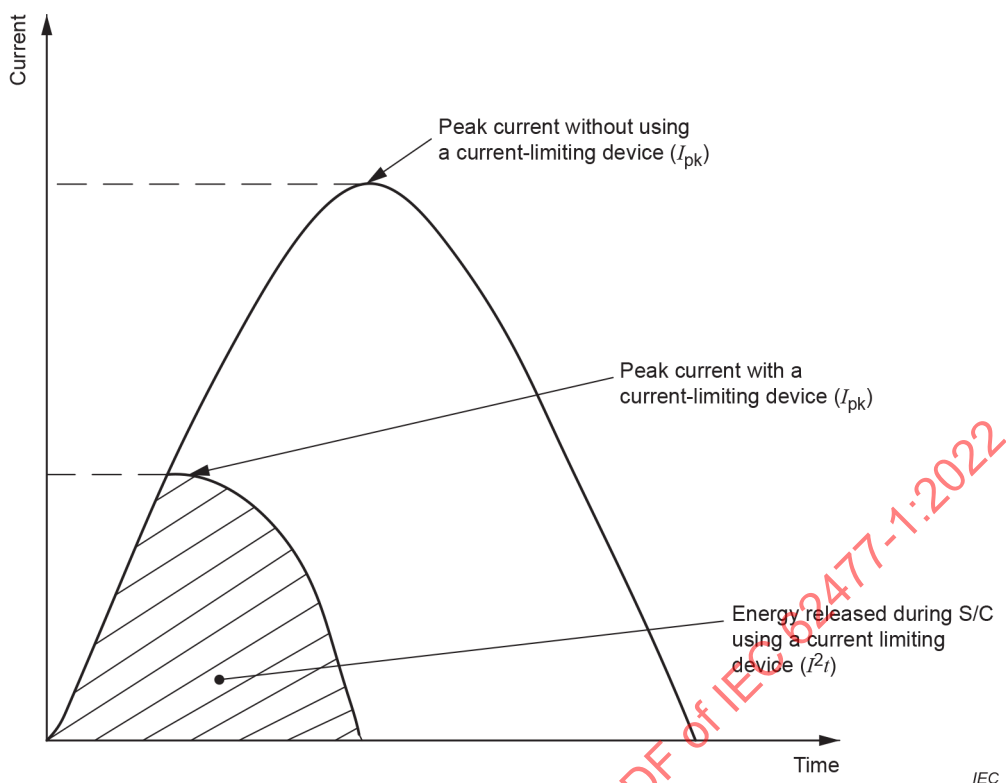


Figure N.1 – Example of short-circuit current curve under specification of I_{cc}

Coordination of the *PECS* with the specified upstream *SCPD* is typically performed by the installer, to ensure that the *SCPD* will be able to interrupt the fault current in a safe manner in case of a short-circuit.

N.2.2.3 Minimum required prospective short-circuit current ($I_{cp,mr}$)

Depending on the characteristic of the *short-circuit protective device*, a minimum current during a failure is needed to ensure a proper operation of the *short-circuit protective device*.

While the maximum *prospective short-circuit current* results in the highest fault current, but ensures the shortest operating time of the *short-circuit protective device*, the minimum *prospective short-circuit current* results in a lower fault current, but a significantly longer operation time and consequently an increasing I^2t during the fault.

The manufacturer should be able to show that the *PECS* and the specified *SCPD* have been successfully tested with the specified *minimum required prospective short-circuit current*.

A manufacturer can specify a maximum and *minimum required prospective short current* anywhere within the trip curves of the *SCPD*. However, this selection impacts the operation of the *SCPD* and the amount of energy released during a fault.

To ensure a sufficiently low I^2t value and a quick operation of the *SCPD*, it is recommended to select a *minimum required prospective short-circuit current* in the instantaneous tripping or in the current-limiting area of the characteristics of a selected *SCPD*. See Figure N.2 and Figure N.3.

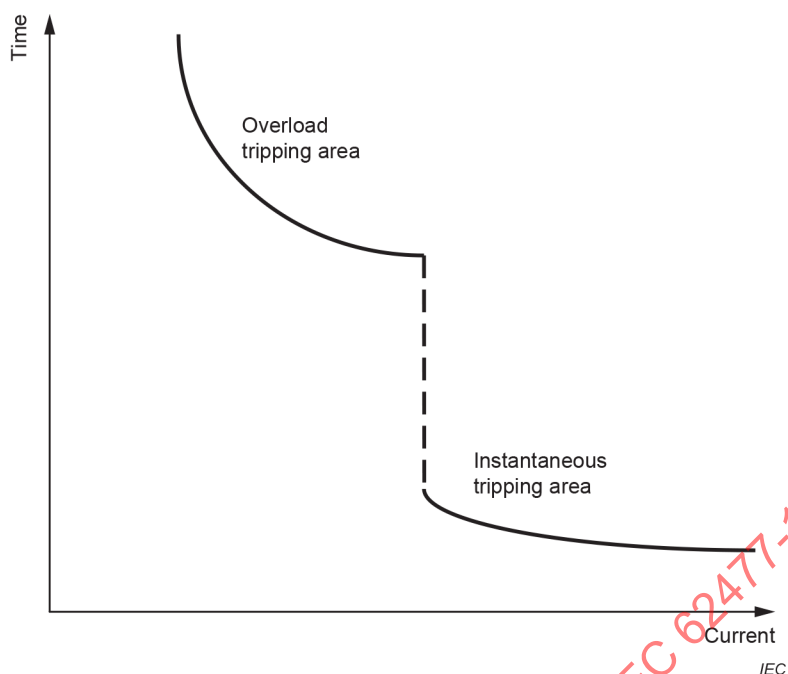


Figure N.2 – Example of tripping characteristic of a circuit breaker

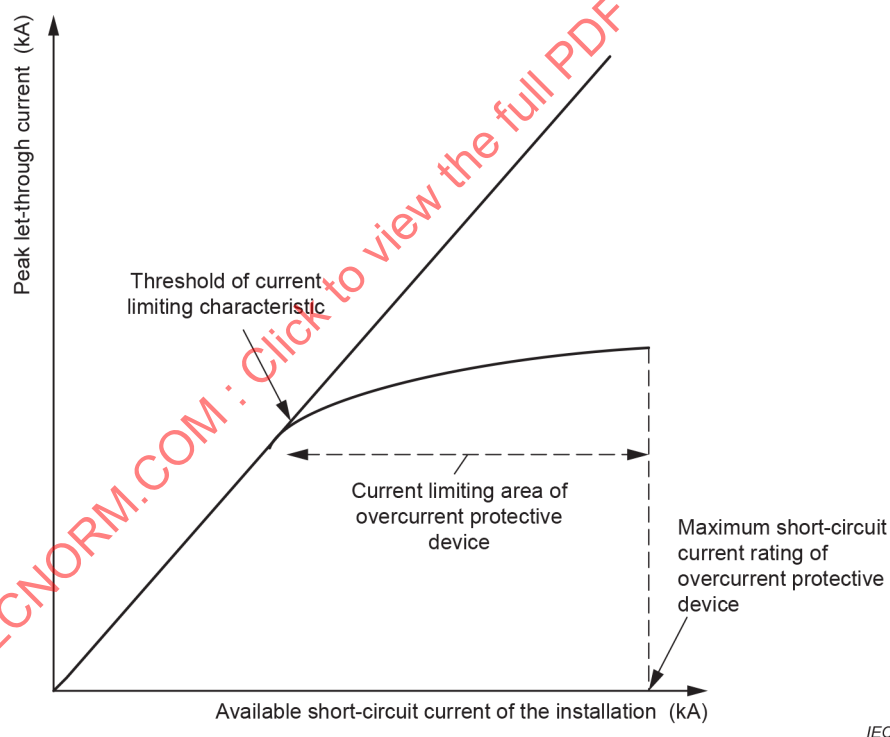


Figure N.3 – Example of tripping characteristic of a current-limiting fuse

N.2.3 Short-time withstand current (I_{cw})

The short-circuit rating is expressed as explained in 4.3, and Figure N.4 shows a typical waveform.

When the application requires a high fault current capability on the output *port* of the *PECS* (e.g. for clearing a fault at the output side of the *PECS*), a suitable input I_{cw} rating is needed.

Coordination of the *PECS* and the installation is necessary, to ensure that the upstream protective device of the installation will be able to interrupt the short-circuit current safely. See Clause N.3 for more information.

The specification of the *short-time withstand current* I_{cw} is the most flexible rating, but also the hardest achievable solution, as it requires that the *PECS* has to be able to handle not only a higher energy level (I^2t) but also a very high peak current.

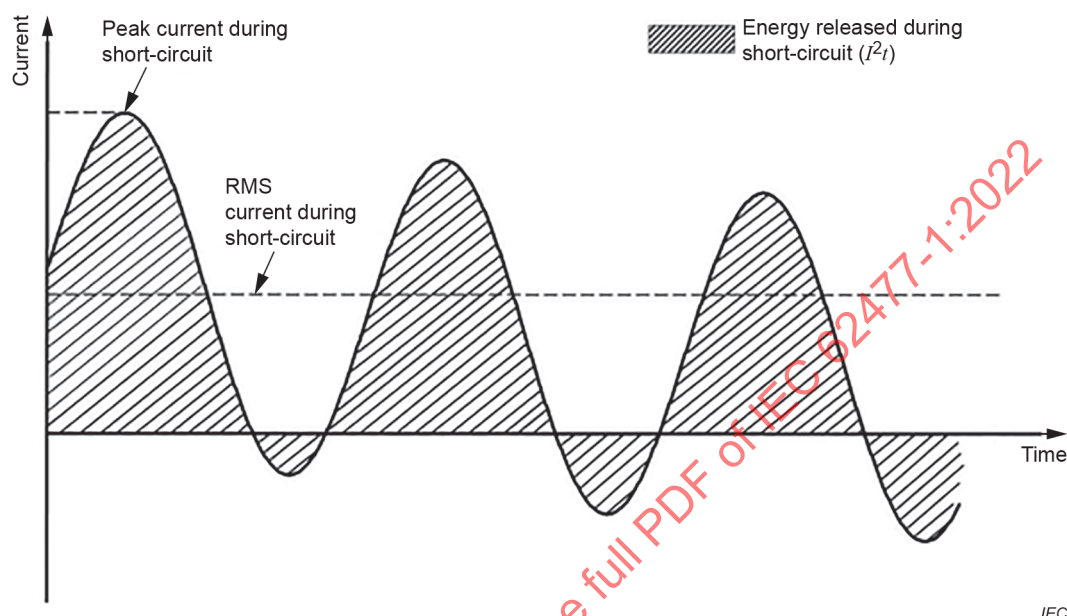


Figure N.4 – Example of short-circuit current curve under specification of I_{cw}

Information about short-circuit currents in three-phase AC systems is available in IEC 60909-0:2016.

N.3 Guidance for specification of short-circuit current and *short-circuit protective device*

N.3.1 General

For the installations where the *PECS* is installed, the short-circuit protection is coordinated to ensure a safe interruption of a short-circuit inside the *PECS*.

The following overview is included for clarification for the manufacturer to create their specification:

- *prospective short-circuit current* (I_{cp});
- *rated short-time withstand current* (I_{cw});
- *conditional short-circuit current* (I_{cc});
- *minimum required prospective short-circuit current* ($I_{cp,mr}$);
- *short-circuit protective device*.

In case the *PECS* is specified with a *conditional short-circuit current* (I_{cc}) and a specified *short-circuit protective device*, it is ensured that

- the available *prospective short-circuit current* of the *installation* has to be between the maximum and *minimum required prospective short-circuit current* value of the *PECS*,

- the short-circuit rating of the protective device has to be equal to or greater than the *prospective short-circuit current* of the *installation* at the terminals of the *short-circuit protective device*,
- a *short-circuit protective device* which meets the current characteristic is specified by the *PECS* manufacturer, or
- a specific *short-circuit protective device*, specified by the *PECS* manufacturer, is installed in front of the *PECS*.

In case the *PECS* is specified with a *short-time withstand current* (I_{cw}), *peak withstand current* (I_{pk}) and duration rating, it has to be ensured that

- the rated *short-time withstand current* (I_{cw}) of the *PECS* has to be equal to or greater than the *prospective short-circuit current RMS* of the installation at the terminals of *PECS*,
- the *peak withstand current* (I_{pk}) of the *PECS* has to be equal to or greater than the prospective short-circuit peak current of the installation at the terminals of *PECS*, and
- the maximum time for which the I_{cw} is specified for the *PECS* has to be equal to or longer than the maximum operating time of the *short-circuit protective device* located upstream of the *PECS*.

The available *prospective short-circuit current*, I_{cp} , from the *mains supply* is set to 50 kA in the examples showed in N.3.2 and N.3.5. Another level could have been chosen and would have worked as well.

The examples are not intended to show how a typical *installation* is made, nor do they show the position or numbers of breakers, switches, fuses between the *mains supply* and the *PECS*.

None of the examples are calculated and real solutions. The different current levels, durations and devices are only selected for the purpose of explanation.

N.3.2 Example 1: Two or more *PECS* with different ratings

Figure N.5 provides some general guidance on how to apply I_{cw} , I_{pk} and duration or I_{cc} and *short-circuit protective device* for two or more *PECS* with *ports* installed in the same *installation*.

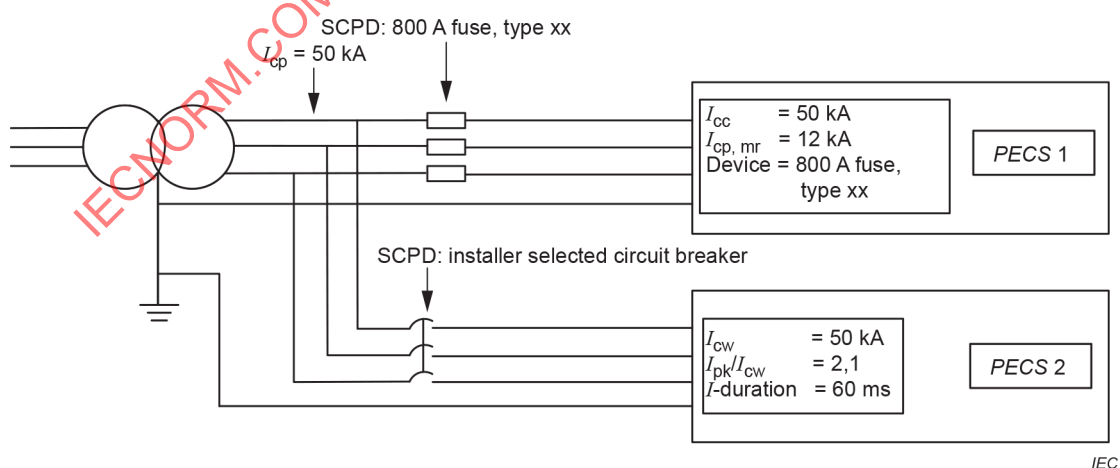


Figure N.5 – Two *PECS* with different specifications

PECS 1 has an I_{cc} rating. In this example, a fuse with a specified current rating and characteristic (800 A, type xx) is used for the *PECS* 1, but also a circuit breaker might be specified by the manufacturer. The specified *short-circuit protective device* can be made available as a part of the *PECS* or can be a part the installer needs to purchase according to the manufacturer's I_{cc} declaration.

PECS 2 has an I_{cw} rating. In the *installation*, any type of *short-circuit protective device* can be used as long as it does not exceed all specified I_{cw} ratings (RMS current, peak current ratio, I_{pk}/I_{cw} and duration). In this example, a circuit breaker is used for the *PECS 2*, but also a fuse might be used.

N.3.3 Specification of I_{cc}

PECS 1 is specified with an I_{cc} declaration (I_{RMS} value, $I_{cp,mr}$, device) (see Clause N.1, option 1).

- $I_{cc} = 50$ kA;
- $I_{cp,mr} = 12$ kA; and.
- device = 800 A fuse (manufacturer data, type, characteristic).

The I_{cc} declaration is based on the use of a specific *short-circuit protective device* (in this example, an 800 A fuse) which is required to be installed in front of *PECS 1*. The manufacturer has verified by test (see Clause N.4) that the *PECS* can withstand the rated *conditional short-circuit current* (I_{cc}), for the total operation time (clearing time) of the *short-circuit protective device* under specified conditions.

In this example, the specified condition is as follows:

- the limitation of the *prospective short-circuit current* is 50 kA. This limitation is a manufacturer decision. The use of a *short-circuit protective device* could be approved for much higher I_{cp} ; however, it is a manufacturer decision to select the applicable I_{cp} level for the design and the subsequent test; or
- this I_{cc} rating is now identical to the maximum allowable *prospective short-circuit current*, which the installed *PECS* and *short-circuit protective device* may be exposed to in an *installation*.

As the operating time and current limitation characteristic depends on the applied *prospective short-circuit current* (I_{cp}), it is necessary to determine the *minimum required prospective short-circuit current* ($I_{cp,mr}$). This is to ensure the expected behaviour of the *short-circuit protective device* and to verify that this situation will not have any severe consequences for the *PECS*, as the opening time of the *short-circuit protective device* will increase with lower *prospective short-circuit current* of the *mains supply*. The *minimum required prospective short-circuit current*, $I_{cp,mr}$, is also verified by test (see Clause N.4).

The device which the I_{cc} is based on should be specified by the characteristics of the *short-circuit protective device*.

NOTE The characteristic of the protective device can also include specific manufacturer part numbers in case needed for the compliance of I_{cc} .

N.3.4 Specification of I_{cw}

As an example in Figure N.5, *PECS 2* is specified by an I_{cw} declaration (I_{RMS} value, duration, I_{pk}) (see Clause N.1, option 2):

- *short-time withstand current* = 50 kA;
- associated duration = 60 ms;
- *peak withstand current ratio*, $I_{pk}/I_{cw} = 2,1$.

Based on the application intended for the *PECS*, the *PECS* manufacturer selects the required values from Table 32.

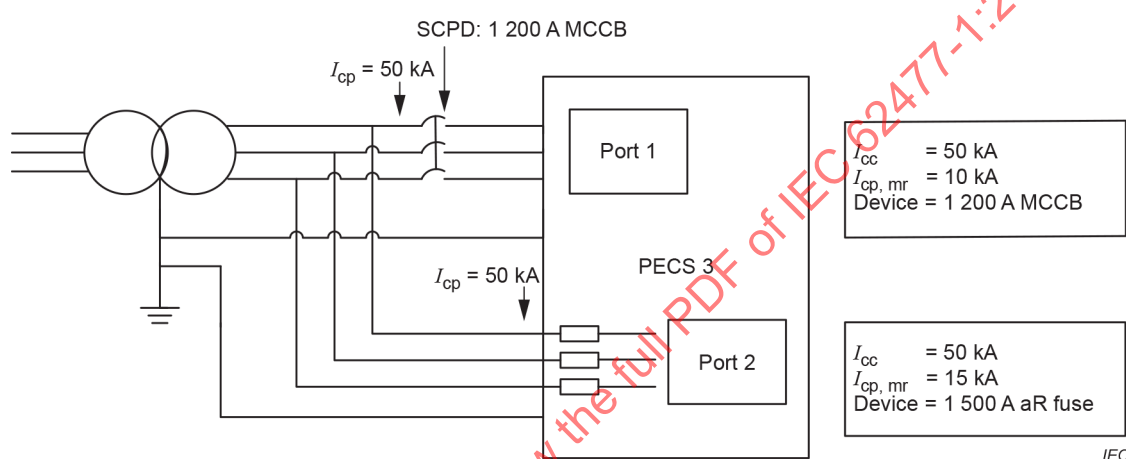
The *PECS* manufacturer has verified by test that the *PECS* can withstand the rated *short-time withstand current* (I_{cw}) for the specified duration and with a specified rated *peak withstand current* (I_{pk}).

The specified I_{cw} is equal to or higher than the available *prospective short-circuit current* (I_{cp}) at the terminals of *PECS* 2.

NOTE The system integrator can choose an appropriate *short-circuit protective devices* based on their declared rating.

N.3.5 Example 2: One *PECS* with more than one rating

Figure N.6 provides some general guidance on how to specify I_{cw} , I_{pk} and duration or I_{cc} and *short-circuit protective device* for one *PECS* with two ports installed in the same *installation*.



Key

MCCB moulded case circuit breaker

Figure N.6 – One *PECS* with different specification for each input *mains supply port*

PECS 3 has two sets of input *mains supply ports*, *port 1* and *port 2*, and the design and approval is based on an I_{cc} declaration for both. This is a manufacturer decision, and a solution combining an I_{cc} declaration on one *port* and a I_{cw} declaration on the other *port* is also allowed.

Port 1:

I_{cc} declaration (RMS value, $I_{cp, mr}$, device):

- I_{cc} = 50 kA;
- $I_{cp, mr}$ = 10 kA;
- device = 1 200 A MCCB (manufacturer data, type, characteristic).

The declarations and considerations behind the work are similar to the example of *PECS* 1. The I_{cc} declaration is based on the use of a *short-circuit protective device*, a 1 200 A MCCB, which is required to be installed in front of *PECS* 3.

Port 2:

I_{cc} declaration (RMS value, $I_{cp, mr}$, device):

- I_{cc} = 50 kA;

- $I_{cp,mr} = 15 \text{ kA}$;
- device = 1 500 A aR fuse (manufacturer data, type, characteristic).

The I_{cc} declaration is based on the use of a *short-circuit protective device*. In this example, a 1 500 A aR fuse, which is included/incorporated in the PECS, but the considerations are similar to those explained for PECS 1.

N.3.6 Additional explanation on terms, definitions and specifications

N.3.6.1 General

N.3.6 provides some additional information about the following parameters, used as design parameters to determine required level of I_{cw} or I_{cc} of the PECS:

- *prospective short-circuit current* (I_{cp});
- *mains supply* characteristics.

N.3.6.2 Short-time withstand current (I_{cw})

- Design parameter and solution for the PECS, where the level (kA) is selected by the manufacturer based on the PECS application.
- The selected level ($I_{cw \text{ RMS}}$) is used in test lab, where the test generator is calibrated to the selected level for I_{cw} testing, to simulate a maximum available *prospective short-circuit current* at the input of the *mains supply port*.

N.3.6.3 Peak withstand current (I_{pk})

- Design parameter selected by the manufacturer based on the PECS application.
- The selected peak current (I_{pk}) or ratio (I_{pk}/I_{cw}) is used in test lab, where the test generator is calibrated to the selected level for I_{cw} and I_{cc} testing.

N.3.6.4 Duration for I_{cw}

- Design parameter (time) selected by the manufacturer based on the PECS application.
- The selected duration is used in test lab, where the test generator is adjusted and calibrated to deliver the requested current and peak for the selected duration.

N.3.6.5 Conditional short-circuit current (I_{cc})

- Design parameter where the solution is selected by the manufacturer based on the PECS application and selected device.
- The selected level ($I_{cc \text{ RMS}}$) is used in test lab, where the test generator is calibrated to the selected level for I_{cc} testing, to simulate a maximum available *prospective short-circuit current* at the input of the *mains supply port*.

N.3.6.6 Minimum required prospective short-circuit current ($I_{cp,mr}$)

- Design parameter selected by the manufacturer.
- Derived consequence of the selected *short-circuit protective device* and the available *prospective short-circuit current*.
- The selected level ($I_{cp,mr}$) is used in test lab, where the test generator is calibrated to the selected level for $I_{cp,mr}$ testing, to simulate a minimum available *prospective short-circuit current* at the input of the *port*.

N.4 Short-circuit rating and *single fault conditions* testing

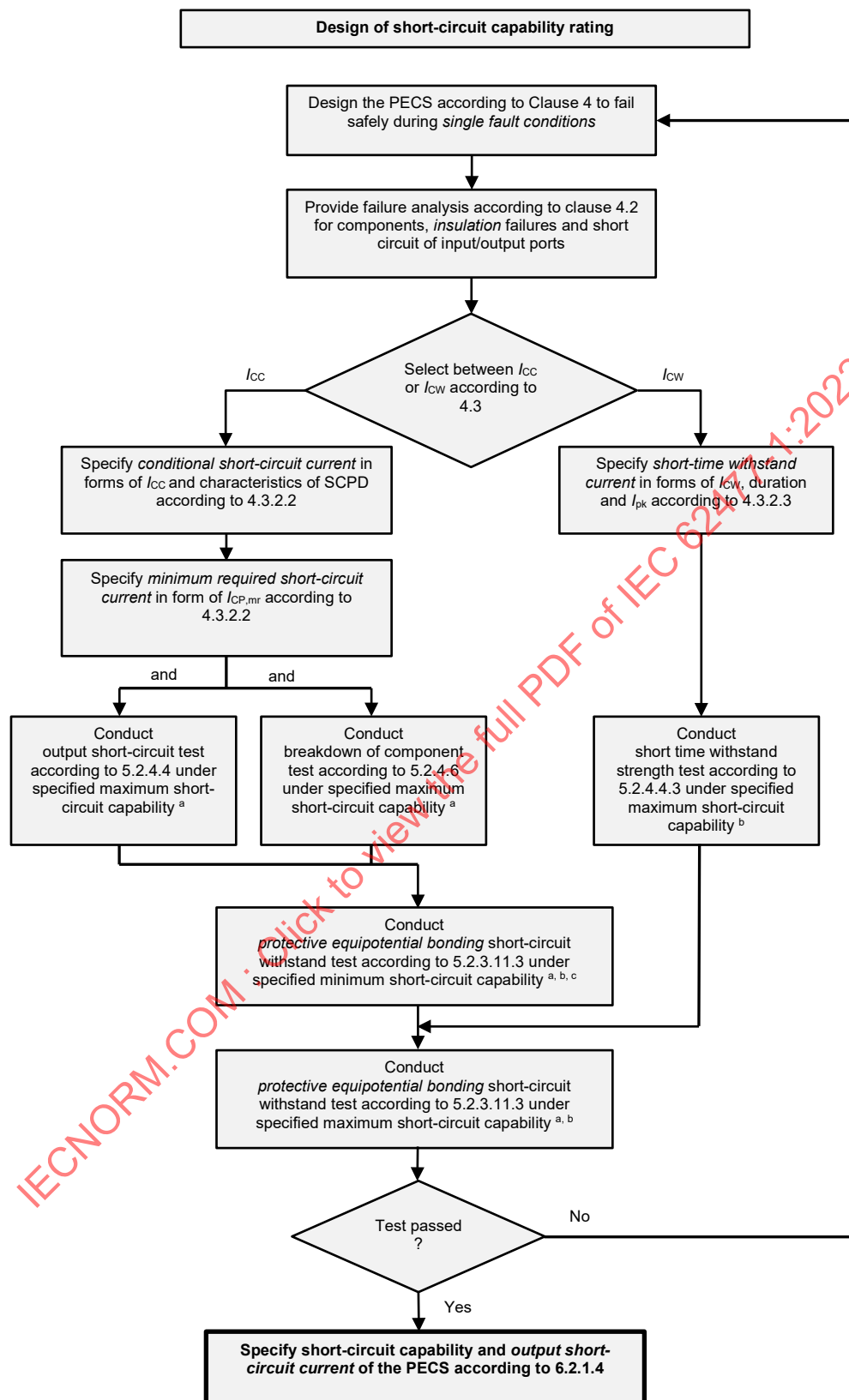
N.4.1 General

As mentioned in Clause N.1, the *PECS* has to be able to fail safely under the specified maximum and minimum short-circuit current. This includes the following tests:

- conduct output short-circuit test according to 5.2.4.4;
- conduct *protective equipotential bonding* short-circuit withstand test according to 5.2.3.11.3;
- conduct breakdown of *component* tests according to 5.2.4.6;
- conduct *short-time withstand current* (I_{cw}) test according to 5.2.4.4.3.

See Figure N.7.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62477-1:2022



^a Acceptance criteria for I_{cc} according to 5.2.4.2.

^b Acceptance criteria for I_{cw} according to 5.2.4.4.3.3.

^c Not applicable when I_{cw} is used.

Figure N.7 – Flowchart for classification of I_{cc} or I_{cw}

N.4.2 Exemption from *short-time withstand current* testing

N.4.2.1 General

Product committees can consider if special exemptions are applicable for their products considering specific application. The following exemptions may be used in their evaluation.

Exemptions from *short-time withstand current* testing applies to

- *PECS* with declared I_{CW} or I_{CC} not exceeding 10 kA,
- *PECS* protected by current-limiting protected devices having a cut-off current not exceeding 17 kA with the maximum allowable *prospective short-circuit current* at the terminals of the incoming circuit of the *PECS*,
- *PECS* intended to be supplied from transformers whose rated power does not exceed 10 kVA per phase for a rated secondary voltage of not less than 110 V, or 1,6 kVA per phase for a rated secondary voltage less than 110 V, and whose short-circuit impedance is not less than 4 %, and
- *PECS* for which a more onerous variant has passed the test requirements of 5.2.4.4.3.

For guidance on how to determine when a *PECS* is a variant of a more onerous *PECS*, refer to IEC 61439-1:2020, 10.11.3 and Table 13 (check list) or 10.11.4 (calculation).

The exemption conditions in N.4.2.1 above align this document with IEC 61439-1:2020, 10.11.2, which should be considered.

N.4.2.2 Special consideration

In case where the fault current path includes semiconductor devices, the above exemptions might not be valid (see Clause N.1).

The compliance of criteria 5.2.4.2 requires that the *PECS* and its *components* should remain safe during and after the test. A reduction of the functionality (e.g. *PECS* can become fully non-functional) is permissible.

N.5 Guideline for short-circuit analysis

The short-circuit analysis considers, but not limited to, the following:

- I^2t breakdown ratings of conductors and *components*;
- identification of fault current path and impedance in the *PECS*;
- possibility and extent of cascading failures;
- nature of failure with respect to physical location (e.g. proximity to other critical *components*, barriers, *clearances*, *creepage distances*, vent openings);
- identification of all energy sources (*mains supply*, capacitors, motor, etc.) in the circuit;
- for *mains supply*, power circuit configuration and grounding (wye, delta, IT, etc.);
- *enclosure* (size, material, structure, openings, etc.);
- types and ratings of the *short-circuit protective devices* specified to be used with the *PECS*;
- specified linearity of current-limiting *components* (external and internal) with respect to available fault current;
- effect of multiple ratings of the *PECS* (relationship of power rating and voltage);
- variation in *components* within *PECS* family;
- maximum variation of *mains supply* impedance, frequency, voltage with respect to specified/published product applications (use of transformer, phase reactor etc.).

Testing may be necessary to validate the portion of the analysis.

Annex O (informative)

Guidelines for determination of *clearance* and *creepage distances*

O.1 Guideline for determination of *clearances*

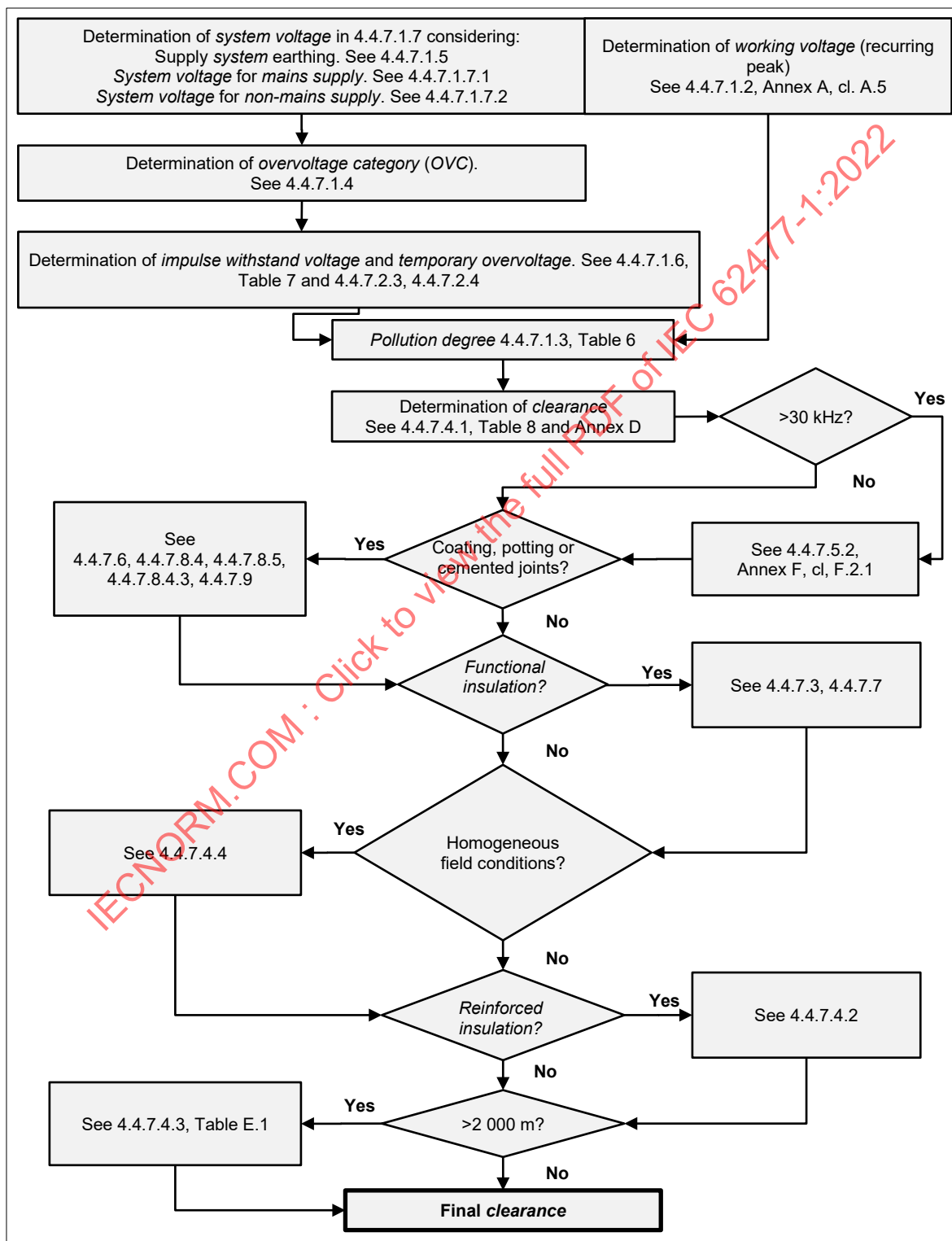


Figure O.1 – Flowchart for determination of *clearance*

O.2 Guideline for determination of *creepage distances*

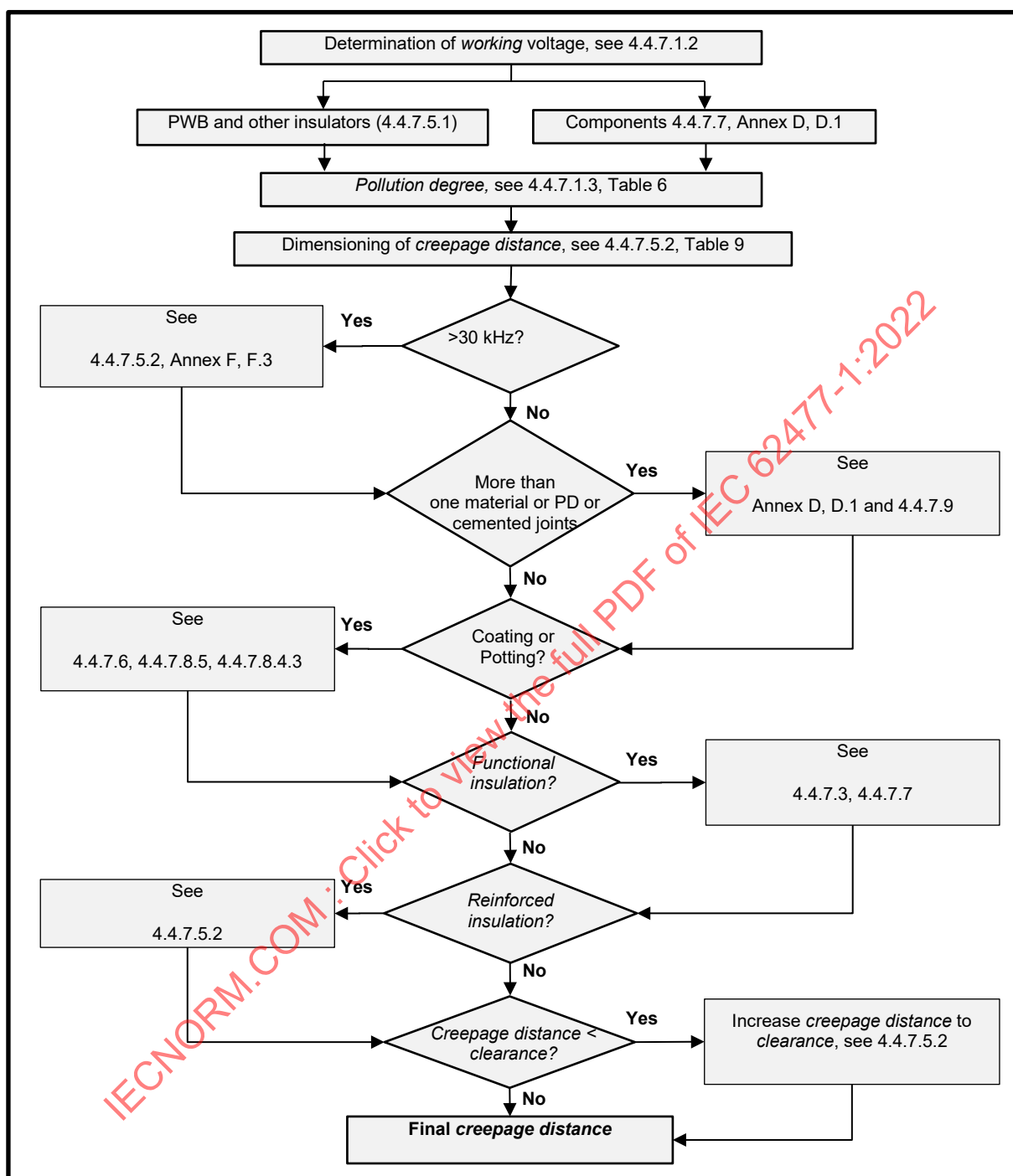


Figure O.2 – Flowchart for determination of *creepage distance*

O.3 Minimum spacings within *solid insulation* or similar

Source: IEC 60664-3:2016; 4.4.

For type 2 protection, the spacing between the conductors before the protection is applied should not be less than the values as specified in Table O.1. These values apply to *basic insulation*, *supplementary insulation* as well as *reinforced insulation*. These values may also be applied to *functional insulation*.

The determined maximum peak value of the voltage from 4.4.7.4 (crest value of *temporary overvoltage* or recurring peak of *working voltage*) should be used as input to Table O.1.

Table O.1 – Minimum spacings within *solid insulation* or similar

Maximum peak value of any voltage ^a kV	Minimum spacings mm
≤ 0,33	0,01
> 0,33 and ≤ 0,4	0,02
> 0,4 and ≤ 0,5	0,04
> 0,5 and ≤ 0,6	0,06
> 0,6 and ≤ 0,8	0,1
> 0,8 and ≤ 1,0	0,15
> 1,0 and ≤ 1,2	0,2
> 1,2 and ≤ 1,5	0,3
> 1,5 and ≤ 2,0	0,45
> 2,0 and ≤ 2,5	0,6
> 2,5 and ≤ 3,0	0,8
> 3,0 and ≤ 4,0	1,2
> 4,0 and ≤ 5,0	1,5
> 5,0 and ≤ 6,0	2
> 6,0 and ≤ 8,0	3
> 8,0 and ≤ 10	3,5
> 10 and ≤ 12	4,5
> 12 and ≤ 15	5,5
> 15 and ≤ 20	8
> 20 and ≤ 25	10
> 25 and ≤ 30	12,5
> 30 and ≤ 40	17
> 40 and ≤ 50	22
> 50 and ≤ 60	27
> 60 and ≤ 80	35
> 80 and ≤ 100	45

Source: IEC 60664-3:2016, Table 1.

Linear interpolation is permitted.

^a Transient overvoltages are disregarded since they are unlikely to degrade the protected assembly.

Annex P

(informative)

Protection of persons against electromagnetic fields for frequencies from 0 Hz up to 300 GHz

P.1 General influence of electromagnetic fields to persons

P.1.1 General

(source: World Health Organisation)

Exposure to electromagnetic fields is not a new phenomenon. However, during the 20th century, environmental exposure to man-made electromagnetic fields has been steadily increasing as growing electricity demand, ever-advancing technologies and changes in social behaviour have created more and more artificial sources. Everyone is exposed to a complex mix of weak electric and magnetic fields, both at home and at work, from the generation and transmission of electricity, domestic appliances and industrial equipment, to telecommunications and broadcasting.

Tiny electrical currents exist in the human body due to the chemical reactions that occur as part of the normal bodily functions, even in the absence of external electric fields. For example, nerves relay signals by transmitting electric impulses. Most biochemical reactions from digestion to brain activities go along with the rearrangement of charged particles. Even the heart is electrically active – an activity that your doctor can trace with the help of an electrocardiogram.

P.1.2 Low-frequency electric fields effects (1 Hz to 100 kHz)

Low-frequency electric fields influence the human body just as they influence any other material made up of charged particles. When electric fields act on conductive materials, they influence the distribution of electric charges at their surface. They cause current to flow through the body to the ground.

P.1.3 Low-frequency magnetic fields effects (1 Hz to 100 kHz)

Low-frequency magnetic fields induce circulating currents within the human body. The strength of these currents depends on the intensity of the external magnetic field. If sufficiently large, these currents could cause stimulation of nerves and muscles or induce visual sensations, so-called magnetophosphenes.

P.1.4 Low-frequency electric and magnetic fields effects

Both electric and magnetic fields induce voltages and currents in the body but even directly beneath a high voltage transmission line, the induced currents are very small compared to thresholds for producing electric shock and other electrical effects.

P.1.5 High-frequency electromagnetic fields effects (100 kHz to 300 GHz)

Heating of tissue is the main biological effect of the electromagnetic fields with frequencies greater than 100 kHz up to 300 GHz. In microwave ovens, this fact is employed to heat food. The levels of radiofrequency fields to which people are normally exposed are very much lower than those needed to produce significant heating. The heating effect of radio waves forms the underlying basis for current high frequency guidelines.

P.1.6 Current knowledge on low-level effects

Scientists are also investigating the possibility that effects below the threshold level for body heating occur as a result of long-term exposure. Independent international expert bodies claim that the overall evaluation of all the research on high frequency fields leads to the conclusion that high frequency exposure below the thermal threshold is unlikely to be associated with adverse health effects.

P.1.7 Biological effects versus adverse health effects

Biological effects are measurable responses to a stimulus or to a change in the environment. These changes are not necessarily harmful for the health of persons. For example, listening to music, reading a book, eating an apple or playing tennis will produce a range of biological effects. Nevertheless, none of these activities is expected to cause health effects. The body has sophisticated mechanisms to adjust to the many and varied influences we encounter in our environment. Ongoing change forms a normal part of our lives. But, of course, the body does not possess adequate compensation mechanisms for all biological effects. Changes that are irreversible and stress the *system* for long periods of time may constitute a health hazard.

An adverse health effect causes detectable impairment of the health of the exposed individual or of his or her offspring; a biological effect, on the other hand, may or may not result in an adverse health effect.

It is not disputed that electromagnetic fields above certain levels can trigger biological effects. Experiments with healthy volunteers indicate that short-term exposure at the levels present in the environment or in the home do not cause any apparent detrimental effects. Exposures to higher levels that might be harmful are restricted by national and international guidelines. The current debate is centred on whether long-term low level exposure can evoke biological responses and influence people's well being.

P.1.8 Influence of EMF on passive and active medical implants

Electromagnetic fields can influence passive and active medical implants through field exposure. Passive conductive implants can be heated by eddy currents induced by external fields. The function of active medical implants, for example cardiac pacemakers, can be influenced by external fields. As interference effects might occur even at exposure levels below the general public exposure limit values, special considerations have to be taken for the protection of patients with active or passive medical implants.

P.2 Requirements from ICNIRP LF guidelines against exposure to EMF

P.2.1 Adoption of exposure limits from ICNIRP

P.2.1.1 General

Recommendations on human exposure to EMF have been published by the International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). Guidance in Annex P is based upon

- ICNIRP's EMF Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz – 100 kHz) published in 2010 which provide limits from 1 Hz up to 10 MHz;
- ICNIRP's Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz) published in 1998 which provide limits from 0 Hz up to 300 GHz where the values from 0 Hz to 1 Hz are used; and
- European workers Directive 2013/35/EU which provide limits for static magnetic fields.

However, due to experience based on EMC tests, emission of electromagnetic fields above 10 MHz is not considered relevant for *PECS*. Therefore, Annex P provides limits for frequencies from 0 Hz up to 10 MHz.

ICNIRP recommends a two-step *system* of limit values. The basic restrictions in ICNIRP and in the European workers Directive 2013/35/EU for low frequency exposure are based on induced electric fields inside the human body. These basic restrictions already contain a sufficient safety factor to the actual adverse health effects threshold. As these basic restrictions are not measurable and only computable with great efforts, ICNIRP and the European workers Directive 2013/35/EU derived easily measurable reference values in terms of external electric or magnetic fields. Compliance with these reference values ensures compliance with the basic restrictions even under worst case exposure situations.

The safety concept described in Annex P is based on the reference values only. This specification adds a significant amount of conservatism to the already conservative ICNIRP and the European workers Directive 2013/35/EU approach. In addition, the safety concept described in Annex P are based on reference values for the whole body exposure only. Compliance with the whole body reference values implies compliance with the less restrictive reference values for limbs and extremities.

When *PECS* are *de-energized*, no electromagnetic fields exceeding the limits of Table P.1 or Table P.2 are expected, except where permanent magnets are part of the *PECS*. In this case, the limits of Table P.3 shall be taken into account.

P.2.1.2 EMF Limits during operation

The limits of Table P.1 and Table P.3 are applicable for continuous exposure.

Where fields are produced by switching waveforms within the *PECS*, multiple frequencies will be present simultaneously. In this case, a weighted peak summation of the spectrum according to ICNIRP guidelines or equivalent shall be used for evaluation of the field exposure with respect to the limit.

Table P.1 – Limits of EMF for general public exposure

Frequency range	Electric field strength [kV/m]	Magnetic field strength [A/m]	Magnetic flux density [T]
0 Hz to 1 Hz ^a	--	$3,2 \times 10^4$	4×10^{-2}
1 Hz to 8 Hz	5	$3,2 \times 10^4 / f^2$	$4 \times 10^{-2} / f^2$
8 Hz to 25 Hz	5	$4 \times 10^3 / f$	$5 \times 10^{-3} / f$
25 Hz to 50 Hz	5	$1,6 \times 10^2$	2×10^{-4}
50 Hz to 400 Hz	$2,5 \times 10^2 / f$	$1,6 \times 10^2$	2×10^{-4}
400 Hz to 3 kHz	$2,5 \times 10^2 / f$	$6,4 \times 10^4 / f$	$8 \times 10^{-2} / f$
3 kHz to 10 MHz	$8,3 \times 10^{-2}$	21	1×10^{-5}
– f in Hz. – values are valid for sinusoidal frequency exposure. Values are taken from ICNIRP guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz – 10 kHz) published in 2010, Table 4, Reference levels for general public exposure to time-varying electric and magnetic fields (unperturbed RMS values). ^a Values are taken from ICNIRP guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz) published in 1998, Table 7, Reference levels for general public exposure to time-varying electric and magnetic fields (unperturbed RMS values).			

Table P.2 – Limits of EMF for occupational exposure

Frequency range	Electric field strength [kV/m]	Magnetic field strength [A/m]	Magnetic flux density [T]
0 Hz to 1 Hz ^a	--	$1,63 \times 10^5$	0,2
1 Hz to 8 Hz	20	$1,63 \times 10^5/f^2$	$0,2/f^2$
8 Hz to 25 Hz	20	$2 \times 10^4/f$	$2,5 \times 10^{-2}/f$
25 Hz to 300 Hz	$5 \times 10^2/f$	8×10^2	1×10^{-3}
300 Hz to 3 kHz	$5 \times 10^2/f$	$2,4 \times 10^5/f$	$0,3/f$
3 kHz to 10 MHz	$1,7 \times 10^{-1}$	80	1×10^{-4}

– f in Hz.
 – Values are valid for sinusoidal frequency exposure.
 Values are taken from ICNIRP guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz – 10 kHz) published in 2010, Table 3, Reference levels for occupational exposure to time-varying electric and magnetic fields (unperturbed RMS values).
^a Values are taken from ICNIRP guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz) published in 1998, Table 6, Reference levels for occupational exposure to time-varying electric and magnetic fields (unperturbed RMS values).

Table P.3 – Limits for magnetic flux density of static magnetic fields (2013/35/EU)

Potential hazards	Magnetic flux density [mT]
Interference with active implanted devices, for example cardiac pacemakers	0,5
Attraction and projectile risk due to permanent magnets	3

Values are taken from European Directive 2013/35/EU – electromagnetic fields, Table B4 ALs for magnetic flux density of static magnetic fields

P.2.2 Limits of EMF exposure for transportation and storage

During transport and storage, the *PECS* is *de-energized*; however; the limits of Table P.3 apply.

Information should be provided to ensure protection of persons:

- the required distance in product package as well as without package; or
- other mean.

P.3 Protection of persons against exposure of EMF

P.3.1 General

In Clause P.3, the limits from ICNIRP in P.2.2 are adopted to match the conditions of *PECS*.

The following conditions have to be taken into account:

- normal operating conditions and *abnormal operating conditions* in
 - general public access areas; and
 - *general access areas, service access areas and restricted access areas*;
- passive and active implants;

- transportation and storage.

Due to experience based on EMC tests, emission of electromagnetic fields above 10 MHz is considered not relevant for *PECS*.

For requirements, see P.3.2, P.3.3 or P.3.4.

For compliance, see P.3.4

For marking, see Clause P.5.

P.3.2 EMF requirements for general public access areas

During normal operating conditions and *abnormal operating conditions*, pluggable enclosed *PECS* intended to be used in general public access areas should not exceed the limits from

- a) Table P.1 to protect persons with and without passive implants; and
- b) Table P.3 to protect persons with active implants (cardiac pacemaker).

NOTE Some countries have individual limits, for example Germany with 0,1 mT/50 Hz for active implants in the 26.BIschV (Bundesimmissionsschutz Verordnung der Bundesrepublik Deutschland).

The limits are valid at a distance of 0 cm from the surface of the *PECS*.

For *permanently connected PECS*, means may be required in the documentation to meet the requirements.

P.3.3 EMF requirements for general access areas, service access areas and restricted access areas

During normal operating conditions and *abnormal operating conditions*, enclosed *PECS* intended to be used in *general, service and restricted access areas* should not exceed the limits from

- a) Table P.2 to protect persons with and without passive implants; and
- b) Table P.3 to protect persons with active implants (cardiac pacemaker) if applicable.

The limits are valid at a distance of 25 cm from the surface.

For *open type PECS*, information about means for protection should be provided in the documentation, for example use of ferrous metal switchgear cabinets or distance.

NOTE Non ferrous *enclosures* provide no protection against EMF.

P.3.4 EMF requirements for transportation and storage

During transport and storage, the *PECS* is *de-energized*; however, the limits from Table P.3 apply when permanent magnets are provided as part of the *PECS*.

The limits are valid at a distance of 25 cm from the surface, packed or unpacked.

The force due to static magnetic fields should be taken into account.

P.4 Electromagnetic fields (EMF) test (*type test*)

P.4.1 General test set up for EMF

When required in 5.2.8 and P.3.1, P.3.3 or P.3.4, calculation, simulation or tests according to Table P.4 should be performed in a distance from the floor to cover the body of the person to protect, and the *PECS* is energized, to demonstrate compliance with the requirements.

In known applications, typical length of physical presence of persons may be taken into account.

See IEC 62311:2019 or EN 12198 (all parts) for more information.

P.4.2 EMF test (*type test*)

Calculation, simulation or tests should be performed according to Table P.4.

Table P.4 – EMF test overview

Access area	Requirements	Other means permitted
General public access	Table O.1 and Table P.3	No
<i>General access areas, service access areas and restricted access areas</i>	Table P.2 and Table P.3	Yes, e.g. distances or time limitation
Transportation and storage	Table P.3	Yes, e.g. distances or time limitation

P.5 Electromagnetic fields (EMF) marking

When required in P.3.1, P.3.2 or P.3.3, the *PECS* shall be marked with the symbol ISO 7010–W001:2011-05 or ISO 7000-0434:2006-12 (see Table C.1) and the documentation shall provide the following information.

When required in P.3.1, the documentation should provide the following information.

For operation:

- the claimed level of protection according to the applicable Table P.1, Table P.2 or Table P.3;
- other required mean in the installation, for example distance or time limitation; and
- the magnetic field strength and flux density of permanent magnets if provided.

For transport and storage:

- required distances in product package as well as without package; or
- other required mean; and
- handling information due to the force caused by the static magnetic field.

Annex Q (informative)

Maximum disconnection times

For information, 411.3.2 below was reproduced from IEC 60364-4-41:2005 and IEC 60364-4-41:2005/AMD1:2017.

NOTE The clause numbering of this Annex Q is taken from the source standard and cannot be modified.

411.3.2 Automatic disconnection in case of a fault

411.3.2.1 A protective device shall automatically switch off the supply to the line conductor of a circuit or equipment in the event of a fault of negligible impedance between the line conductor and an exposed-conductive-part or a protective conductor in the circuit or equipment within the disconnection time required in 411.3.2.2, 411.3.2.3 or 411.3.2.4.

The device shall be suitable for isolation of at least the line conductor(s).

411.3.2.2 The maximum disconnection time stated in Table 41.1 shall be applied to final circuits with a rated current not exceeding

- 63 A with one or more socket-outlets, and
- 32 A supplying only fixed connected current-using equipment.

NOTE 1 "fixed connected" in IEC 60364-4-41 is equivalent to "*permanently connected*" in this standard.

NOTE 2 "protective conductor" is equivalent to "*PE conductor*" in this standard.

NOTE 3 "line" is equivalent to "phase" in this standard.

Table 41.1 – Maximum disconnection times

System	50 V < $U_o \leq 120$ V		120 V < $U_o \leq 230$ V		230 V < $U_o \leq 400$ V		$U_o > 400$ V	
	s		s		s		s	
	AC	DC	AC	DC	AC	DC	AC	DC
TN	0,8	-- ^a	0,4	1	0,2	0,4	0,1	0,1
TT	0,3	-- ^a	0,2	0,4	0,07	0,2	0,04	0,1
Where in TT systems the disconnection is achieved by an <i>overcurrent protective device</i> or <i>short-circuit protective device</i> and the <i>protective equipotential bonding</i> is connected with all extraneous-conductive-parts within the <i>installation</i> , the maximum disconnection times applicable to TN systems may be used. U_o is the nominal AC or DC line to earth voltage.								
NOTE Where disconnection is provided by an RCD see Note to 411.4.4, Note 4 to 411.5.3 and Note to 411.6.4 b)								
^a Disconnection may be required for reasons other than protection against electric shock.								

411.3.2.3 In TN systems, a disconnection time not exceeding 5 s is permitted for distribution circuits, and for circuits not covered by 411.3.2.2.

411.3.2.4 In TT systems, a disconnection time not exceeding 1 s is permitted for distribution circuits and for circuits not covered by 411.3.2.2.

Annex R (informative)

Risk assessment according to IEC Guide 116

R.1 General

The purpose of this Annex R is to provide the user of this document with an overview about potential hazards according to IEC Guide 116.

This overview might be useful for the user during the risk evaluation according to 4.2.

If a hazard is present but risk mitigation of this hazard is not covered by this document, other standards, publications or literature describing available state-of-art knowledge should be used.

R.2 Risk assessment

Table R.1 provides information to the user, which risk is covered in this document and requirements and tests are given to minimize the hazards.

Table R.1 – Risk assessment

Requirement	Relevant yes/no?	Fulfilled by
A.2 Preliminary observations	Yes	Application of IEC Guide 116:2018, Annex A
A.3 Safety integration	Yes	Application of IEC Guide 116, in particular application of the "3-step-method": – inherent design measures; – protective measures; – user information.
A.4 Protection against electrical hazards		4.1, 4.2, 4.4, 4.5, 4.8, 4.9, 4.11, 4.12, 4.13, Annex A, Annex D, Annex E, Annex F, Annex M
Leakage current	Yes	4.4.4.3.3, 4.4.5.5, 4.4.8
Energy supply	Yes	4.4.7.1, 4.4.7.2, 4.8
Stored charges	Yes	4.4.9, 4.5
Arcs	Yes	4.4.7.8.2
Electric shock	Yes	4.4.1 to 4.4.9, 4.11, 4.12, 4.13, Annex A, Annex D, Annex E, Annex F, Annex M
Burns (DC and high frequency)	Yes	4.4.4.4, 4.4.5.5
A.5 Protection against mechanical hazards		4.1, 4.2, 4.7, 4.9, 4.12
Instability	Yes	4.12.5
Break-down during operation	Yes	4.12.1 to 4.12.4
Falling or ejected objects	Yes	4.4.3.3, 4.6.3.3.1, 4.7.3.3
Inadequate surfaces, edges or corners	Yes	4.7.4
Moving parts, especially where there may be variations in the rotational speed of parts	Yes	4.7.3
Vibration	Yes	4.9
Improper fitting of parts	Yes	4.11.6
A.6 Protection against other hazards		4.1, 4.2, 4.10, 4.14
A.6.2 Explosion	No	

Requirement	Relevant yes/no?	Fulfilled by
A.6.3 Hazards arising from electric, magnetic, and electromagnetic fields, other ionising and non-ionising radiation	Yes	4.14, Annex P
A.6.4 Electric, magnetic, and electromagnetic disturbances	Yes	Not covered
A.6.5 Optical radiation	No	
A.6.6 Fire	Yes	4.6.1 to 4.6.3
A.6.6.1 Break down of components (single fault condition)	Yes	4.2, 4.6.5
A.6.6.2 Short-circuit and overload protection (single fault condition)	Yes	4.2, 4.3
A.6.7 Temperature	Yes	4.6.4
A.6.8 Acoustic noise	Yes	4.10
A.6.9 Biological and chemical effects	Yes	4.9
A.6.10 Emissions, production and/or use of hazardous substances (e.g. gases, liquids, dusts, mists, vapour)	No	
A.6.11 Unattended operation	Yes	6.5.3
A.6.12 Connection to and interruption from power supply	Yes	4.2, 4.3, 4.4.4.4, 4.4.8, 4.8, 4.11
A.6.13 Combination of PECS and specified accessories	Yes	4.1, 4.2, 4.4.2.5
A.6.14 Implosion	No	
A.6.15 Hygiene conditions	No	
A.6.16 Ergonomics	Yes	
A.7 Functional safety and reliability	No	
A.7.2 PECS design	No	
A.7.3 Type related hazards	No	
A.7.4 System faults	No	
A.8 Safety-related security	No	
Allocate the requirements 1) to 3) to the categories a) to d) taking into account the foundational requirements I. to V.	No	
a) Protection against casual or coincidental violation	No	
b) Protection against intentional violation using simple means with low resources, generic skills and low motivation	No	
c) Protection against intentional violation using sophisticated means with moderate resources, specific skills related to the considered PECS and moderate motivation	No	
d) Protection against intentional violation using sophisticated means with extended resources, specific skills related to the considered PECS and high motivation	No	
A.9 Information requirements	Yes	6.1 to 6.5
Source: IEC Guide 116:2018, Table D.1.		

Annex S (informative)

Guidance to product technical committees

Annex S gives guidance to product technical committees that are using this document as a horizontal standard to develop a product specific standard by clause number.

4.3.1	The product committee shall specify if the output short-circuit test is required or not.
4.4.3	Further means to fulfill the requirement for <i>basic protection</i> are given in IEC 61140:2016. Product committees may consider those means.
4.4.4	Further means to fulfill the requirement for <i>fault protection</i> are given in IEC 61140:2016. Product committees may consider those means.
4.4.7.1.4	Product committees shall consider the determination of <i>overvoltage categories</i> for special applications.
4.4.7.2.4	Product committees shall determine the appropriate <i>overvoltage category</i> from Table 7, based on the <i>system voltage</i> and the maximum <i>impulse withstand voltage</i> likely to occur in their application. Special consideration may be applicable for product specific applications, which have not been considered in this document.
4.6.3.1	The product committee should specify that a <i>fire enclosure</i> is required or not.
Table 14	For magnetic <i>components</i> , not covered by the scope of IEC 61558 (all parts), product committees may define other limits in accordance with IEC 60085 and IEC 60216 (all parts).
4.6.4.3	Product committees shall consider the steady state temperature limits for specific products and environmental conditions.
6.1	Product committees shall clearly specify what is contained in the <i>PECS</i> , covered by and evaluated according to this document. This shall as a minimum cover the <i>PEC</i> including the load <i>port</i> and supply <i>port</i> .
Table 36	Where the environmental conditions are known to be lower, product committees may specify lower level or no vibration test according to Table 36. The acceptance criteria shall not be changed.
Table 37	Where the environmental conditions are known to be lower, product committees may specify lower level or no salt mist test according to Table 37. The acceptance criteria shall not be changed.
Table 39	Where the environmental conditions are known to be lower, product committees may specify lower level or no dust and sand test according to Table 39. The acceptance criteria shall not be changed.

Bibliography

IEC 60050 (all parts), *International Electrotechnical Vocabulary* (available at <http://www.electropedia.org>)

IEC 60050-411, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 411: Rotating machinery* (available at <http://www.electropedia.org>)

IEC 60050-903, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 903: Risk assessment* (available at <http://www.electropedia.org>)

IEC 60068-1:2013, *Environmental testing – Part 1: General and guidance*

IEC 60068-2-14, *Environmental testing – Part 2-14: Tests – Test N: Change of temperature*

IEC 60068-2-31:2008, *Environmental testing – Part 2-31: Tests – Test Ec: Rough handling shocks, primarily for equipment-type specimens*

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

IEC TR 60083:2015, *Plugs and socket-outlets for domestic and similar general use standardized in member countries of IEC*

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

IEC 60112:2020, *Method for the determination of the proof and the comparative tracking indices of solid insulating materials*

IEC 60204-1:2016, *Safety of machinery – Electrical equipment of machines – Part 1: General requirements*

IEC 60216 (all parts), *Electrical insulating materials – Thermal endurance properties*

IEC 60245 (all parts), *Rubber insulated cables – Rated voltages up to and including 450/750 V*

IEC 60320-1:2015, *Appliance couplers for household and similar general purposes – Part 1: General requirements*

IEC 60332-1-2:2004, *Tests on electric and optical fibre cables under fire conditions – Part 1-2: Test for vertical flame propagation for a single insulated wire or cable – Procedure for 1 kW pre-mixed flame*

IEC 60332-1-2:2004/AMD1:2015

IEC 60332-1-3:2004, *Tests on electric and optical fibre cables under fire conditions – Part 1-3: Test for vertical flame propagation for a single insulated wire or cable – Procedure for determination of flaming droplets/particles*

IEC 60332-1-3:2004/AMD1:2015

IEC 60332-2-2:2004, *Tests on electric and optical fibre cables under fire conditions – Part 2-2: Test for vertical flame propagation for a single small insulated wire or cable – Procedure for diffusion flame*

IEC 60364-1:2005, *Low-voltage electrical installations – Part 1: Fundamental principles, assessment of general characteristics, definitions*

IEC 60364-4-44:2007, *Low-voltage electrical installations – Part 4-44: Protection for safety – Protection against voltage disturbances and electromagnetic disturbances*
 IEC 60364-4-44:2007/AMD1:2015
 IEC 60364-4-44:2007/AMD2:2018

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

IEC 60364-5-53:2019, *Low voltage electrical installations – Part 5-53: Selection and erection of electrical equipment – Devices for safety, isolation, switching and control and monitoring*
 IEC 60364-5-53:2019/AMD1:2020

IEC 60445:2021, *Basic and safety principles for man-machine interface, marking and identification – Identification of equipment terminals, conductor terminations and conductors*

IEC TS 60479-1:2005, *Effects of current on human beings and livestock – Part 1: General*⁴

IEC 60479-1:2018, *Effects of current on human beings and livestock – Part 1: General aspects*

IEC TR 60479-5:2007, *Effects of current on human beings and livestock – Part 5: Touch voltage threshold values for physiological effects*

IEC 60695-10-3:2016, *Fire hazard testing – Part 10-3: Abnormal heat – Mould stress relief distortion test*

IEC 60695-11-5:2016, *Fire hazard testing – Part 11-5: Test flames – Needle-flame test method – Apparatus, confirmatory test arrangement and guidance*

IEC 60695-11-10:2013, *Fire hazard testing – Part 11-10: Test flames – 50 W horizontal and vertical flame test methods*

IEC 60721 (all parts), *Classification of environmental conditions*

IEC TR 60725:2012, *Consideration of reference impedances and public supply network impedances for use in determining the disturbance characteristics of electrical equipment having a rated current ≤ 75 A per phase*

IEC 60865 (all parts), *Short-circuit currents – Calculation of effects*

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

IEC 60909 (all parts), *Short-circuit currents in three-phase AC systems*

IEC 60909-0:2016, *Short-circuit currents in three-phase a.c. systems – Part 0: Calculation of currents*

IEC 60947 (all parts), *Low-voltage switchgear and controlgear*

IEC 60947-1:2020, *Low-voltage switchgear and controlgear – Part 1: General rules*

IEC 60947-2:2016, *Low-voltage switchgear and controlgear – Part 2: Circuit-breakers*
 IEC 60947-2:2016/AMD1:2019

⁴ This publication has been withdrawn.

IEC 60947-6-1:2021, *Low-voltage switchgear and controlgear – Part 6-1: Multiple function equipment – Transfer switching equipment*

IEC 60691, *Thermal-links – Requirements and application guide*

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

IEC 61084 (all parts), *Cable trunking systems and cable ducting systems for electrical installations*

IEC 61140:2016, *Protection against electric shock – Common aspects for installations and equipment*

IEC 61148:2011, *Terminal markings for valve device stacks and assemblies and for power conversion equipment*

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

IEC 61386 (all parts), *Conduit systems for cable management*

IEC 61439-1:2020, *Low-voltage switchgear and controlgear assemblies – Part 1: General rules*

IEC 61508 (all parts), *Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems*

IEC 61558 (all parts), *Safety of transformers, reactors, power supply units and combinations thereof*

IEC 61643-11:2011, *Low-voltage surge protective devices – Part 11: Surge protective devices connected to low-voltage power systems – Requirements and test methods*

IEC 61643-12, *Low-voltage surge protective devices – Part 12: Surge protective devices connected to low-voltage power systems – Selection and application principles*

IEC 62103:2003, *Electronic equipment for use in power installations*⁵

IEC 62311:2019, *Assessment of electronic and electrical equipment related to human exposure restrictions for electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz)*

IEC 62440:2008, *Electric cables with a rated voltage not exceeding 450/750 V – Guide to use*

IEC TR 62854:2014, *Sharp edge testing apparatus and test procedure for lighting equipment – Tests for sharpness of edge*

IEC 62955:2018, *Residual direct current detecting device (RDC-DD) to be used for mode 3 charging of electric vehicles*

IEC Guide 117:2010, *Electrotechnical equipment – Temperatures of touchable hot surfaces*

IEC/IEEE 82079-1:2019, *Preparation of information for use (instructions for use) of products – Part 1: Principles and general requirements*

⁵ This publication has been withdrawn.

ISO 3864-2:2016 *Graphical symbols – Safety colours and safety signs – Part 2: Design principles for product safety labels*

ISO 3864-4:2011, *Graphical symbols – Safety colours and safety signs – Part 4: Colorimetric and photometric properties of safety sign materials*

ISO 9772:2020, *Cellular plastics – Determination of horizontal burning characteristics of small specimens subjected to a small flame*

ISO 9773:1998, *Plastics – Determination of burning behaviour of thin flexible vertical specimens in contact with a small-flame ignition source*
ISO 9773:1998/AMD1:2003

ISO 21542:2021, *Building construction – Accessibility and usability of the built environment*

ANSI/ASTM E84-19b, *Standard test method for surface burning characteristics of building materials*

ASTM E162-16, *Standard test method for surface flammability of materials using a radiant heat energy source*

ANSI Z535.4 (all parts), *Product safety signs and labels*

CSA C22.2 No. 0.3-09:2009, *Test methods for electrical wires and cables*

Directive 2013/35/Eu of the European Parliament and of the Council of 26 June 2013 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields)

EN 12198 (all parts), *Sicherheit von Maschinen – Bewertung und Verminderung des Risikos der von Maschinen emittierten Strahlung*

ICNIRP LF Guidelines (1 Hz – 100 kHz) – 2010: Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric and Magnetic Fields (1 Hz – 100 kHz). Health Physics 99(6):818-836; 2010. (available at www.icnirp.org)

ICNIRP EMF Guidelines (up to 300 GHz) – 1998: Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz). Health Physics 74 (4): 494-522; 1998. and Response to Questions and Comments on ICNIRP EMF Guidelines. Health Physics 75 (4): 438-439; 1998. (available at www.icnirp.org)

NEMA 250:2018, *Enclosures for Electrical Equipment (1000 Volts Maximum)*

UL 2556 CSA C22.2 No. 2556-15:2015, *Wire and cable test methods*

UL 1439, *Standard for Tests for Sharpness of Edges on Equipment*

Relevant component safety standards

IEC 60065, *Audio, video and similar electronic apparatus – Safety requirements*

IEC 60127 (all parts), *Miniature fuses*

IEC 60227 (all parts), *Polyvinyl chloride insulated cables of rated voltages up to and including 450/750 V*

IEC 60245-1, *Rubber insulated cables – Rated voltages up to and including 450/750 V – Part 1: General requirements*

IEC 60309-1, *Plugs, fixed or portable socket-outlets and appliance inlets for industrial purposes – Part 1: General requirements*

IEC 60317 (all parts), *Specifications for particular types of winding wires*

IEC 60730 (all parts), *Automatic electrical controls*

IEC 60931 (all parts), *Shunt power capacitors of the non-self-healing type for a.c. systems having a rated voltage up to and including 1000 V*

IEC 60940, *Guidance information on the application of capacitors, resistors, inductors and complete filter units for electromagnetic interference suppression*

IEC 60947 (all parts), *Low-voltage switchgear and controlgear*

IEC 60950-1:2005, *Information technology equipment – Safety – Part 1: General requirements*
IEC 60950-1:2005/AMD1:2009

IEC 60691, *Thermal-links – Requirements and application guide*

IEC 61008 (all parts), *Residual current operated circuit-breakers without integral overcurrent protection for household and similar uses (RCCBs)*

IEC 61009 (all parts), *Residual current operated circuit-breakers with integral overcurrent protection for household and similar uses (RCBOs)*

IEC 61010-1, *Safety requirements for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use – Part 1: General requirements*

IEC 61051-2, *Varistors for use in electronic equipment – Part 2: Sectional specification for surge suppression varistors*

IEC 61058-1, *Switches for appliances – Part 1: General requirements*

IEC 61071, *Capacitors for power electronics*

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

IEC 61558-2-16, *Safety of transformers, reactors, power supply units and combinations thereof – Part 2-16: Particular requirements and tests for switch mode power supply units and transformers for switch mode power supply units for general applications*

IEC 61810-1, *Electromechanical elementary relays – Part 1: General and safety requirements*

IEC 61984, *Connectors – Safety requirements and tests*

IEC 62368-1:2018, *Audio/video, information and communication technology equipment – Part 1: Safety requirements*

IEC 62423, *Type F and type B residual current operated circuit-breakers with and without integral overcurrent protection for household and similar uses*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	260
INTRODUCTION	263
1 Domaine d'application	265
2 Références normatives	266
3 Termes et définitions	269
4 Protection contre les dangers	284
4.1 Généralités	284
4.2 <i>Conditions de premier défaut et conditions anormales de fonctionnement</i>	284
4.3 Protection contre les courts-circuits et les surintensités	285
4.3.1 Généralités	285
4.3.2 Capacité de tenue au court-circuit en entrée et au <i>courant de court-circuit en sortie</i>	287
4.3.3 Coordination en court-circuit (protection de secours)	288
4.3.4 Protection par plusieurs dispositifs	288
4.4 Protection contre les chocs électriques	289
4.4.1 Généralités	289
4.4.2 <i>Classe de tension déterminante</i>	291
4.4.3 Moyens de <i>protection principale</i> (protection contre le contact direct)	296
4.4.4 Moyens de <i>protection en cas de défaut</i> (protection contre le contact indirect)	297
4.4.5 Moyens de <i>protection renforcée</i>	307
4.4.6 Moyens de protection des classes de matériels	308
4.4.7 <i>Isolation</i>	310
4.4.8 Compatibilité avec les dispositifs de protection à courant différentiel résiduel (DDR)	328
4.4.9 Décharge de condensateurs	329
4.5 Protection contre les dangers dus à l'énergie électrique	329
4.5.1 <i>Zones d'accès général</i>	329
4.5.2 <i>Zones d'accès pour l'entretien</i>	330
4.6 Protection contre les dangers d'incendie et thermiques	331
4.6.1 Circuits qui représentent un danger d'incendie	331
4.6.2 <i>Composants</i> qui représentent un danger d'incendie	331
4.6.3 <i>Enveloppes contre le feu</i>	333
4.6.4 Limites de température	337
4.6.5 Sources à puissance limitée	340
4.7 Protection contre les dangers mécaniques	342
4.7.1 Généralités	342
4.7.2 Exigences spécifiques pour le <i>PECS</i> à refroidissement liquide	342
4.7.3 Dangers mécaniques des parties tournantes	344
4.7.4 Bords vifs	345
4.8 <i>PECS</i> à plusieurs sources d'alimentation	345
4.9 Protection contre les contraintes environnementales	346
4.10 Protection contre les dangers dus au bruit acoustique excessif	347
4.11 Câblage et raccordements	348
4.11.1 Généralités	348
4.11.2 <i>Isolation</i> des conducteurs	348
4.11.3 Câbles multibrins	350

4.11.4	Cheminement et serrage.....	350
4.11.5	Identification des conducteurs et des bornes	350
4.11.6	Epissures et raccordements.....	351
4.11.7	<i>Connexions accessibles</i>	351
4.11.8	Interconnexions entre les parties du <i>PECS</i>	352
4.11.9	Raccordement de l'alimentation	353
4.11.10	<i>Bornes de câblage sur site</i> et bornes internes	355
4.11.11	Moyens de raccordement du blindage des fils ou câbles blindés.....	357
4.12	<i>Enveloppes</i>	357
4.12.1	Généralités	357
4.12.2	Poignées et organes de commande manuels	358
4.12.3	Métaux coulés	358
4.12.4	Tôle	359
4.12.5	Exigence de stabilité pour <i>enveloppe</i>	362
4.12.6	Support d'attache	363
4.12.7	Relâchement des contraintes des <i>enveloppes</i> polymères.....	363
4.12.8	Résistance au rayonnement UV des <i>enveloppes</i> polymères.....	363
4.13	<i>Composants</i>	364
4.13.1	Généralités	364
4.13.2	Thermistances à PTC	364
4.13.3	Cordons d'alimentation <i>réseau</i>	364
4.13.4	Condensateurs et unités RC qui pontent l' <i>isolation</i>	364
4.13.5	Composants bobinés	365
4.13.6	Prises de courant.....	365
4.14	Protection contre les champs électromagnétiques.....	365
5	Exigences d'essai.....	365
5.1	Généralités	365
5.1.1	Objectifs et classification des essais.....	365
5.1.2	Sélection des échantillons pour les essais	366
5.1.3	Séquence d'essais.....	366
5.1.4	Conditions de mise à la terre	366
5.1.5	Conditions générales d'essai	366
5.1.6	Conformité.....	367
5.1.7	Vue d'ensemble des essais	368
5.2	Spécifications des essais.....	370
5.2.1	<i>Inspection visuelle (essai de type et essai individuel de série)</i>	370
5.2.2	Essais mécaniques	370
5.2.3	Essais électriques	379
5.2.4	Essais de <i>fonctionnement anormal</i> et de défauts simulés	401
5.2.5	Essais des matériaux.....	409
5.2.6	Essais d'environnement (<i>essais de type</i>)	414
5.2.7	Essai de pression hydrostatique (essai de type, essai individuel de série).....	419
5.2.8	Champs électromagnétiques.....	420
6	Exigences relatives aux informations et au marquage.....	420
6.1	Généralités	420
6.2	Informations pour le choix.....	422
6.2.1	Généralités	422
6.2.2	Instructions et marquages relatifs aux <i>accessoires</i>	424

6.3	Informations pour l'installation et la mise en service.....	424
6.3.1	Généralités.....	424
6.3.2	Considérations d'ordre mécanique.....	424
6.3.3	Environnement.....	424
6.3.4	Manutention et montage.....	425
6.3.5	<i>Température</i> de l'enveloppe.....	425
6.3.6	<i>PECS de type ouvert</i>	425
6.3.7	Connexions.....	425
6.3.8	Mise en service.....	427
6.3.9	Exigences de protection.....	427
6.4	Informations relatives à l'utilisation prévue.....	430
6.4.1	Généralités.....	430
6.4.2	Réglage.....	430
6.4.3	Étiquettes, panneaux, symboles et signaux.....	430
6.4.4	Surfaces brûlantes.....	433
6.4.5	Contrôle et marquage des dispositifs.....	433
6.5	Informations supplémentaires.....	433
6.5.1	Maintenance.....	433
6.5.2	Décharge de condensateurs.....	434
6.5.3	Redémarrage automatique/connexion de dérivation.....	434
6.5.4	Autres dangers.....	434
6.5.5	<i>PECS</i> à plusieurs sources d'alimentation.....	434
6.5.6	Fusibles remplaçables en neutre du <i>PECS</i> monophasé.....	435
Annexe A (normative)	Informations supplémentaires pour la protection contre les chocs électriques.....	436
A.1	Généralités.....	436
A.2	Protection au moyen de la <i>DVC As</i>	436
A.3	Protection au moyen de l' <i>impédance de protection</i>	436
A.4	Protection au moyen de tensions limitées.....	437
A.5	Évaluation de la <i>tension de fonctionnement</i> des circuits.....	438
A.5.1	Généralités.....	438
A.5.2	Classification de la <i>tension de fonctionnement</i>	438
A.5.3	<i>Tension de fonctionnement</i> en courant alternatif.....	439
A.5.4	<i>Tension de fonctionnement</i> en courant continu.....	440
A.5.5	<i>Tension de fonctionnement</i> pulsante.....	440
A.6	Concept des moyens de protection selon 4.4.....	441
A.6.1	Généralités.....	441
A.6.2	Exemples d'utilisation des éléments de moyens de protection.....	441
Annexe B (informative)	Considérations relatives à la réduction du <i>degré de pollution</i>	444
B.1	Généralités.....	444
B.2	Facteurs d'influence du <i>degré de pollution</i>	444
B.3	Réduction des facteurs d'influence.....	444
Annexe C (informative)	Symboles référencés dans le présent document.....	445
C.1	Symboles utilisés.....	445
C.2	Détermination du contraste.....	446
Annexe D (normative)	Évaluation des <i>distances d'isolement</i> et des <i>lignes de fuite</i>	448
D.1	Mesure.....	448
D.2	Relation entre la mesure et le <i>degré de pollution</i>	448
D.3	Exemples.....	449

Annexe E (normative) Correction d'altitude pour les <i>distances d'isolement</i>	455
E.1 Facteur de correction pour les <i>distances d'isolement</i> à des altitudes supérieures à 2 000 m	455
E.2 Tensions d'essai pour la vérification des <i>distances d'isolement</i> à des altitudes différentes	455
Annexe F (normative) Détermination de la <i>distance d'isolement</i> et de la <i>ligne de fuite</i> pour des fréquences supérieures à 30 kHz	457
F.1 Influence générale de la fréquence sur les caractéristiques de tenue de tension de choc	457
F.2 <i>Distance d'isolement</i>	457
F.2.1 Généralités	457
F.2.2 <i>Distance d'isolement</i> pour des champs non homogènes	458
F.2.3 <i>Distance d'isolement</i> pour des champs presque homogènes	459
F.3 <i>Ligne de fuite</i>	460
F.4 <i>Isolation solide</i>	461
F.4.1 Généralités	461
F.4.2 Distribution de champs presque uniformes sans distances dans l'air ou vides	461
F.4.3 Autres cas	462
Annexe G (informative) Sections de conducteurs ronds	463
Annexe H (informative) Principes directeurs pour la compatibilité des DDR	464
H.1 Choix du type de DDR	464
H.2 Formes d'ondes des courants de défaut	465
Annexe I (informative) Exemples de réduction de <i>catégorie de surtension</i>	468
I.1 Généralités	468
I.2 Protection par rapport à l'environnement (voir 4.4.7.2)	468
I.2.1 Circuits connectés au <i>réseau</i> (voir 4.4.7.2.3)	468
I.2.2 Circuits connectés à une <i>alimentation non raccordée directement au réseau</i> (voir 4.4.7.2.4)	471
I.2.3 Protection entre circuits (voir 4.4.7.2.7)	471
I.3 <i>Isolation fonctionnelle</i> (voir 4.4.7.3)	472
I.4 Autres exemples	472
I.5 Circuits avec raccordement multiple à l'alimentation (voir 4.4.7.2.1)	473
Annexe J (informative) Seuils de brûlure pour les surfaces accessibles au toucher	474
J.1 Généralités	474
J.2 Seuils de brûlure	474
Annexe K (informative) Tableau des potentiels électrochimiques	478
Annexe L (informative) Instrument de mesure du <i>courant de contact</i>	479
L.1 Instrument de mesure 1	479
L.2 Instrument de mesure 2	479
L.3 Instrument de mesure 3	480
Annexe M (normative) Calibres d'essai pour détermination de l'accès	481
Annexe N (informative) Recommandations relatives au courant de court-circuit	484
N.1 Généralités	484
N.2 Coordination du courant de court-circuit	485
N.2.1 Généralités	485
N.2.2 <i>Courant de court-circuit conditionnel (I_{CC}) et valeur minimale exigée du courant de court-circuit présumé (I_{cp}, mr)</i>	485

N.2.3	<i>Courant de courte durée admissible (I_{CW})</i>	487
N.3	Recommandations relatives à la spécification du courant de court-circuit et du <i>dispositif de protection contre les courts-circuits</i>	488
N.3.1	Généralités	488
N.3.2	Exemple 1: Deux <i>PECS</i> ou plus avec différentes valeurs assignées	489
N.3.3	Spécification de I_{CC}	490
N.3.4	Spécification de I_{CW}	491
N.3.5	Exemple 2: Un <i>PECS</i> avec plusieurs valeurs assignées.....	491
N.3.6	Explications complémentaires sur les termes, définitions et spécifications.....	493
N.4	Courant de court-circuit assigné et essais en <i>conditions de premier défaut</i>	494
N.4.1	Généralités	494
N.4.2	Exemption des essais de <i>courant de courte durée admissible</i>	496
N.5	Lignes directrices pour l'analyse des courts-circuits	497
Annexe O (informative)	Lignes directrices pour la détermination des <i>distances d'isolement</i> et des <i>lignes de fuite</i>	498
O.1	Lignes directrices pour la détermination des <i>distances d'isolement</i>	498
O.2	Lignes directrices pour la détermination des <i>lignes de fuite</i>	499
O.3	Espacements minimaux dans l' <i>isolation solide</i> ou similaire	499
Annexe P (informative)	Protection des personnes contre les champs électromagnétiques pour des fréquences comprises entre 0 Hz et 300 GHz	501
P.1	Influence générale des champs électromagnétiques sur les personnes	501
P.1.1	Généralités	501
P.1.2	Effets des champs électriques à basse fréquence (de 1 Hz à 100 kHz).....	501
P.1.3	Effets des champs magnétiques à basse fréquence (de 1 Hz à 100 kHz).....	501
P.1.4	Effets des champs électriques et magnétiques à basse fréquence	501
P.1.5	Effets des champs électromagnétiques à haute fréquence (de 100 kHz à 300 GHz)	502
P.1.6	Connaissances actuelles sur les effets à faible niveau.....	502
P.1.7	Effets biologiques et effets nocifs sur la santé	502
P.1.8	Influence des champs électromagnétiques sur les implants médicaux passifs et actifs.....	502
P.2	Exigences issues des lignes directrices de l'ICNIRP relatives aux basses fréquences concernant l'exposition aux champs électromagnétiques	503
P.2.1	Adoption des limites d'exposition de l'ICNIRP	503
P.2.2	Limites d'exposition aux champs électromagnétiques pour le transport et le stockage	505
P.3	Protection des personnes contre l'exposition aux champs électromagnétiques.....	505
P.3.1	Généralités	505
P.3.2	Exigences relatives aux champs électromagnétiques pour les zones d'accès de la population générale.....	506
P.3.3	Exigences relatives aux champs électromagnétiques pour les zones d'accès général, les zones d'accès pour l'entretien et les zones d'accès limité	506
P.3.4	Exigences relatives aux champs électromagnétiques pour le transport et le stockage	506
P.4	Essai des champs électromagnétiques (<i>essai de type</i>).....	506
P.4.1	Montage d'essai général pour les champs électromagnétiques	506
P.4.2	Essai des champs électromagnétiques (<i>essai de type</i>)	507
P.5	Marquage des champs électromagnétiques.....	507

Annexe Q (informative) Temps de coupure maximaux.....	508
411.3.2 Coupure automatique de l'alimentation en cas de défaut	508
Annexe R (informative) Appréciation du risque selon le Guide 116 de l'IEC	509
R.1 Généralités	509
R.2 Appréciation du risque	509
Annexe S (informative) Recommandations à l'intention des comités d'études de produits	511
Bibliographie.....	512
 Figure 1 – Moyens de protection contre les chocs électriques pour les <i>matériels de classe I</i> et de <i>classe II</i>	290
Figure 2 – Moyens de protection contre les chocs électriques pour les <i>matériels de classe III</i> ou les <i>circuits de DVC As accessibles</i>	291
Figure 3 – Exemple d'assemblage <i>PECS</i> et sa <i>liaison équipotentielle de protection</i> associée	299
Figure 4 – Exemple d'assemblage <i>PECS</i> et sa <i>liaison équipotentielle de protection</i> associée par contact métallique direct	300
Figure 5 – Zones temps-tension pour les <i>circuits de DVC As</i> et de <i>DVC B accessibles</i> – Tension continue en <i>conditions de premier défaut</i>	304
Figure 6 – Zones temps-tension pour les <i>circuits de DVC As</i> et de <i>DVC B accessibles</i> – Tension alternative de crête en <i>conditions de premier défaut</i>	305
Figure 7 – Zones temps-tension pour les <i>parties accessibles</i> conductrices en <i>conditions de premier défaut</i>	306
Figure 8 – Ouvertures dans le fond d'une <i>enveloppe contre le feu</i> sous un <i>composant</i> qui représente un danger d'incendie non enfermé ou partiellement enfermé	335
Figure 9 – Construction de l' <i>enveloppe contre le feu</i> avec plaque écran	336
Figure 10 – Exemple d'interconnexions au sein d'un <i>PECS</i> <i>lié en permanence</i> et entre ses parties	348
Figure 11 – Exemple de câble comme dispositif de conducteurs isolés	349
Figure 12 – Cordons d'alimentation <i>réseau</i> détachables et connexions	354
Figure 13 – Exemple d'évaluation de l'espace de courbure des fils	357
Figure 14 – Parties d' <i>enveloppe</i> avec et sans châssis support	359
Figure 15 – Essai de choc en utilisant la sphère d'acier	376
Figure 16 – Procédures d'essai de tension.....	387
Figure 17 – Procédure d'essai de décharge partielle.....	389
Figure 18 – Essai d'impédance de la <i>liaison équipotentielle de protection</i> pour <i>PECS</i> séparé alimenté par le <i>PECS</i> avec protection du câble d'alimentation.....	394
Figure 19 – Essai d'impédance de la <i>liaison équipotentielle de protection</i> pour sous-ensemble avec <i>parties accessibles</i> et alimenté par le <i>PECS</i>	395
Figure 20 – Instrument d'essai de rigidité électrique	398
Figure 21 – Mandrin.....	399
Figure 22 – Position initiale du mandrin	400
Figure 23 – Position finale du mandrin	400
Figure 24 – Position de la feuille métallique sur le matériau isolant.....	400
Figure 25 – Circuit pour essai de formation d'arc à courant élevé	410
Figure 26 – Montage pour essai d'inflammation au fil chaud	411
Figure A.1 – Protection au moyen de la <i>DVC As</i> avec <i>protection renforcée</i>	436

Figure A.2 – Protection au moyen de l' <i>impédance de protection</i>	437
Figure A.3 – Protection au moyen de tensions limitées	437
Figure A.4 – Forme d'onde type pour la <i>tension de fonctionnement</i> en courant alternatif	439
Figure A.5 – Forme d'onde type pour la <i>tension de fonctionnement</i> en courant continu	440
Figure A.6 – Forme d'onde type pour la <i>tension de fonctionnement</i> pulsante	440
Figure D.1 – Exemple de mesures qui comporte une rainure	449
Figure D.2 – Exemple de mesures qui comporte une rainure	449
Figure D.3 – Exemple de mesures qui comporte une rainure	449
Figure D.4 – Exemple de mesures qui comporte une nervure	450
Figure D.5 – Exemple de mesures qui assure une protection de type 2	450
Figure D.6 – Exemple de mesures qui assure une protection de type 1	450
Figure D.7 – Exemple de mesures qui assure une protection de type 1	451
Figure D.8 – Exemple de mesures qui assure une protection de type 1	451
Figure D.9 – Exemple de mesures qui comprend une barrière (joint scellé)	451
Figure D.10 – Exemple de mesures qui comprend une barrière	452
Figure D.11 – Exemple de mesures qui comporte une ouverture	452
Figure D.12 – Exemple de mesures qui comporte une ouverture	453
Figure D.13 – Exemple de mesures qui comporte une partie conductrice isolée	453
Figure D.14 – Exemple de mesures dans la couche interne d'une carte à circuit imprimé	453
Figure D.15 – Exemple de mesures sur une <i>enveloppe</i> d'un matériau isolant par rapport à une partie à l'intérieur	454
Figure F.1 – Schéma de dimensionnement des <i>distances d'isolement</i>	458
Figure F.2 – Schéma de dimensionnement des <i>lignes de fuite</i>	460
Figure F.3 – Champ admissible pour le dimensionnement de l' <i>isolation solide</i> selon la Formule (F.1)	462
Figure H.1 – Organigramme de sélection du type de DDR en amont d'un <i>PECS</i>	464
Figure H.2 – Symboles de marquage selon le type de DDR	465
Figure H.3 – Formes d'ondes des courants de défaut dans des montages avec <i>convertisseurs électroniques de puissance</i>	467
Figure I.1 – Evaluation de la <i>protection principale</i> pour les circuits connectés à la source du <i>réseau</i> de l' <i>installation</i>	468
Figure I.2 – Evaluation de la <i>protection principale</i> pour les circuits connectés au <i>réseau</i>	469
Figure I.3 – Evaluation de la <i>protection principale</i> pour les matériels mono et triphasés non reliés en permanence au <i>réseau</i>	469
Figure I.4 – Evaluation de la <i>protection principale</i> pour les circuits connectés à la source du <i>réseau</i> de l' <i>installation</i> où des <i>dispositifs de protection contre les surtensions (SPD)</i> internes sont utilisés	469
Figure I.5 – Evaluation de la <i>protection principale</i> pour les circuits connectés au <i>réseau</i> où des <i>dispositifs de protection contre les surtensions (SPD)</i> internes sont utilisés	470
Figure I.6 – Exemple d'évaluation de la <i>protection renforcée</i> pour les circuits connectés au <i>réseau</i> où des <i>dispositifs de protection contre les surtensions (SPD)</i> internes sont utilisés	470
Figure I.7 – Exemple d'évaluation de la <i>protection renforcée</i> pour les circuits connectés au <i>réseau</i> où des <i>dispositifs de protection contre les surtensions (SPD)</i> internes sont utilisés	470

Figure I.8 – Exemple d'évaluation de la <i>protection renforcée</i> pour les circuits connectés au réseau où des <i>dispositifs de protection contre les surtensions (SPD)</i> internes sont utilisés	471
Figure I.9 – Evaluation de la <i>protection principale</i> pour les circuits connectés à l'alimentation non raccordée directement au réseau	471
Figure I.10 – Evaluation de l' <i>isolation principale</i> pour les circuits connectés à la source de l'alimentation non raccordée directement au réseau de l'installation	471
Figure I.11 – Evaluation de l' <i>isolation fonctionnelle</i> des circuits affectés par les transitoires externes	472
Figure I.12 – Evaluation de la <i>protection principale</i> pour les circuits connectés au réseau	472
Figure I.13 – Evaluation de l' <i>isolation</i> pour un circuit accessible de DVC As	472
Figure I.14 – PEC avec réseau et alimentation non raccordée directement au réseau sans isolation galvanique	473
Figure I.15 – Convertisseur PEC protégé par des transformateurs (de base) avec dispositif de protection contre les surtensions (SPD) et transformateur pour réduction de la tension de choc pour la protection fonctionnelle et la <i>protection principale</i>	473
Figure J.1 – Répartition du seuil de brûlure lorsque la peau est en contact avec une surface lisse brûlante en métal nu (non revêtu)	474
Figure J.2 – Augmentation de la répartition du seuil de brûlure de la Figure J.1 pour les métaux revêtus d'une gomme-laque	475
Figure J.3 – Augmentation de la répartition du seuil de brûlure de la Figure J.1 pour les métaux revêtus de matériaux particuliers	475
Figure J.4 – Répartition du seuil de brûlure lorsque la peau est en contact avec une surface lisse brûlante constituée de céramique, verre et pierres	476
Figure J.5 – Répartition du seuil de brûlure lorsque la peau est en contact avec une surface lisse brûlante en plastique	477
Figure L.1 – Instrument de mesure 1	479
Figure L.2 – Instrument de mesure 2	479
Figure M.1 – Calibre sphérique de 50 mm selon l'IEC 61032:1997, calibre d'essai A	481
Figure M.2 – Doigt d'essai articulé selon l'IEC 61032:1997, calibre d'essai B	482
Figure M.3 – Tige d'essai de 2,5 mm selon l'IEC 61032:1997, calibre d'essai C	483
Figure M.4 – Calibre d'essai sphérique de 12,5 mm selon l'IEC 61032:1997, calibre d'essai 2	483
Figure N.1 – Exemple de courbe de courant de court-circuit selon la spécification de I_{CC}	486
Figure N.2 – Exemple de caractéristique de déclenchement d'un disjoncteur	487
Figure N.3 – Exemple de caractéristique de déclenchement d'un fusible limiteur de courant	487
Figure N.4 – Exemple de courbe de courant de court-circuit selon la spécification de I_{CW}	488
Figure N.5 – Deux PECS avec différentes spécifications	490
Figure N.6 – Un PECS avec spécification différente pour chaque accès d'entrée du réseau	492
Figure N.7 – Organigramme pour la classification de I_{CC} ou de I_{CW}	495
Figure O.1 – Organigramme pour la détermination de la <i>distance d'isolement</i>	498
Figure O.2 – Organigramme pour la détermination de la <i>ligne de fuite</i>	499

Tableau 1 – Liste alphabétique des termes	270
Tableau 2 – Limites de tension pour les <i>classes de tension déterminante DVC</i>	294
Tableau 3 – Exigences minimales de protection pour le circuit à l'étude	295
Tableau 4 – Section du <i>conducteur de mise à la terre de protection</i>	301
Tableau 5 – Limites d'accès du <i>courant de contact</i>	308
Tableau 6 – Définitions des <i>degrés de pollution</i>	311
Tableau 7 – <i>Tension de tenue aux chocs et surtension temporaire</i> par rapport à la <i>tension système</i>	314
Tableau 8 – <i>Distances d'isolement</i> pour l' <i>isolation fonctionnelle</i> , l' <i>isolation principale</i> ou l' <i>isolation supplémentaire</i> pour des champs non homogènes	319
Tableau 9 – <i>Lignes de fuite</i>	322
Tableau 10 – Matériaux génériques utilisés pour le support direct des <i>parties actives</i> non isolées	324
Tableau 11 – Exigences d'épaisseur du matériau pelliculé à travers l' <i>isolation</i>	325
Tableau 12 – Classe d'inflammabilité et normes de classification	331
Tableau 13 – Ouvertures admissibles dans les fonds des <i>enveloppes contre le feu</i>	336
Tableau 14 – Températures totales maximales mesurées pour les <i>composants</i> et matériaux internes	338
Tableau 15 – Températures maximales mesurées pour les <i>parties accessibles</i> du <i>PECS</i>	340
Tableau 16 – Limites des sources de puissance sans <i>dispositif de protection contre les surintensités</i>	341
Tableau 17 – Limites des sources de puissance avec <i>dispositif de protection contre les surintensités</i>	342
Tableau 18 – Conditions environnementales de service	347
Tableau 19 – Espace de courbure des fils des bornes à l' <i>enveloppe</i>	356
Tableau 20 – Epaisseur des tôles d' <i>enveloppes</i> : acier au carbone ou acier inoxydable	361
Tableau 21 – Epaisseur des tôles d' <i>enveloppes</i> : aluminium, cuivre ou laiton	362
Tableau 22 – Conditions environnementales des essais	367
Tableau 23 – Vue d'ensemble des essais	368
Tableau 24 – Valeurs de l'effort de traction pour la fixation des poignées et organes de contrôle manuels	378
Tableau 25 – Valeurs pour les essais physiques de relâchement des contraintes de l' <i>enveloppe</i>	379
Tableau 26 – Procédure d'essai de <i>tension de tenue aux chocs</i>	380
Tableau 27 – Essai de <i>tension de tenue aux chocs</i>	382
Tableau 28 – Tension d'essai alternative ou continue pour circuits raccordés directement au <i>réseau</i>	384
Tableau 29 – Tension d'essai alternative ou continue pour circuits connectés à une <i>alimentation non raccordée directement au réseau sans surtensions temporaires</i>	384
Tableau 30 – Essai de décharge partielle	389
Tableau 31 – Durée de l'essai de <i>liaison équipotentielle de protection</i>	396
Tableau 32 – Essai de tenue au <i>courant alternatif de courte durée admissible</i> , exigences minimales applicables au <i>PECS</i>	406
Tableau 33 – Essais d'environnement	415
Tableau 34 – Essai de chaleur sèche (régime permanent)	416
Tableau 35 – Essai de chaleur humide (régime permanent)	417

Tableau 36 – Essai de vibration	418
Tableau 37 – Essai au brouillard salin	418
Tableau 38 – Essai de poussière	419
Tableau 39 – Essai de sable	419
Tableau 40 – Emplacement des marquages	421
Tableau A.1 – Exemples de protection contre les chocs électriques	442
Tableau C.1 – Symboles utilisés	445
Tableau D.1 – Largeur des rainures en fonction du <i>degré de pollution</i>	448
Tableau E.1 – Facteur de correction pour les <i>distances d'isolement</i> à des altitudes comprises entre 2 000 m et 20 000 m	455
Tableau E.2 – Tensions d'essai pour la vérification des <i>distances d'isolement</i> à des altitudes différentes	456
Tableau F.1 – Valeurs minimales des <i>distances d'isolement</i> dans l'air à la pression atmosphérique dans des conditions de champs non homogènes	459
Tableau F.2 – Facteurs multiplicatifs pour les <i>distances d'isolement</i> dans l'air à la pression atmosphérique pour des conditions de champs presque homogènes	459
Tableau F.3 – Valeurs minimales des <i>lignes de fuite</i> pour différentes plages de fréquences	461
Tableau G.1 – Sections normales de conducteurs ronds	463
Tableau K.1 – Tableau des potentiels électrochimiques	478
Tableau O.1 – Espacements minimaux dans l' <i>isolation solide</i> ou similaire	500
Tableau P.1 – Limites des champs électromagnétiques pour l'exposition de la population générale	504
Tableau P.2 – Limites des champs électromagnétiques pour l'exposition professionnelle	504
Tableau P.3 – Limites pour une induction magnétique de champs magnétiques statiques (2013/35/UE)	505
Tableau P.4 – Vue d'ensemble des essais des champs électromagnétiques	507
Tableau 41.1 – Temps de coupure maximaux	508
Tableau R.1 – Appréciation du risque	509

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

EXIGENCES DE SÉCURITÉ APPLICABLES AUX SYSTÈMES ET MATÉRIELS ÉLECTRONIQUES DE CONVERSION DE PUISSANCE –

Partie 1: Généralités

AVANT-PROPOS

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

L'IEC 62477-1 a été établie par le comité d'études 22 de l'IEC: Systèmes et équipements électroniques de puissance. Il s'agit d'une Norme internationale.

Le présent document a été élaboré conformément à l'objet du Guide 51 de l'ISO/IEC et du Guide 116 de l'IEC.

Il a le statut d'une publication groupée de sécurité conformément au Guide 104 de l'IEC.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 2012 et son Amendement 1:2016. Cette édition constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente:

- a) ajout des PECS qui émettent ou reçoivent des ondes radioélectriques au Domaine d'application;
- b) simplification du concept de DVC As, y compris les zones tension-temps;
- c) amélioration de la cohérence entre le concept de protection et le concept d'isolement conformément à l'IEC 61140;
- d) mise à jour des limites pour le courant de contact et ajout de limites pour les courants de conducteurs de mise à la terre de protection;
- e) révision des matériaux pelliculés ou rubans et ajout d'essais;
- f) ajout des couches internes des cartes à circuit imprimé multicouches;
- g) mise à jour des dangers mécaniques;
- h) mise à jour des exigences relatives aux enveloppes;
- i) mise à jour des exigences relatives aux câblages et raccordements;
- j) mise à jour des exigences relatives aux enveloppes polymères;
- k) ajout d'exigences pour les composants;
- l) ajout de plusieurs essais (par exemple UV, tension de fonctionnement, SPD, préconditionnement);
- m) mise à jour des exigences relatives aux informations et au marquage;
- n) ajout d'exigences relatives au contraste des symboles;
- o) mise à jour de plusieurs annexes.

Le texte de cette Norme internationale est issu des documents suivants:

Projet	Rapport de vote
22/355/FDIS	22/356/RVD

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

La langue employée pour l'élaboration de cette Norme internationale est l'anglais.

Le présent document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2, il a été développé selon les Directives ISO/IEC, Partie 1 et les Directives ISO/IEC, Supplément IEC, disponibles sous www.iec.ch/members_experts/refdocs. Les principaux types de documents développés par l'IEC sont décrits plus en détail sous www.iec.ch/standardsdev/publications.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 62477, publiées sous le titre général *Exigences de sécurité applicables aux systèmes et matériels électroniques de conversion de puissance*, se trouve sur le site web de l'IEC.

Dans le présent document, les termes en *italique* sont définis à l'Article 3.

NOTE En raison de l'exigence donnée dans la Directive ISO/IEC Partie 2, le terme défini est au singulier. Dans le présent document, les formes au pluriel sont également données en *italique*.

Le comité a décidé que le contenu du présent document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives au document recherché. A cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62477-1:2022

INTRODUCTION

Le présent document porte sur les produits tels que les *convertisseurs de puissance électronique*, dont la *tension système* assignée ne dépasse pas 1 000 V en courant alternatif ou 1 500 V en courant continu. Il spécifie les exigences destinées à réduire les risques d'incendie, de choc électrique, thermiques, mécaniques ou liés au niveau d'énergie, à l'exception de ceux concernant la sécurité fonctionnelle telle que définie dans l'IEC 61508 (toutes les parties). Le présent document a pour objectif d'établir une terminologie et des bases communes à plusieurs comités d'études de l'IEC en matière d'exigences de sécurité pour les produits comprenant des *convertisseurs de puissance électronique*.

Lors de la mise à jour du document, les commentaires des comités d'études qui utilisaient l'IEC 62477-1 comme document de référence ont été pris en compte.

Des modifications ont été apportées au 4.4.2 et à l'Annexe A en prenant en compte la tension de contact de sécurité de *DVC As* en conditions normales de fonctionnement et en *conditions de premier défaut*. A la demande des CE qui utilisent le présent document comme document de référence, la détermination de la *DVC As* a été simplifiée. La détermination de la *DVC As* dans l'IEC 62477-1:2012 et l'IEC 62477-1:2012/AMD1:2016 a été établie à partir de l'IEC TS 60479-1:2005¹ et de l'IEC TR 60479-5:2007 et en prenant en compte différentes conditions d'environnement, la taille de la surface de contact du corps et la réaction du corps. Cette modification incluait également les zones temps-tension de l'Annexe A concernant les réactions du corps, les conditions d'environnement et la surface de contact correspondantes.

NOTE Voir l'IEC 60479-1:2018 pour de plus amples informations sur les effets du courant sur l'homme et les animaux domestiques.

Le présent document suit les concepts simplifiés du 5.2.6 de la norme fondamentale de sécurité IEC 61140:2016, en prenant en compte deux situations du Tableau 2 du présent document:

- a) les grandes surfaces de contact sèches;
- b) tous les autres cas.

Concernant l'augmentation temporaire de la tension en *conditions de premier défaut*, il a été décidé d'utiliser l'approche plus simplifiée pour limiter la tension à la tension maximale de la *DVC B*, qui est également utilisée par d'autres comités.

Le présent document a été élaboré afin:

- d'être utilisé comme document de référence par les comités de produits du TC 22 pour l'élaboration de normes de produits applicables aux *systèmes* et matériels *électroniques de conversion de puissance*;
- de remplacer l'IEC 62103² en tant que norme de famille de produits fournissant les exigences minimales relatives à la sécurité des *systèmes* et matériels *électroniques de conversion de puissance* dans les appareils pour lesquels il n'existe aucune norme de produits; et

NOTE Le domaine d'application de l'IEC 62103 comprend les aspects relatifs à la fiabilité et à la compatibilité électromagnétique, qui ne sont pas couverts par le présent document.

- d'être utilisé comme un document de référence par les comités de produits en dehors du CE 22 pour l'élaboration de normes de produits applicables aux *systèmes* et matériels *électroniques de conversion de puissance* destinés à être utilisés avec des sources d'énergie renouvelable. Les CE 82, CE 88, CE 105 et CE 114, en particulier, ont été identifiés comme comités d'études concernés au moment de la publication.

¹ Cette publication a été annulée.

² Cette publication a été annulée

Il convient que les comités d'études qui utilisent le présent document tiennent tout particulièrement compte de la pertinence de chaque alinéa du présent document pour le produit à l'étude, et fassent référence aux exigences, en ajoutent, les remplacent ou les modifient selon les cas. Les sujets spécifiques aux produits non couverts par le présent document relèvent de la responsabilité des comités d'études qui utilisent le présent document comme document de référence.

La présente norme groupée de sécurité ne prévaut nullement sur toute norme spécifique de produits conformément au Guide 104 de l'IEC. Le Guide 104 de l'IEC fournit des informations sur la responsabilité des comités de produits dans l'utilisation de normes groupées de sécurité pour le développement de leurs propres normes de produits.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62477-1:2022

EXIGENCES DE SÉCURITÉ APPLICABLES AUX SYSTÈMES ET MATÉRIELS ÉLECTRONIQUES DE CONVERSION DE PUISSANCE –

Partie 1: Généralités

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 62477 s'applique aux *systèmes électroniques de conversion de puissance (PECS)*, à tout *accessoire* spécifié, ainsi qu'à leurs *composants* pour la *conversion de puissance électronique* et la commande (ouverture et fermeture) électronique de puissance, y compris les moyens de commande, de protection, de surveillance et de mesure, qui ont pour principale fonction la conversion de puissance électrique, d'une *tension* système assignée qui ne dépasse pas 1 000 V en courant alternatif ou 1 500 V en courant continu.

Le présent document s'applique également aux *PECS* qui émettent ou reçoivent intentionnellement des ondes radioélectriques à des fins de radiocommunication.

Le présent document peut également être utilisé comme norme de référence par les comités de produits qui élaborent des normes de produits applicables aux:

- systèmes d'entraînement électrique de puissance à vitesse variable (PDS, *Power Drive Systems*);
- alimentations sans interruption (ASI) autonomes;
- alimentations stabilisées *basse tension* en courant continu;
- convertisseurs de puissance bidirectionnels.

Pour les *PECS* et leurs *accessoires* spécifiés pour lesquels il n'existe pas de norme de produits, le présent document spécifie des exigences minimales pour les aspects de sécurité.

Le présent document a le statut d'une publication groupée de sécurité conformément au Guide 104 de l'IEC applicable aux *systèmes électroniques de conversion de puissance* pour énergie solaire, éolienne, des marées, des vagues, des piles à combustible ou sources d'énergie analogues.

Conformément au Guide 104 de l'IEC, il incombe aux comités d'études d'utiliser, dans toute la mesure du possible, les publications fondamentales de sécurité et/ou les publications groupées de sécurité pour l'élaboration de leurs normes de produits.

Les recommandations relatives à l'utilisation de la présente publication groupée de sécurité pour les comités de produits sont données à l'Annexe S.

Le présent document

- établit une terminologie commune applicable aux aspects de sécurité concernant les matériels et les *PECS*,
- établit les exigences minimales pour la coordination des aspects de sécurité des parties interconnectées au sein d'un *PECS*,
- établit une base commune applicable aux exigences minimales de sécurité de la partie du *convertisseur électronique de puissance (PEC)* des produits qui comprennent un *PECS*,

- spécifie les exigences qui permettent de réduire les risques d'incendie, de choc électrique, les dangers thermiques, mécaniques et dus à l'énergie électrique, en cours d'utilisation et de fonctionnement et, lorsque cela est spécifiquement indiqué, au cours des opérations d'entretien et de maintenance, et
- spécifie les exigences minimales qui permettent de réduire les risques concernant les *PECS* conçus comme des équipements enfichables et *reliés en permanence*, qu'ils soient constitués d'un système d'unités interconnectées ou d'unités indépendantes, qui font l'objet d'opérations d'installation, de fonctionnement et d'entretien du *PECS*, comme cela est spécifié par le fabricant.

Le présent document ne couvre pas

- les appareils de télécommunications autres que les alimentations pour ce type d'appareil,
- les aspects de sécurité fonctionnelle traités, par exemple, par l'IEC 61508 (toutes les parties), et
- les matériels et systèmes électriques utilisés dans les applications ferroviaires et les véhicules électriques.

2 Références normatives

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

IEC 60050-112, *Vocabulaire Electrotechnique International – Partie 112: Grandeurs et unités* (disponible à l'adresse www.electropedia.org)

IEC 60050-113, *Vocabulaire Electrotechnique International – Partie 113: Physique pour l'électrotechnique* (disponible à l'adresse www.electropedia.org)

IEC 60050-114, *Vocabulaire Electrotechnique International – Partie 114: Electrochimie* (disponible à l'adresse www.electropedia.org)

IEC 60050-151, *Vocabulaire Electrotechnique International – Partie 151: Dispositifs électriques et magnétiques* (disponible à l'adresse www.electropedia.org)

IEC 60050-161, *Vocabulaire Electrotechnique International – Partie 161: Compatibilité électromagnétique* (disponible à l'adresse www.electropedia.org)

IEC 60050-192, *Vocabulaire Electrotechnique International – Partie 192: Sûreté de fonctionnement* (disponible à l'adresse www.electropedia.org)

IEC 60050-426, *Vocabulaire Electrotechnique International – Partie 426: Atmosphères explosives* (disponible à l'adresse www.electropedia.org)

IEC 60050-441, *Vocabulaire Electrotechnique International – Partie 441: Appareillage et fusibles* (disponible à l'adresse www.electropedia.org)

IEC 60050-442, *Vocabulaire Electrotechnique International – Partie 442: Petit appareillage* (disponible à l'adresse www.electropedia.org)

IEC 60050-551, *Vocabulaire Electrotechnique International – Partie 551: Electronique de puissance* (disponible à l'adresse www.electropedia.org)

IEC 60050-601, *Vocabulaire Electrotechnique International – Partie 601: Production, transport et distribution de l'énergie électrique – Généralités* (disponible à l'adresse www.electropedia.org)

IEC 60050-826, *Vocabulaire Electrotechnique International – Partie 826: Installations électriques* (disponible à l'adresse www.electropedia.org)

IEC 60068-2-2:2007, *Essais d'environnement – Partie 2-2: Essais – Essai B: Chaleur sèche*

IEC 60068-2-6:2007, *Essais d'environnement – Partie 2-6: Essais – Essai Fc: Vibrations (sinusoïdales)*

IEC 60068-2-52:2017, *Essais d'environnement – Partie 2-52: Essais – Essai Kb: Brouillard salin, essai cyclique (solution de chlorure de sodium)*

IEC 60068-2-68:1994, *Essais d'environnement – Partie 2-68: Essais – Essai L: Poussière et sable*

IEC 60068-2-78:2012, *Essais d'environnement – Partie 2-78: Essais – Essai Cab: Chaleur humide, essai continu*

IEC 60320 (toutes les parties), *Connecteurs pour usages domestiques et usages généraux analogues*

IEC 60364 (toutes les parties), *Installations électriques à basse tension*

IEC 60364-4-41:2005, *Installations électriques à basse tension – Partie 4-41: Protection pour assurer la sécurité – Protection contre les chocs électriques*
IEC 60364-4-41:2005/AMD1:2017

IEC 60364-5-54:2011, *Installations électriques basse tension – Partie 5-54: Choix et mise en œuvre des matériels électriques – Installations de mise à la terre et conducteurs de protection*
IEC 60364-5-54:2011/AMD1:2021

IEC 60384-14:2013, *Condensateurs fixes utilisés dans les équipements électroniques – Partie 14: Spécification intermédiaire – Condensateurs fixes d'antiparasitage et raccordement à l'alimentation*

IEC 60417, *Symboles graphiques utilisables sur le matériel* (disponible à l'adresse <http://www.graphical-symbols.info/equipment>)

IEC 60529:1989, *Degrés de protection procurés par les enveloppes (Code IP)*
IEC 60529:1989/AMD1:1999
IEC 60529:1989/AMD2:2013

IEC 60617, *Symboles graphiques pour schémas* (disponible à l'adresse <http://std.iec.ch/iec60617>)

IEC 60664-1:2020, *Coordination de l'isolement des matériels dans les réseaux d'énergie électrique à basse tension – Partie 1: Principes, exigences et essais*

IEC 60664-3:2016, *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*

IEC 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*

IEC 60695-2-10:2013, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 2-10: Essais au fil incandescent/chauffant – Appareillage et méthode commune d'essai*

IEC 60695-2-11:2021, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 2-11: Essais au fil incandescent/chauffant – Méthode d'essai d'inflammabilité pour produits finis (GWEPT)*

IEC 60695-2-13:2010, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 2-13: Essais au fil incandescent/chauffant – Méthode d'essai de température d'allumabilité au fil incandescent (GWIT) pour matériaux*

IEC 60695-2-13:2010/AMD1:2014

IEC 60695-10-2:2014, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 10-2: Chaleurs anormales – Essai à la bille*

IEC 60695-11-20:2015, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 11-20: Flammes d'essai – Méthodes d'essai à la flamme de 500 W*

IEC 60721-3-3:1994, *Classification des conditions d'environnement – Partie 3-3: Classification des groupements des agents d'environnement et de leurs sévérités – Utilisation à poste fixe, protégé contre les intempéries*

IEC 60721-3-3:1994/AMD1:1995

IEC 60721-3-3:1994/AMD2:1996

IEC 60721-3-4:1995, *Classification des conditions d'environnement – Partie 3: Classification des groupements des agents d'environnement et de leurs sévérités – Section 4: Utilisation à poste fixe, non protégé contre les intempéries*

IEC 60721-3-4:1995/AMD1:1996

IEC 60730-1:2013, *Dispositifs de commande électrique automatiques – Partie 1: Exigences générales*

IEC 60730-1:2013/AMD1:2015

IEC 60730-1:2013/AMD2:2020

IEC 60738-1-1:2008, *Thermistances – Coefficient de température positif de fonction échelon à chauffage direct – Partie 1-1: Spécification particulière cadre – Application de la limitation de courant – Niveau d'assurance EZ*

IEC 60755:2017, *General safety requirements for residual current operated protective devices* (disponible en anglais seulement)

IEC 60799:2018, *Petit appareillage électrique – Cordons-connecteurs et cordons-connecteurs d'interconnexion*

IEC 60947-7 (toutes les parties), *Appareillage à basse tension – Partie 7: Matériels accessoires*

IEC 60949:1988, *Calcul des courants de court-circuit admissibles au plan thermique, tenant compte des effets d'un échauffement non adiabatique*

IEC 60949:1988/AMD1:2008

IEC 60990:2016, *Méthodes de mesure du courant de contact et du courant dans le conducteur de protection*

IEC 61032:1997, *Protection des personnes et des matériels par les enveloppes – Calibres d'essai pour la vérification*

IEC 61180:2016, *Techniques des essais à haute tension pour matériel à basse tension – Définitions, exigences et modalités relatives aux essais, matériel d'essai*

IEC 61189-3:2007, *Méthodes d'essai pour les matériaux électriques, les cartes imprimées et autres structures d'interconnexion et ensembles – Partie 3: Méthodes d'essai des structures d'interconnexion (cartes imprimées)*

IEC 61204-7:2016, *Alimentations à découpage basse tension – Partie 7: Exigences de sécurité*

IEC 61558-1:2017, *Sécurité des transformateurs, bobines d'inductance, blocs d'alimentation et des combinaisons de ces éléments – Partie 1: Exigences générales et essais*

IEC 62109-1:2010, *Sécurité des convertisseurs de puissance utilisés dans les systèmes photovoltaïques – Partie 1: Exigences générales*

Guide 51:2014 de l'ISO/IEC, *Aspects liés à la sécurité – Principes directeurs pour les inclure dans les normes*

Guide 104:2019 de l'IEC, *The preparation of safety publications and the use of basic safety publications and group safety publications* (disponible en anglais seulement)

Guide 116:2018 de l'IEC, *Guidelines for safety related risk assessment and risk reduction for low voltage equipment* (disponible en anglais seulement)

ISO 3746:2010, *Acoustique – Détermination des niveaux de puissance acoustique et des niveaux d'énergie acoustique émis par les sources de bruit à partir de la pression acoustique – Méthode de contrôle employant une surface de mesure enveloppante au-dessus d'un plan réfléchissant*

ISO 3864 (toutes les parties), *Symboles graphiques – Couleurs de sécurité et signaux de sécurité*

ISO 3864-1:2011, *Symboles graphiques – Couleurs de sécurité et signaux de sécurité – Partie 1: Principes de conception pour les signaux de sécurité et les marquages de sécurité*

ISO 7000, *Symboles graphiques utilisables sur le matériel – Symboles enregistrés* (disponible à l'adresse <https://www.iso.org/obp>)

ISO 7010, *Symboles graphiques – Couleurs de sécurité et signaux de sécurité – Signaux de sécurité enregistrés* (disponible à l'adresse <https://www.iso.org/obp>)

ISO 9614-1:1993, *Acoustique – Détermination par intensimétrie des niveaux de puissance acoustique émis par les sources de bruit – Partie 1: Mesurages par points*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions de l'IEC 60050-112:2010, l'IEC 60050-113:2011, l'IEC 60050-114:2014, l'IEC 60050-426:2020, l'IEC 60050-151:2001, l'IEC 60050-161:1990, l'IEC 60050-192:2015, l'IEC 60050-441:1984, l'IEC 60050-442:1998, l'IEC 60050-551:1998, l'IEC 60050-601:1985, l'IEC 60050-826:2004, l'IEC 60664-1:2020 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
condition anormale de fonctionnement fonctionnement anormal	3.1	enveloppe contre le feu	3.29	semiconducteur de puissance	3.57
accessible	3.2	isolation fonctionnelle	3.30	courant de court-circuit présumé (I_{cp})	3.58
accessoire	3.3	matériel portatif (à main)	3.31	liaison équipotentielle de protection	3.59
circuit adjacent	3.4	partie active dangereuse partie sous tension dangereuse	3.32	impédance de protection	3.60
isolation principale	3.5	installation	3.33	protection par écran	3.61
protection principale	3.6	tension de tenue aux chocs	3.34	isolation renforcée	3.62
matériel de classe I	3.7	partie active partie sous tension	3.35	zone d'accès limité	3.63
matériel de classe II	3.8	basse tension (BT)	3.36	essai individuel de série	3.64
matériel de classe III	3.9	réseau	3.37	essai sur prélèvement	3.65
distance d'isolement	3.10	valeur minimale exigée du courant de court-circuit présumé ($I_{cp,mr}$)	3.38	zone d'accès pour l'entretien	3.66
essai de mise en service essai de recette	3.11	matériel déplaçable	3.39	protection de secours contre les courts-circuits	3.67
composant	3.12	alimentation non raccordée directement au réseau	3.40	dispositif de protection contre les courts-circuits (DPCC)	3.68
courant de court-circuit conditionnel (I_{cc})	3.13	PECS de type ouvert	3.41	courant de courte durée admissible (I_{cw})	3.69
ligne de fuite	3.14	zone d'accès général	3.42	condition de premier défaut	3.70
classe de tension déterminante (DVC)	3.15	personne ordinaire	3.43	personne qualifiée	3.71
hors tension	3.16	courant de court-circuit en sortie	3.44	isolation solide	3.72
double isolation	3.17	dispositif de protection contre les surtensions (OCPD)	3.45	isolation supplémentaire	3.73
équipement à enficher directement matériel enfichable directement	3.18	catégorie de surtension (OVC)	3.46	dispositif de protection contre les surtensions	3.74
DVC As	3.19	mise à la terre de protection PE	3.47	système	3.75
DVC B	3.20	courant de crête admissible (I_{pk})	3.48	tension système	3.76
DVC C	3.21	conducteur de mise à la terre de protection	3.49	surtension temporaire	3.77
claquage électrique	3.22	équipement relié en permanence	3.50	courant de contact	3.78

Terme	Numéro du terme	Terme	Numéro du terme	Terme	Numéro du terme
isolation électrique isolation	3.23	équipement enfichable de type A matériel du type A raccordé par prise de courant	3.51	essai de type	3.79
conversion électronique de puissance	3.24	équipement enfichable de type B matériel du type B raccordé par prise de courant	3.52	fibrillation ventriculaire	3.80
enveloppe	3.25	degré de pollution	3.53	inspection visuelle	3.81
protection renforcée	3.26	accès porte	3.54	tension de fonctionnement	3.82
protection en cas de défaut	3.27	convertisseur électronique de puissance (PEC)	3.55	zone de liaison équipotentielle	3.83
borne de câblage sur site	3.28	système électronique de conversion de puissance (PECS)	3.56		

3.1

condition anormale de fonctionnement

fonctionnement anormal

conditions de fonctionnement temporaires qui ne sont ni les conditions normales de fonctionnement ni les *conditions de premier défaut* de l'équipement proprement dit

Note 1 à l'article: Des *conditions anormales de fonctionnement* peuvent être induites par l'équipement ou par une personne et peuvent entraîner le dysfonctionnement d'un *composant*, d'un dispositif ou d'une *isolation*.

[SOURCE: IEC 62368-1:2018, 3.3.7.1, modifié – La Note 1 à l'article a été supprimée, et les Notes 2 et 3 à l'article ont été regroupées et reformulées.]

3.2

accessible

qu'il est possible de toucher au moyen du doigt d'essai normalisé

Note 1 à l'article: Pour le doigt d'essai normalisé, voir Figure M.2.

Note 2 à l'article: Le terme "accessible" est utilisé en référence à un circuit accessible, à une connexion accessible, à une partie accessible ou à une surface accessible.

3.3

accessoire

partie, composant ou matériel supplémentaire destiné(e) à élargir les capacités et/ou les fonctionnalités du *PECS*

Note 1 à l'article: Exemples d'accessoires:

- filtre externe;
- kits d'interface de communication, de commande ou d'entrées/sorties;
- SPD externe pour la réduction des transitoires;
- parties ou kits d'enveloppe supplémentaires;
- kits de ventilation supplémentaires;
- kits de liaison mécanique ou de support de câbles; ou
- autre dispositif de mesure, instrument, etc.

Note 2 à l'article: Les capacités élargies désignent les caractéristiques électriques, mécaniques, thermiques ou acoustiques du *PECS* lorsqu'il est installé et utilisé comme prévu.

Note 3 à l'article: Les *accessoires* et les kits d'*accessoires* peuvent être installés en usine ou sur site.

3.4

circuit adjacent

circuit qu'il est exigé de protéger du circuit à l'étude

3.5

isolation principale

isolation appliquée aux *parties actives dangereuses* destinée à assurer une *protection principale* contre les chocs électriques

[SOURCE: IEC 60050-826:2004, 826-12-14, modifié – La définition a été reformulée.]

3.6

protection principale

protection contre les chocs électriques en l'absence de défaut par l'utilisation d'une *isolation* ou d'une distance, ou d'une combinaison des deux

Note 1 à l'article: Pour plus d'informations, voir 4.4.3.

[SOURCE: IEC 60050-195:2021, 195-06-01, modifié – Les mots "en l'absence de défaut par l'utilisation d'une *isolation* ou d'une distance, ou d'une combinaison des deux" ont été ajoutés, de même que la note à l'article.]

3.7

matériel de classe I

PECS dans lequel la protection contre les chocs électriques ne repose pas uniquement sur une *protection principale*, mais qui comprend une mesure de sécurité supplémentaire de telle manière que des moyens sont fournis pour la connexion des *parties accessibles* conductrices au *conducteur (de mise à la terre) de protection* dans le câblage fixe de l'*installation*, de sorte que les *parties accessibles* conductrices ne peuvent pas devenir actives en cas de défaut

3.8

matériel de classe II

PECS dans lequel la protection contre les chocs électriques ne repose pas uniquement sur une *protection principale*, mais dans lequel des mesures de sécurité supplémentaires sont fournies, sans aucun moyen de connexion à un *conducteur de mise à la terre de protection* ni dépendance aux conditions d'*installation*

Note 1 à l'article: Une *isolation supplémentaire* ou une *isolation renforcée* sont des mesures de sécurité supplémentaires.

3.9

matériel de classe III

PECS dans lequel la protection contre les chocs électriques repose sur une alimentation en *DVC As* et dans lequel des tensions supérieures à celles de la *DVC As* ne sont pas générées et où il n'existe pas de moyen de connexion à une mise à la terre de protection

3.10

distance d'isolement

plus petite distance dans l'air entre deux parties conductrices

Note 1 à l'article: Cette distance peut être mesurée le long d'un fil tendu suivant le trajet le plus court entre ces parties conductrices.

[SOURCE: IEC 60664-1:2020, 3.1.4, modifié – La note à l'article a été ajoutée.]

3.11**essai de mise en service****essai de recette**

essai d'un dispositif ou d'un *PECS*, effectué sur son lieu d'implantation, et destiné à vérifier son *installation* correcte et son bon état de marche

[SOURCE: IEC 60050-411:1996, 411-53-06, modifié – Le mot "machine" a été remplacé par le mot "dispositif" et le mot équipement a été remplacé par "*PECS*".]

3.12**composant**

partie d'un *PEC* ou d'un *PECS* ne pouvant être fractionnée matériellement sans perdre sa fonction particulière

[SOURCE: IEC 60050-151:2001, 151-11-21, modifié – Les mots "partie constitutive d'un dispositif" ont été remplacés par "partie d'un *PEC* ou d'un *PECS*".]

3.13**courant de court-circuit conditionnel**

I_{cc}

valeur efficace d'un *courant de court-circuit présumé* qui provient d'une source, dans des conditions spécifiées par le fabricant du *PECS*, qui utilise un type spécifique de *dispositif de protection contre les courts-circuits*

Note 1 à l'article: Voir également Figure N.1.

Note 2 à l'article: La source peut être le réseau ou une alimentation non raccordée directement au réseau.

Note 3 à l'article: L' I_{cc} déclarée est la valeur minimale du courant utilisée pour l'étalonnage de la source d'alimentation.

3.14**ligne de fuite**

distance la plus courte, le long de la surface d'un isolant solide, entre deux parties conductrices

[SOURCE: IEC 60664-1:2020, 3.1.5]

3.15**classe de tension déterminante****DVC**

classification de la plage de tensions utilisée afin de déterminer les moyens de protection contre les chocs électriques et les exigences de protection entre les circuits

Note 1 à l'article: L'abréviation "DVC" est dérivée du terme anglais développé correspondant "decisive voltage class".

3.16**hors tension**

exempt de tout danger potentiel lié à l'énergie

3.17**double isolation**

isolation comprenant à la fois une *isolation principale* et une *isolation supplémentaire*

[SOURCE: IEC 60050-826:2004, 826-12-16]

3.18**équipement à enficher directement
matériel enfichable directement**

PECS dans lequel la fiche de raccordement au *réseau* d'alimentation fait partie intégrante de l'*enveloppe* du *PECS*, de sorte que le *PECS* soit supporté par le socle de raccordement au *réseau* d'alimentation

[SOURCE: IEC 60050-903:2014, 903-04-07, modifiée – Le terme "équipement" a été remplacé par "*PECS*".]

3.19**DVC As**

classification de la tension d'un circuit qui fournit uniquement une tension de contact de sécurité, en conditions normales de fonctionnement et en *conditions de premier défaut*, ainsi que des surtensions limitées

Note 1 à l'article: Voir 4.4.2.2 et Tableau 2.

3.20**DVC B**

classification de la tension d'un *circuit* qui reste dans les limites de tension entre la *DVC As* et la *DVC B* en conditions normales de fonctionnement et en *conditions de premier défaut*

Note 1 à l'article: Voir 4.4.2.3 et Tableau 2.

3.21**DVC C**

classification de la tension de tout circuit qui ne satisfait pas aux exigences de protection ou aux limites de tension de la *DVC B* ou de la *DVC As*

Note 1 à l'article: Voir 4.4.2.4 et Tableau 2.

3.22**claquage électrique**

défaillance de l'*isolation* en cas de contrainte électrique lorsque la décharge court-circuite complètement l'*isolation*, réduisant pratiquement à zéro la tension entre les électrodes

[SOURCE: IEC 60664-1:2020, 3.1.44]

3.23**isolation électrique
isolation**

protection électrique entre les circuits ou les parties conductrices, assurée par *distance d'isolement*, *ligne de fuite* ou *isolation solide*, ou une combinaison de ces éléments

Note 1 à l'article: Pour la protection contre les chocs électriques, des isolations telles que la distance d'isolement, les lignes de fuite et l'isolation solide sont utilisées comme moyens de protection principale, de protection en cas de défaut et de protection renforcée. D'autres méthodes de protection principale, de protection en cas de défaut et de protection renforcée sont spécifiées en 4.4.3, 4.4.4 et 4.4.5.

3.24**conversion électronique de puissance**

changement d'une ou de plusieurs caractéristiques d'un *système* électrique de puissance essentiellement sans perte de puissance notable, au moyen de *semiconducteurs de puissance*

Note 1 à l'article: Ces caractéristiques sont, par exemple, la tension, le nombre de phases et la fréquence, y compris la fréquence nulle.

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-11-02, modifié – Les mots "valves électroniques" ont été remplacés par "*semiconducteurs de puissance*".]

3.25

enveloppe

enceinte assurant le type et le degré de protection approprié pour l'application prévue

Note 1 à l'article: Le présent document spécifie les exigences applicables à l'*enveloppe* conformément à l'IEC 60529:1989, à l'IEC 60529:1989/AMD1:1999 et à l'IEC 60529:1989/AMD2:2013, ainsi que des exigences supplémentaires relatives aux contraintes mécaniques et environnementales. Ces exigences supplémentaires ont pour objet d'assurer l'aptitude d'une *enveloppe* à procurer la *protection principale* dans les conditions environnementales spécifiées par le fabricant.

[SOURCE: IEC 60050-151:2001, 151-13-08, modifié – La Note 1 à l'article a été ajoutée.]

3.26

protection renforcée

moyen de protection ayant une fiabilité de protection non inférieure à celle assurée par deux moyens de protection indépendants

Note 1 à l'article: Une *protection renforcée* peut être obtenue en utilisant l'isolation ou la distance ou une combinaison des deux. Pour plus d'informations, voir 4.4.5.

[SOURCE: IEC 61140:2016, 3.19, modifiée – Les mots "dispositif de protection" ont été remplacés par "protection" dans le terme, et le mot "dispositif" a été remplacé par "moyen" dans la définition.]

3.27

protection en cas de défaut

protection contre les chocs électriques dans des *conditions de premier défaut*

Note 1 à l'article: Pour les *installations, systèmes* et matériels à basse tension, la *protection en cas de défaut* correspond généralement à la protection contre le contact indirect telle qu'utilisée dans l'IEC 60364-4-41:2005 et l'IEC 60364-4-41:2005/AMD1:2017, principalement pour ce qui concerne la défaillance.

Note 2 à l'article: Pour plus d'informations, voir 4.4.4.

[SOURCE: IEC 60050-195:2021, 195-06-02, modifié – Les notes à l'article ont été ajoutées.]

3.28

borne de câblage sur site

borne prévue pour une connexion des conducteurs externes au *PECS*

3.29

enveloppe contre le feu

partie du *PECS* destinée à réduire le plus possible l'extension du feu ou des flammes de l'intérieur de l'*enveloppe* vers l'extérieur de l'*enveloppe*

3.30

isolation fonctionnelle

isolation 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

Note 1 à l'article: L'*isolation fonctionnelle* peut cependant réduire la probabilité d'inflammation ou de feu.

3.31

matériel portatif (à main)

PECS prévu pour être tenu à la main en usage normal

[SOURCE: IEC 60050-195:2004, 826-16-05, modifié – Les mots "matériel électrique" ont été remplacés par "*PECS*".]

3.32

partie active dangereuse

partie sous tension dangereuse

partie active qui peut provoquer un choc électrique nuisible

Note 1 à l'article: Dans le présent document, une *partie active dangereuse* ne satisfait pas aux exigences de la DVC As spécifiées en 4.4.2.2.

[SOURCE: IEC 60050-195:2021, 195-06-05, modifié – Les mots "dans certaines conditions" ont été supprimés de la définition et la note à l'article a été ajoutée.]

3.33

installation

matériel qui comprend au moins le *PECS*

Note 1 à l'article: Le mot "installation" est également utilisé dans le présent document pour désigner le processus d'installation d'un *PECS*. Dans ces cas, le mot n'apparaît pas en italique.

3.34

tension de tenue aux chocs

valeur de crête la plus élevée d'une tension de tenue aux chocs, de forme et de polarité prescrites, qui ne provoque pas de claquage dans des conditions d'essai spécifiées

[SOURCE: IEC 60050-442:2014, 442-09-18]

3.35

partie active

partie sous tension

conducteur ou partie conductrice destiné(e) à être sous tension dans des conditions normales de fonctionnement, y compris le conducteur de neutre, mais par convention, excepté le *conducteur de mise à la terre de protection* ou une *terre de protection* au neutre

Note 1 à l'article: La notion n'implique pas nécessairement un risque de choc électrique.

[SOURCE: IEC 60050-195:2021, 195-02-19, modifié – Les mots "et le conducteur de point milieu, à l'exception toutefois du conducteur PEN, du conducteur PEM et du conducteur PEL" ont été remplacés par "mais par convention, excepté le *conducteur de mise à la terre de protection* ou une *terre de protection* au neutre".]

3.36

basse tension

BT

ensemble des niveaux de tension utilisés pour la distribution d'énergie électrique et dont la limite supérieure généralement admise est de 1 000 V en courant alternatif ou de 1 500 V en courant continu

[SOURCE: IEC 60050-601:1985, 601-01-26, modifié – Les mots "en tension alternative" ont été remplacés par "en courant alternatif" et les mots "ou de 1 500 V en courant continu" ont été ajoutés.]

3.37

réseau

système de distribution *basse tension* en courant alternatif ou en courant continu alimentant les *PECS* en courant alternatif ou en courant continu

Note 1 à l'article: Aux Etats-Unis et au Canada, le terme "*mains supply*" est désigné par "utilities".

3.38**valeur minimale exigée du courant de court-circuit présumé** $I_{cp, mr}$

valeur efficace d'un *courant de court-circuit présumé* minimal, qui doit provenir de la source afin d'assurer le fonctionnement du type spécifique de *dispositif de protection contre les courts-circuits*

3.39**matériel déplaçable**

PECS qui est

- soit de masse inférieure ou égale à 18 kg et non fixé en place,
- soit fourni avec des roues, des roulettes ou un autre moyen qui permet de faciliter les mouvements qu'une *personne ordinaire* doit exécuter selon son utilisation prévue

3.40**alimentation non raccordée directement au réseau**

réseau d'alimentation *basse tension* en courant alternatif ou en courant continu qui n'est pas alimenté directement par le *réseau en courant alternatif* ou par le *réseau en courant continu*

Note 1 à l'article: L'*alimentation non raccordée directement au réseau* est, par exemple, isolée par un transformateur ou alimentée par une batterie, un générateur, des panneaux solaires, une éolienne, des *systèmes* marémoteurs, houlomoteurs, des piles à combustible ou des sources analogues qui ne sont pas connectées directement au *réseau* de distribution en courant alternatif ou en courant continu.

3.41**PECS de type ouvert**

PECS destiné à l'incorporation dans une *enveloppe* ou un assemblage qui fournira une protection contre les dangers

3.42**zone d'accès général**

zone du PECS à laquelle les *personnes ordinaires* et les *personnes qualifiées* sont autorisées à accéder

Note 1 à l'article: Les *zones d'accès général* n'exigent pas l'utilisation d'un outil ou d'une clé.

3.43**personne ordinaire**

personne qui n'est pas une *personne qualifiée*

Note 1 à l'article: Le terme "*personne ordinaire*" s'applique à toutes les personnes qui ne sont pas des *personnes qualifiées*. Les *personnes ordinaires* incluent non seulement les utilisateurs du matériel, mais également toutes les personnes qui peuvent avoir accès au matériel ou qui peuvent se trouver à proximité du matériel. En conditions normales de fonctionnement ou en *conditions anormales de fonctionnement*, il convient que les *personnes ordinaires* ne soient pas exposées à des parties qui comportent des sources d'énergie susceptibles de provoquer des douleurs ou des blessures. En *conditions de premier défaut*, il convient que les *personnes ordinaires* ne soient pas exposées à des parties qui comportent des sources d'énergie susceptibles de provoquer des blessures.

Note 2 à l'article: L'expression "personne avertie" n'est pas utilisée dans le présent document.

[SOURCE: IEC 60050-826:2004, 826-18-03, modifié – L'expression "personne avertie" a été supprimée, et les notes à l'article ont été ajoutées.]

3.44**courant de court-circuit en sortie**

courant disponible qui circule à l'*accès* de sortie du PECS lorsqu'un court-circuit est appliqué

3.45

dispositif de protection contre les surintensités

OCPD

dispositif destiné à interrompre un circuit électrique dans le cas où le courant du circuit électrique dépasse une valeur prédéterminée pendant une durée spécifiée

Note 1 à l'article: L'abréviation "OCPD" est dérivée du terme anglais développé correspondant "overcurrent protective device".

[SOURCE: IEC 60050-826:2004, 826-14-14, modifié – L'abréviation "OCPD" a été ajoutée et les termes "dans le ou les conducteurs" ont été supprimés.]

3.46

catégorie de surtension

OVC

chiffre définissant une condition de surtension transitoire

Note 1 à l'article: Les *catégories de surtension* I, II, III et IV sont utilisées. Voir 4.4.7.1.4 pour plus d'informations.

Note 2 à l'article: L'abréviation "OVC" est dérivée du terme anglais correspondant "overvoltage category".

[SOURCE: IEC 60664-1:2020, 3.1.20, modifié – L'abréviation "OVC" a été ajoutée et la référence a été mise à jour dans la note à l'article.]

3.47

mise à la terre de protection

PE

mise à la terre d'un point dans un *système* ou d'un *matériel* pour la protection contre les chocs électriques en cas de défaut

Note 1 à l'article: Aux Etats-Unis et au Canada, le terme "ground" est utilisé en lieu et place du terme "earth".

3.48

courant de crête admissible

I_{pk}

valeur de crête du courant de court-circuit, déclarée par le fabricant des *PECS*, qui peut circuler dans des conditions spécifiées.

Note 1 à l'article: Pour les besoins du présent document, I_{pk} fait référence à la valeur de crête asymétrique initiale du courant d'essai présumé.

[SOURCE: IEC 61439-1:2020, 3.8.10.2, modifié – La définition a été modifiée pour s'appliquer aux *PECS*.]

3.49

conducteur de mise à la terre de protection

conducteur dans l'*installation* électrique des bâtiments, ou dans le cordon d'alimentation, qui relie une borne principale de mise à la terre de protection dans le matériel à un point de mise à la terre dans l'*installation* des bâtiments pour des besoins de sécurité

3.50

équipement relié en permanence

PECS qui ne peut être connecté au réseau d'alimentation électrique ou en être déconnecté qu'à l'aide d'un outil

Note 1 à l'article: Dans le présent document, un réseau d'alimentation électrique désigne soit un *réseau* soit une *alimentation non raccordée directement au réseau*.

[SOURCE: IEC 60050-151:2014, 151-11-29, modifié – Le terme "équipement" a été remplacé par "*PECS*" et la Note à l'article a été ajoutée.]

3.51**équipement enfichable de type A
matériel du type A raccordé par prise de courant**

PECS destiné à être raccordé au *réseau* d'alimentation par une fiche et un socle de prise de courant non industriels ou un connecteur non industriel ou les deux

Note 1 à l'article: Pour les fiches et socles de prise de courant non industriels, voir l'IEC/TR 60083:2015 ou un équivalent national. Pour les connecteurs non industriels, voir l'IEC 60320-1.

[SOURCE: IEC 60050-903:2014, 903-04-08, modifiée – Le terme "équipement" a été remplacé par "*PECS*".]

3.52**équipement enfichable de type B
matériel du type B raccordé par prise de courant**

PECS destiné à être raccordé au *réseau* d'alimentation par une fiche et un socle de prise de courant industriels ou par un connecteur industriel, ou par les deux

Note 1 à l'article: Pour les fiches et socles de prise de courant industriels, voir l'IEC 60309-1 ou un équivalent national. Pour les connecteurs non industriels, voir l'IEC 60320-1.

[SOURCE: IEC 60050-903:2014, 903-04-09, modifiée – Le terme "équipement" a été remplacé par "*PECS*".]

3.53**degré de pollution**

chiffre caractérisant la pollution prévue du microenvironnement

Note 1 à l'article: Les degrés de pollution 1, 2, 3 et 4 sont utilisés dans le présent document. Voir 4.4.7.1.3 pour plus d'informations.

[SOURCE: IEC 60664-1:2020, 3.1.25, modifié – La note à l'article a été ajoutée.]

3.54**accès
porte**

point d'un dispositif ou d'un *réseau* où de l'énergie électromagnétique ou des signaux électromagnétiques peuvent être fournis ou recueillis, ou bien où l'on peut observer ou mesurer des grandeurs

[SOURCE: IEC 60050-131:2002, 131-12-60, modifié – La note a été supprimée.]

3.55**convertisseur électronique de puissance
PEC**

dispositif ou partie de dispositif destiné à la *conversion électronique de puissance*, qui comprend les circuits de signalisation, de mesure et de commande et autres parties, s'ils se révèlent essentiels pour la fonction de *conversion de puissance*

Note 1 à l'article: L'abréviation "PEC" est dérivée du terme anglais développé correspondant "power electronic converter".

3.56**système électronique de conversion de puissance
PECS**

système constitué d'un ou de plusieurs *convertisseurs électroniques de puissance* destinés à fonctionner ensemble avec d'autres matériels

Note 1 à l'article: L'abréviation "PECS" est dérivée du terme anglais développé correspondant "power electronic converter system".

3.57**semiconducteur de puissance**

semiconducteur utilisé pour la *conversion électronique de puissance*

3.58**courant de court-circuit présumé**

I_{cp}

valeur efficace du courant qui circule lorsque les conducteurs d'alimentation du circuit sont court-circuités par un conducteur d'impédance négligeable placé aussi près que la pratique le permet des bornes d'alimentation du *PECS*

[SOURCE: IEC 61439-1:2020, 3.8.7, modifiée – Le terme "courant" a été remplacé par "valeur efficace du courant", le terme "ensemble" a été remplacé par "*PECS*", et la note à l'article a été supprimée.]

3.59**liaison équipotentielle de protection**

liaison équipotentielle réalisée à des fins de sécurité électrique

EXEMPLE Protection contre les chocs électriques

[SOURCE: IEC 60050-195:2021, 195-01-15, modifié – L'exemple a été ajouté.]

3.60**impédance de protection**

impédance connectée entre des *parties actives dangereuses* et des *parties accessibles* conductrices, de valeur telle que le courant, en utilisation normale et dans des *conditions de premier défaut*, soit limité à une valeur de sécurité, et qui est construite de façon telle que sa fiabilité soit maintenue au cours de la durée de vie du *PECS*

3.61**protection par écran**

séparation de circuits électriques et/ou de conducteurs par rapport aux *parties actives dangereuses* par un écran de protection électrique relié au *réseau équipotentiel de protection* et destiné à fournir une protection contre les chocs électriques

[SOURCE: IEC 60050-195:2021, 195-06-18.]

3.62**isolation renforcée**

isolation des *parties actives dangereuses* assurant un degré de protection contre les chocs électriques équivalant à celui d'une *double isolation*

Note 1 à l'article: L'*isolation renforcée* peut comporter plusieurs couches qui ne peuvent pas être essayées séparément en tant qu'*isolation principale* ou *isolation supplémentaire*.

[SOURCE: IEC 60664-1:2020, 3.1.33]

3.63**zone d'accès limité**

zone uniquement accessible aux personnes qualifiées en électricité munies de l'autorisation adéquate

[SOURCE: IEC 60050-195:2021, 195-04-04, modifié – Les mots "et aux personnes averties en électricité" ont été supprimés.]

3.64**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

[SOURCE: IEC 60050-411:1996, 411-53-02, modifié – Le mot "machine" a été remplacé par "dispositif".]

3.65**essai sur prélèvement**

essai effectué sur un certain nombre de dispositifs prélevés au hasard dans un lot

3.66**zone d'accès pour l'entretien**

zone électrique fermée destinée à l'entretien, à la maintenance et à la mise en service, le PECS étant sous tension, et à laquelle seules les *personnes qualifiées* sont autorisées à accéder

Note 1 à l'article: Les *zones d'accès pour l'entretien* exigent l'utilisation d'un outil ou d'une clé.

3.67**protection de secours contre les courts-circuits**

protection destinée à fonctionner lorsque d'autres moyens de protection dans un système ou un matériel ne parviennent pas à éliminer un défaut

3.68**dispositif de protection contre les courts-circuits****DPCC**

dispositif destiné à protéger un circuit ou des parties d'un circuit contre les courants de court-circuit par l'interruption de ceux-ci

Note 1 à l'article: Un *dispositif de protection contre les courts-circuits* est uniquement adapté à la protection contre les courts-circuits, et non pas à la protection contre les surcharges. Un OCPD peut également intégrer la fonction d'un DPCC.

[SOURCE: IEC 61439-1:2020, 3.1.11, modifié – La note à l'article a été ajoutée.]

3.69**courant de courte durée admissible** **I_{cw}**

valeur efficace du courant de courte durée, déclarée par le constructeur de PECS, qui peut circuler dans le circuit dans des conditions spécifiées, définies en ce qui concerne le courant et la durée

[SOURCE: IEC 61439-1:2020, 3.8.10.3, modifié – Le mot "assigné" a été supprimé du terme, les mots "courant alternatif ou valeur moyenne de courant continu" ont été supprimés de la définition, le mot "ensembles" a été remplacé par "PECS", et les mots "à laquelle le circuit peut résister" ont été remplacés par "qui peut circuler dans le circuit".]

3.70**condition de premier défaut**

condition dans laquelle la présence d'une défaillance est susceptible d'engendrer un danger couvert par le présent document

Note 1 à l'article: Si une *condition de premier défaut* donne lieu à d'autres défaillances consécutives, l'ensemble des défaillances est considéré comme une *condition de premier défaut*.

Note 2 à l'article: Les exemples de dangers comprennent, entre autres, les dangers de chocs électriques, d'incendie, dus à l'énergie électrique, mécaniques, de pression acoustique, etc.

3.71**personne qualifiée**

personne ayant la formation et l'expérience appropriées pour lui permettre de percevoir les risques et d'éviter les dangers que peut présenter le matériel

Note 1 à l'article: Le terme "*personne qualifiée*" s'applique aux personnes qui disposent d'une formation ou d'une expérience concernant la technologie du matériel, et notamment d'une connaissance des différentes énergies et amplitudes d'énergie utilisées dans le matériel. Il est attendu des *personnes qualifiées* qu'elles utilisent leur formation et leur expérience pour reconnaître les sources d'énergie susceptibles de provoquer des douleurs ou des blessures et pour prendre des mesures de protection contre les blessures dues à ces énergies. Il convient que les *personnes qualifiées* soient également protégées contre le contact involontaire ou l'exposition aux sources d'énergie susceptibles de provoquer des blessures.

Note 2 à l'article: Il n'a pas été jugé nécessaire de différencier les moyens de sécurité applicables pour les *personnes qualifiées* et les personnes averties (formées) définies dans l'IEC 61140:2016. Les mêmes moyens de sécurité s'appliquent aux deux types de personnes.

[SOURCE: IEC 60050-826:2004, 826-18-01, modifié – Les mots "en électricité" ont été supprimés du terme, les mots "l'électricité" ont été remplacés par "le matériel" et la note à l'article a été ajoutée.]

3.72**isolation solide**

matériau isolant solide, ou combinaison de matériaux isolants solides, placé entre deux parties conductrices ou entre une partie conductrice et une partie du corps

[SOURCE: IEC 60664-1:2020, 3.1.6]

3.73**isolation supplémentaire**

isolation indépendante prévue, en plus de l'*isolation principale*, en tant que *protection en cas de défaut*

Note 1 à l'article: L'*isolation principale* et l'*isolation supplémentaire* sont séparées, chacune étant conçue pour une *protection principale* contre les chocs électriques.

[SOURCE: IEC 60664-1:2020, 3.1.31, modifié – La note à l'article a été ajoutée.]

3.74**dispositif de protection contre les surtensions
parafoudre****SPD**

dispositif incluant au moins un *composant* non linéaire destiné à limiter les surtensions et à écouler les courants de foudre

Note 1 à l'article: L'abréviation "SPD" est dérivée du terme anglais développé correspondant "surge protective device".

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.1, modifié – Une note à l'article a été supprimée.]

3.75**système**

ensemble d'éléments indépendants corrélés et/ou interconnectés

Note 1 à l'article: Un *système* est généralement défini en fonction de son objectif, par exemple la réalisation d'une fonction définie.

3.76**tension système**

tension utilisée pour déterminer les exigences de l'*isolation*

Note 1 à l'article: Voir 4.4.7.1.7 pour des informations supplémentaires sur la *tension système*.

3.77**surtension temporaire**

surtension à fréquence industrielle de durée relativement longue

[SOURCE: IEC 60664-1:2020, 3.1.12]

3.78**courant de contact**

courant électrique passant dans le corps humain ou dans celui d'un animal lorsqu'il est en contact avec une ou plusieurs *parties accessibles* d'une *installation* électrique ou de matériels électriques

[SOURCE: IEC 60050-826:2004, 826-11-12]

3.79**essai de type**

essai effectué sur un ou plusieurs dispositifs réalisés selon une conception donnée pour vérifier que cette conception répond à certaines spécifications

3.80**fibrillation ventriculaire**

fibrillation cardiaque limitée aux ventricules et provoquant une inefficacité circulatoire puis l'arrêt du cœur

Note 1 à l'article: La fibrillation ventriculaire entraîne l'arrêt de la circulation sanguine.

[SOURCE: IEC 60050-891:1998, 891-01-16]

3.81**inspection visuelle**

examen à l'œil nu d'une entité, effectuée sans désassemblage, ou avec un désassemblage partiel si exigé, afin d'aboutir à une conclusion fiable sur l'état de l'entité

[SOURCE: IEC 60050-426:2020, 426-14-02, modifié – L'adjectif "visuelle" a été ajouté au terme et la définition a été reformulée.]

3.82**tension de fonctionnement**

tension en courant alternatif ou en courant continu qui apparaît par conception dans un circuit ou au travers d'un moyen de protection dans les conditions assignées d'alimentation (sans tolérances) et dans les conditions de fonctionnement les plus défavorables, y compris la crête répétitive et les valeurs moyennes

3.83**zone de liaison équipotentielle**

zone où toutes les *parties accessibles* conductrices simultanément sont connectées électriquement pour empêcher l'apparition de tensions dangereuses entre elles

Note 1 à l'article: Pour les liaisons équipotentielles, il n'est pas nécessaire que les parties soient mises à la terre.

4 Protection contre les dangers

4.1 Généralités

L'Article 4 définit les exigences minimales pour la conception et la réalisation d'un *PECS* et des *accessoires* spécifiés pour l'utilisation prévue, afin d'assurer sa sécurité pendant l'installation, les conditions normales de fonctionnement et la maintenance au cours du cycle de vie prévu du *PECS*, et de réduire le plus possible les dangers qui résultent d'une mauvaise utilisation raisonnablement prévisible.

Les informations relatives à l'utilisation prévue, aux conditions normales de fonctionnement et aux *accessoires* spécifiés doivent être indiquées dans la documentation.

La protection contre les dangers doit être maintenue dans les *conditions de premier défaut* et dans les conditions normales et anormales de fonctionnement spécifiées dans le présent document.

L'Article 4 fournit des moyens de sécurité pour la protection contre les dangers des *personnes ordinaires*. En ce qui concerne l'installation et la maintenance du *PECS*, le présent document tient également compte de l'allègement des moyens de sécurité pour les *personnes qualifiées*.

NOTE Il n'a pas été jugé nécessaire de différencier les moyens de sécurité applicables pour les *personnes qualifiées* et les personnes averties définies dans l'IEC 61140:2016. Les mêmes moyens de sécurité s'appliquent aux deux types de personnes.

Lorsque le *PECS* est destiné à être utilisé avec des *accessoires* spécifiés, l'évaluation et l'essai de sécurité doivent comprendre ces *accessoires*, à moins qu'il puisse être démontré qu'ils n'affectent pas la sécurité des matériels.

L'appréciation du risque du *PECS* peut révéler des dangers qui ne sont pas couverts par le présent document. Pour plus d'informations, voir l'Annexe R.

Pour le marquage, voir 6.2.

4.2 Conditions de premier défaut et conditions anormales de fonctionnement

Le *PECS* et les *accessoires* spécifiés doivent être conçus de façon à éviter les modes ou les séquences de fonctionnement qui peuvent provoquer une *condition de premier défaut* ou une défaillance de *composant* conduisant à un danger, à moins que d'autres moyens ne soient fournis par l'*installation* pour empêcher ce danger et soient décrits dans les informations d'*installation* fournies avec le *PECS*; voir Article 6. Les exigences du 4.2 s'appliquent également aux *conditions anormales de fonctionnement*, le cas échéant.

Une analyse doit être réalisée pour identifier les dangers potentiels.

Cette analyse doit inclure les situations dans lesquelles une *condition de premier défaut* qui survient au niveau d'un *composant*, d'une *protection principale*, d'une *protection en cas de défaut* ou d'un accès entraîne:

- une force mécanique électro-induite et un danger thermique selon 4.3;
- un effet sur la détermination de la tension déterminante selon 4.4.2;
- un risque de choc électrique dû à:
 - la dégradation de la *protection principale* selon 4.4.3, ou
 - la dégradation de la *protection en cas de défaut* selon 4.4.4;
- un risque de danger dû à l'énergie électrique selon 4.5;
- un risque de dégradation dû à l'émission de flamme, de particules incandescentes ou de métal fondu engendré par le danger d'incendie selon 4.6;

- un risque de danger thermique du fait d'une température élevée selon 4.6; ou
- un risque de danger mécanique selon 4.7.

NOTE Le présent document ne spécifie aucune exigence de protection contre le danger chimique.

L'analyse et les essais doivent inclure les effets des conditions de court-circuit et de circuit ouvert du *composant*. Les essais sont nécessaires à moins que l'analyse puisse indubitablement démontrer l'absence de danger en cas de défaillance du *composant*. La conformité doit être vérifiée par l'essai décrit en 5.2.4.6.

L'effet des autres *conditions anormales de fonctionnement* et *conditions de premier défaut* identifiées doit être soumis à l'essai applicable décrit en 5.2.4.

L'évaluation des *composants* (voir 4.13) doit se fonder sur la contrainte prévue qui se produit pendant le cycle de vie du *PECS*, y compris, entre autres:

- les conditions climatiques et mécaniques spécifiées selon 4.9 (température, humidité, vibration, etc.);
- les caractéristiques électriques selon 4.4.7.1 (tension de choc prévue, *tension de fonctionnement*, *surtension temporaire*, etc.); ou
- le microenvironnement selon 4.4.7 (*degré de pollution*, humidité, etc.).

Les *composants* évalués conformément aux normes de produits appropriées en 4.13 sont considérés comme satisfaisant à ces exigences et ne nécessitent pas d'être soumis à d'autres examens, si les essais sont réalisés dans les mêmes conditions que celles pour lesquelles le *PECS* est conçu.

Les *distances d'isolement* et les *lignes de fuite* pour l'*isolation supplémentaire*, la *double isolation* et l'*isolation renforcée*, conçues conformément à 4.4.7.4 et 4.4.7.5, sont réputées satisfaire à ces exigences et ne nécessitent pas d'autres examens.

L'*isolation fonctionnelle* sur les cartes à circuit imprimé (CCI) et entre les éléments des *composants* montés sur des CCI qui ne satisfont pas aux exigences relatives aux *distances d'isolement* et aux *lignes de fuite* spécifiées en 4.4.7.4 et 4.4.7.5 doit satisfaire à l'exigence du 4.4.7.7.

Les dangers de sécurité potentiels associés aux parties de *composants* importants du *PECS*, tels que l'inflammabilité du transformateur et les fluides de condensateur, doivent être pris en compte.

4.3 Protection contre les courts-circuits et les surintensités

4.3.1 Généralités

Le *PECS* ne doit présenter aucun danger, dans des conditions de court-circuit ou de surintensités, au niveau de tout accès, y compris entre phases, phase à terre et phase à neutre. Des informations appropriées doivent être fournies dans la documentation pour permettre de bien choisir le câblage externe et les dispositifs de protection (voir 6.3.9.6), en tenant compte de la déconnexion automatique de l'alimentation (voir 4.4.4.4).

Pour assurer une coordination correcte entre les *dispositifs de protection contre les courts-circuits* (DPCC) et le *courant de court-circuit présumé* disponible, le fabricant du *PECS* doit spécifier et soumettre à l'essai pour chaque *accès réseau* du *PECS*:

- le *courant de court-circuit conditionnel* (I_{cc}) conformément à 4.3.2.2; ou
- le *courant de courte durée admissible* (I_{cw}) conformément au 4.3.2.3.

Les accès individuels de l'alimentation *réseau* d'un PECS doivent avoir les valeurs assignées spécifiques de court-circuit de I_{CC} ou de I_{CW} , ou des deux.

La valeur de I_{CW} spécifiée en 4.3.2.3 peut s'appliquer uniquement lorsque la conformité ne dépend pas des caractéristiques de limitation de courant du DPCC.

Lorsqu'un accès de sortie est raccordé ou destiné à être raccordé à l'accès d'entrée de l'alimentation *réseau*, l'accès de sortie doit également être spécifié avec une valeur assignée de courant I_{CC} ou I_{CW} (par exemple, dérivation entre l'accès d'entrée de l'alimentation *réseau* et l'accès de sortie).

Pour le marquage, voir 6.2.1.

Voir l'Annexe N pour plus d'informations.

Le nombre et l'emplacement des systèmes ou dispositifs de protection doivent être fournis ou spécifiés de sorte que soient détectés et/ou interrompus ou limités les courants excessifs qui circulent dans tout chemin de courant correspondant à un défaut possible, provoqués par un défaut interne ou externe.

NOTE 1 Dans le présent document, le terme "surintensité" couvre à la fois le court-circuit et les surintensités.

NOTE 2 Les codes locaux d'installation imposent habituellement de toujours appliquer ce type de protection au câblage d'entrée de l'installation.

Si le PECS satisfait à toutes les conditions normales et anormales de fonctionnement et à toutes les conditions de premier défaut du présent document, sans comporter ce type de protection, il n'est pas nécessaire de spécifier la protection contre les surintensités des circuits d'entrée pour la protection du PECS.

Il n'y a pas de protection exigée contre les surintensités à la terre sur les accès qui

- n'ont pas de connexion à la terre; ou
- ont une *double isolation* ou une *isolation renforcée* entre les parties actives et toutes les parties connectées à la terre.

NOTE 3 En condition de premier défaut dans un système de mise à la terre IT, aucun courant de court-circuit ne se produit ou un courant de court-circuit limité se produit. Le courant de court-circuit dans un système de mise à la terre IT (voir 4.4.7.1.5) est interrompu lorsqu'un second défaut se produit. En général, la détection n'est réalisée qu'après le premier défaut dans un système de mise à la terre IT.

NOTE 4 Lorsqu'une *double isolation* ou une *isolation renforcée* est fournie, un court-circuit à la terre est considéré comme un double défaut.

Pour un PECS conçu comme un *équipement enfichable de type A*, le dispositif de protection est fourni dans l'installation et il ne doit nécessiter aucune caractéristique spécifique autre que celle exigée dans les codes locaux d'installation.

Pour un PECS conçu comme un *équipement enfichable de type B* ou comme un *équipement relié en permanence*, cette protection peut être assurée par des dispositifs externes au PECS, auquel cas la documentation doit spécifier la nécessité d'assurer la protection dans l'installation et doit inclure les spécifications de la protection exigée contre les courts-circuits et/ou les surintensités (voir 6.3.9.6).

NOTE 5 L'IEC 60364 (toutes les parties) spécifie des exigences relatives à la protection contre les courts-circuits et les surintensités du câblage d'entrée dans l'installation. L'exigence ci-dessus assure que l'utilisateur est informé de toute caractéristique particulière des dispositifs de protection du PECS, en complément des exigences spécifiées dans l'IEC 60364 (toutes les parties) ou autres codes locaux d'installation.

Si un dispositif de protection interrompt le conducteur de neutre, il doit également interrompre simultanément tous les autres conducteurs d'alimentation du même circuit. Il est admis que le dispositif de protection interrompe le conducteur du neutre après coupure des autres conducteurs d'alimentations du même circuit.

Pour les PECS qui ne peuvent pas délivrer de *courants de court-circuit* capables d'ouvrir un DPCC, l'essai de court-circuit en sortie 5.2.4.4 peut être omis.

La conformité doit être vérifiée par analyse des *conditions de premier défaut* selon 4.2 et par les essais décrits en 5.2.4.4 et en 5.2.4.5.

4.3.2 Capacité de tenue au court-circuit en entrée et au courant de court-circuit en sortie

4.3.2.1 Généralités

La capacité d'interruption du *dispositif de protection contre les surintensités* doit être égale ou supérieure au *courant de court-circuit présumé* du réseau ou de l'alimentation non raccordée directement au réseau.

Les dispositifs de protection fournis ou spécifiés doivent avoir un pouvoir de coupure adéquat pour interrompre le *courant de court-circuit présumé* maximal spécifié pour l'accès auquel ils sont raccordés.

Si le résultat d'un essai est représentatif du cas le plus défavorable, il n'est pas nécessaire de soumettre aux essais des combinaisons moins strictes.

4.3.2.2 Courant de court-circuit conditionnel (I_{cc}) sur les accès d'entrée

Dans le cas où le fabricant du PECS choisit la valeur assignée du courant de court-circuit conditionnel (I_{cc}) conformément à 4.3.1, les éléments suivants doivent être spécifiés:

- le *courant de court-circuit conditionnel* (I_{cc});
- les caractéristiques du *dispositif de protection contre les courts-circuits*; et
- la *valeur minimale exigée du courant de court-circuit présumé* ($I_{cp,mr}$).

La conformité est démontrée par l'évaluation selon 4.2 pour déterminer la combinaison appropriée d'essais selon 5.2.4.4, 5.2.4.6 et 5.2.3.11.3 afin d'évaluer les *conditions de premier défaut* et les *conditions anormales de fonctionnement*.

4.3.2.3 Courant de courte durée admissible (I_{cw}) sur les accès d'entrée

Lorsque le fabricant du PECS choisit la valeur assignée du *courant de courte durée admissible* (I_{cw}) conformément à 4.3.1, les éléments suivants doivent être spécifiés:

- le *courant de courte durée admissible* (I_{cw});
- la durée associée; et
- le *courant de crête admissible* (I_{pk}).

La conformité est démontrée par l'évaluation selon 4.2 pour déterminer la combinaison appropriée d'essais selon 5.2.3.11.3 et 5.2.4.4.3 afin d'évaluer les *conditions de premier défaut* et les *conditions anormales de fonctionnement*.

4.3.2.4 Capacité de tenue au *courant de court-circuit en sortie*

La capacité du *PECS* à délivrer un courant en cas de court-circuit doit être définie en ampères et en temps.

NOTE La spécification du courant et du temps vise à fournir suffisamment d'informations pour le choix du dispositif de protection en aval pour l'application finale.

La conformité est vérifiée par l'essai décrit en 5.2.4.4.

Pour le marquage, voir 6.2.

4.3.2.5 Accès d'entrée et de sortie combinés

Pour les *accès* qui sont à la fois d'entrée et de sortie, les exigences applicables du 4.3.2.1 et du 4.3.2.4 s'appliquent.

4.3.3 Coordination en court-circuit (protection de secours)

Les dispositifs de protection fournis ou spécifiés doivent avoir un pouvoir de coupure adéquat pour interrompre le *courant de court-circuit présumé* spécifié pour l'*accès* auquel ils sont raccordés.

Pour un *PECS* conçu comme un *équipement enfichable de type A*, soit le *PECS* doit être conçu de sorte que l'*installation* du bâtiment assure la *protection de secours contre les courts-circuits*, soit une *protection de secours contre les courts-circuits* supplémentaire doit être intégrée dans le *PECS*.

Pour un *PECS* conçu comme un *équipement enfichable de type B* ou comme un *équipement relié en permanence*, il est admis d'intégrer la *protection de secours contre les courts-circuits* dans l'*installation* du bâtiment.

Si la valeur assignée de la protection intégrée du *PECS* ne correspond pas au *courant de court-circuit présumé*, la documentation doit spécifier un dispositif de protection en amont, de valeur assignée correspondant au *courant de court-circuit présumé* de l'*accès* concerné. L'analyse doit assurer la coordination de la protection de sorte que la protection externe s'ouvre avant la protection interne.

NOTE L'IEC 60364 spécifie des exigences relatives aux dispositifs de protection en amont qui assurent la protection de secours dans l'*installation*. L'exigence ci-dessus assure que l'utilisateur est informé de toute caractéristique particulière des dispositifs de protection en amont pour la protection de secours du *PECS*, en complément des exigences spécifiées dans l'IEC 60364 ou autres codes locaux d'*installation*.

La conformité doit être vérifiée par *inspection visuelle* à 5.2.1 et simulation ou au moyen des essais décrits en 5.2.4.4 et en 5.2.4.5.

Pour le marquage, voir 6.3.9.6.

4.3.4 Protection par plusieurs dispositifs

Lorsque des dispositifs de protection qui nécessitent d'être remplacés ou réglés manuellement sont utilisés dans plus d'un pôle d'une alimentation à une charge donnée, ces dispositifs doivent être placés côte à côte. Il est admis de combiner deux dispositifs de protection ou plus dans un seul *composant*.

La conformité doit être vérifiée par *inspection visuelle* à 5.2.1.

Pour le marquage, voir 6.5.6.

4.4 Protection contre les chocs électriques

4.4.1 Généralités

La protection contre les chocs électriques dépend de la *classe de tension déterminante* selon 4.4.2 et des exigences de protection selon 4.4.2.7; elle doit être assurée par au moins l'un des moyens suivants:

- *protection principale* selon 4.4.3 en combinaison avec une *protection en cas de défaut* selon 4.4.4; ou
- *protection renforcée* selon 4.4.5.

La protection dans les conditions normales de fonctionnement est assurée par la *protection principale*, et la protection dans les *conditions de premier défaut* est assurée par la *protection en cas de défaut*.

La *protection renforcée* assure la protection en conditions normales de fonctionnement comme en *conditions de premier défaut*.

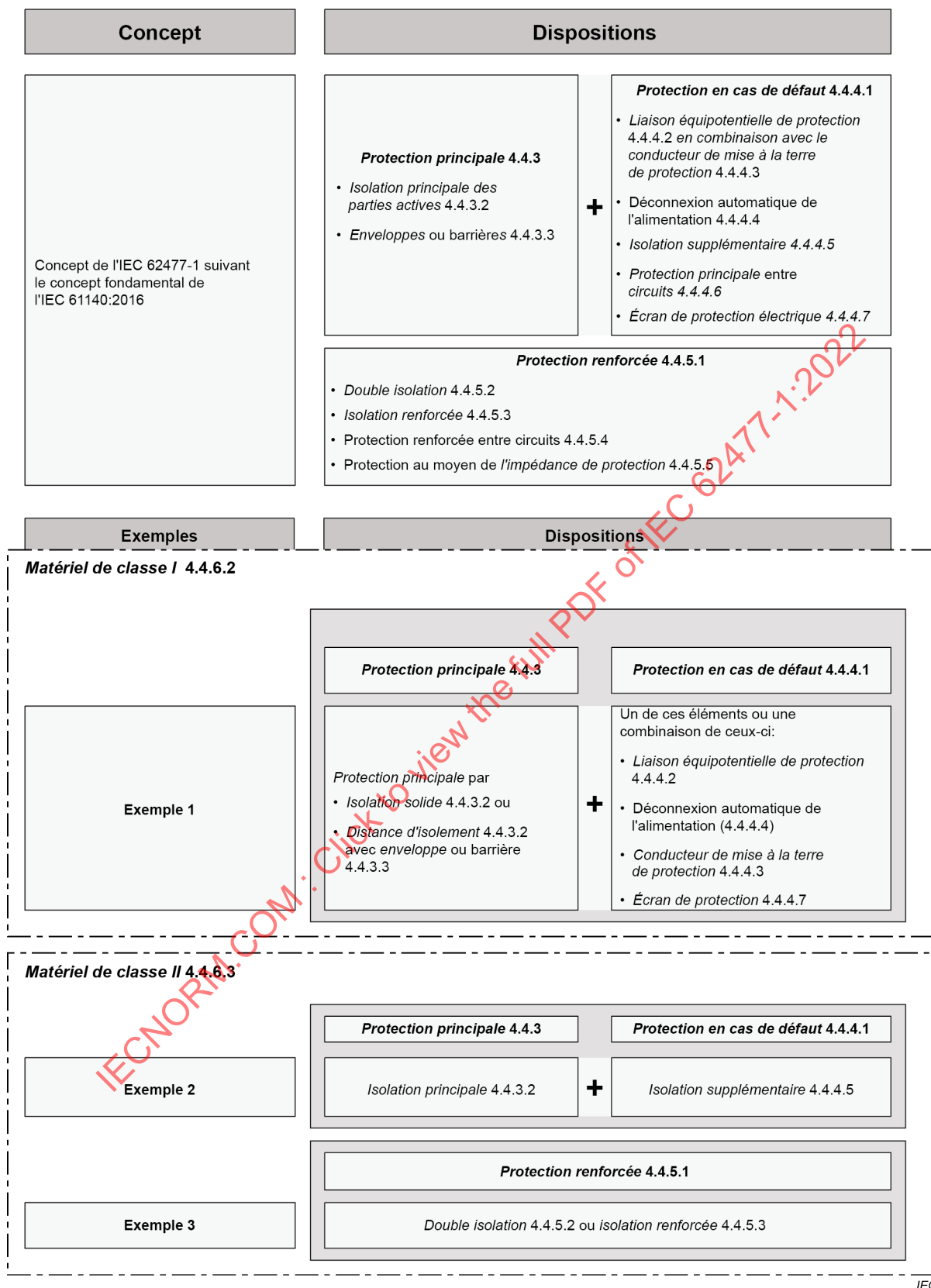
Pour l'utilisation de moyens de *protection principale* en combinaison avec une *protection en cas de défaut* et une *protection renforcée*, voir 4.4.6 pour les différentes constructions.

La *protection principale*, la *protection en cas de défaut* et la *protection renforcée* peuvent être assurées par

- des *distances d'isolement* et des *lignes de fuite* (4.4.7.4 et 4.4.7.5);
- une *isolation solide* (4.4.7.8);
- une *protection* au moyen d'une *enveloppe* ou de barrières (4.4.3.3); ou
- une combinaison de ces moyens.

La Figure 1 et la Figure 2 fournissent une vue d'ensemble du concept fondamental de protection contre les chocs électriques selon l'IEC 61140:2016.

Sauf indication contraire dans le présent document, la protection contre les chocs électriques est fondée sur la réaction du corps par *fibrillation ventriculaire*.



IEC

Figure 1 – Moyens de protection contre les chocs électriques pour les matériels de classe I et de classe II

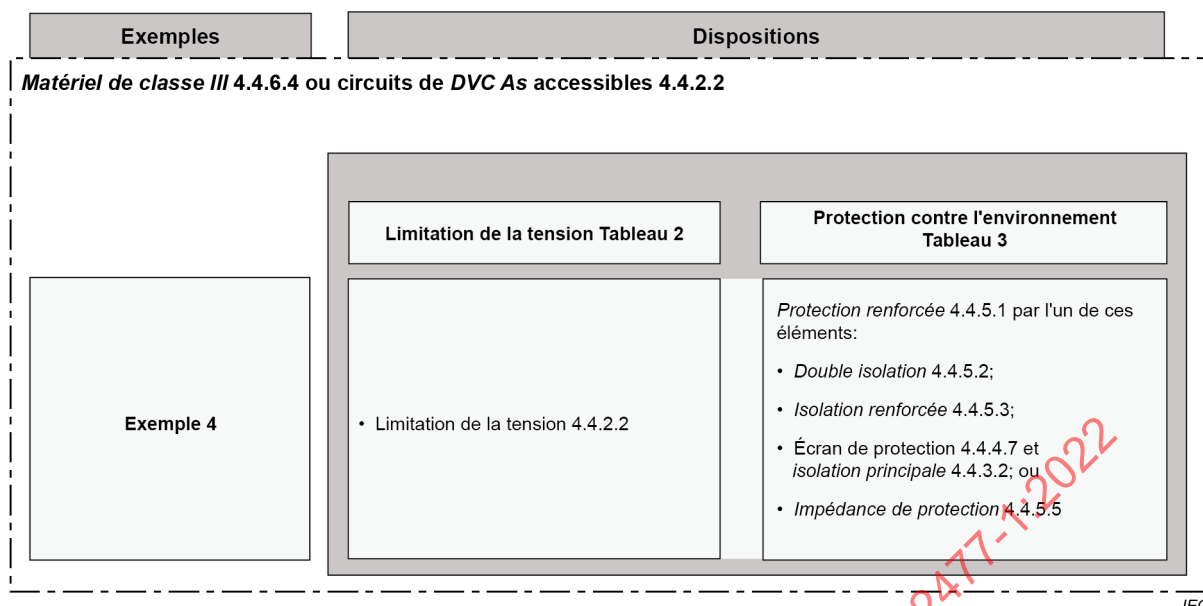


Figure 2 – Moyens de protection contre les chocs électriques pour les matériels de classe III ou les circuits de DVC As accessibles

Une protection supplémentaire selon l'IEC 61140:2016 peut être assurée par des dispositifs de protection à courant différentiel résiduel (DDR). Pour de plus amples informations, voir 4.4.8.

NOTE Dans le présent document, les spécifications du 4.4.1 au 4.4.6 ont été harmonisées avec les concepts de la norme horizontale IEC 61140:2016 relative à la protection contre les chocs électriques. La *protection principale*, la *protection en cas de défaut*, la *protection renforcée* et la combinaison de ces moyens ont été mises en œuvre.

4.4.2 Classe de tension déterminante

4.4.2.1 Généralités

Le présent document prend en compte trois différents types de circuits pour la protection contre les chocs électriques: *DVC As*, *DVC B* et *DVC C*.

La détermination d'une *classe de tension déterminante* comprend les considérations suivantes:

- conditions d'environnement (sécheresse, humidité ou brouillard salin) pour la *DVC As*;
- conditions normales de fonctionnement et *conditions de premier défaut* pour la *DVC As*;
- taille de la surface de contact du corps pour la *DVC As*;
- *tension de fonctionnement* maximale (alternative efficace, alternative crête et continue) (voir Tableau 2);
- exigence de protection entre les circuits et entre les circuits et l'environnement (voir Tableau 3); et
- *tension de tenue aux chocs* (voir Tableau 2 et Tableau 7).

Le fabricant définit la *DVC* pour les circuits de sortie individuels et fournit cette information avec la documentation (voir 6.2).

Les circuits d'entrée/de sortie dont les tensions assignées se situent dans les limites de la *DVC As* doivent être examinés en tant que circuits de *DVC As*. Seuls les circuits classés *DVC As* doivent être *accessibles* à une *personne ordinaire*.

Pour le marquage, voir 6.2.1.3.

La probabilité de chocs électriques augmente en fonction du niveau de tension, de la zone de la *partie accessible* conductrice ou du circuit en contact avec la peau et de la condition d'humidité de la peau. Afin de réduire la probabilité de chocs électriques, il est important de déterminer la *classe de tension déterminante* de sécurité (*DVC As*).

Pour les *circuits accessibles*, la sélection de la *classe de tension déterminante* applicable dépend des éléments suivants:

- la réaction du corps (perception, douleur, lâcher, fibrillation ventriculaire);
- la zone de la *partie accessible* du *PECS* par rapport à celle de la partie du corps avec laquelle elle peut entrer en contact; et
- la condition d'humidité de la peau du corps (sèche, humide, humide salée).

Les valeurs données dans le Tableau 2 sont fondées sur un cheminement du courant de la surface de contact des mains vers les pieds de la personne debout, sauf indication contraire.

NOTE 1 Pour plus d'informations sur les réactions du corps, les surfaces de contact et la condition d'humidité de la peau, voir l'IEC 60479-1:2018.

NOTE 2 Dans le présent document, la conception d'un circuit de *DVC As* à contact sécurisé est simplifiée. Une approche plus complexe qui tient compte de la réaction du corps, de la zone de contact et de l'humidité de la peau, décrite dans l'IEC 60479-1:2018 pour la détermination de la *DVC As*, peut être utilisée dans une appréciation du risque (voir Guide 116 de l'IEC) pour démontrer qu'un niveau équivalent de protection contre les chocs électriques est atteint.

4.4.2.2 *DVC As*

En conditions normales de fonctionnement, en *conditions anormales de fonctionnement* et en *conditions de premier défaut*, le circuit de *DVC As* doit satisfaire aux exigences minimales suivantes:

- limites de tension selon le Tableau 2; et
- exigence de protection par rapport à l'environnement et les *circuits adjacents* selon le Tableau 3.

Voir A.2, A.3 et A.4 pour des exemples de ces moyens.

NOTE S'agissant du *PECS*, le présent document autorise plusieurs circuits de *DVC As* avec différents niveaux de *DVC As*.

4.4.2.3 *DVC B*

Un circuit de *DVC B* doit satisfaire aux exigences suivantes:

- limites de tension selon le Tableau 2;
- exigence de protection par rapport à l'environnement et aux *circuits adjacents* selon le Tableau 3; et
- *tension de tenue aux chocs* selon le Tableau 7, déterminée d'après l'exigence du 4.4.7.2.4.

4.4.2.4 *DVC C*

Un circuit de *DVC C* doit satisfaire aux exigences suivantes:

- limites de tension selon le Tableau 2;
- protection des personnes et protection par rapport à l'environnement et aux *circuits adjacents* selon le Tableau 3; et
- *tension de tenue aux chocs* et *surtension temporaire* selon le Tableau 7, déterminées d'après les exigences 4.4.7.1 à 4.4.7.4.

Les exigences de protection applicables aux autres circuits de *DVC C* doivent être fondées sur la conséquence d'une *condition de premier défaut* (voir 4.2). La protection doit être fondée sur la *tension de fonctionnement* et la *tension de tenue aux chocs* les plus élevées.

4.4.2.5 Interconnexion d'un TBTS/TBTP externe à des circuits *DVC As*

Les circuits TBTS/TBTP externes destinés à être raccordés au *PECS* doivent être examinés par rapport à leur tension assignée au point d'interconnexion selon la *DVC As* ou la *DVC B*, comme cela est défini dans le Tableau 2.

NOTE Pour les valeurs d'un TBTS/TBTP, voir l'IEC 61140:2016, 5.2.6.

La classification *DVC* des circuits externes doit assurer que la tension externe ne contrevient pas à la classification *DVC As* du *PECS* compte tenu des conditions d'environnement spécifiées.

Pour le marquage, voir 6.3.9.1.

4.4.2.6 Détermination de la *classe de tension déterminante (DVC)*

La *classe de tension déterminante (DVC)* est utilisée pour déterminer le niveau de protection exigé des circuits par rapport à leur environnement selon le Tableau 3. Pour la détermination de la *tension de fonctionnement*, voir 4.4.7.1.2.

Des exemples de détermination de la *DVC* sont donnés en A.5.

Les limites de *tension de fonctionnement* pour la *DVC* sont indiquées dans le Tableau 2.

Tableau 2 – Limites de tension pour les classes de tension déterminante DVC

DVC	Limites de tension de fonctionnement				
	En conditions normales de fonctionnement				En conditions de premier défaut et en conditions anormales de fonctionnement
	V				V
	Tension alternative (efficace) U_{CA}	Tension alternative (crête) $U_{crête}$	Tension continue (moyenne) U_{CC}	Tension de tenue aux chocs $U_{crête}^c$	Tension (Alternative crête ou continue) ^b
DVC As (humide et brouillard salin) ^{d, e}	6	8,5	15	800	voir Figure 5 et Figure 6
DVC As^f (sec)	25 (30)	35,4 (42,4)	60		
DVC B	50	71	120	Selon le Tableau 7 ^a	--
DVC C	1 000	4 500 ^g	1 500		

^a Pour les alimentations non raccordées directement au réseau, voir 4.4.7.2.4.

^b Les impulsions uniques se rapportent aux limites de tension continue et les impulsions répétitives aux limites de tension alternative.

^c Transitoires maximales avec caractéristique d'impulsion de 1,2/50 µs comme critère de conception. Voir Tableau 7.

^d Les valeurs sont issues de l'IEC 61140:2016, 5.2.6.

^e Pour les conditions climatiques, voir Tableau 18.

^f Les valeurs entre parenthèses sont admises lorsqu'un seul circuit est fourni ou lorsque les circuits ne sont pas accessibles simultanément.

^g La valeur de 4 500 V permet au présent document de couvrir tous les produits à basse tension (réflexions possibles jusqu'à $3 \times \sqrt{2} \times 1\,000\text{ V} = 4\,242\text{ V}$).

Dans un délai conforme à la Figure 5 et à la Figure 6, la tension doit diminuer jusqu'à la valeur en régime établi donnée dans le Tableau 2, ou le défaut doit être interrompu par un dispositif de protection. Dans des conditions de défaut avec utilisation d'un dispositif de protection, les caractéristiques de ce dispositif doivent assurer que les limites temps-tension données à la Figure 5, à la Figure 6 et à la Figure 7 ne sont pas dépassées. Si un dispositif de protection externe est utilisé, les informations concernant les caractéristiques de ce dispositif doivent être spécifiées par le fabricant du PECS dans la documentation selon 6.3.9.6.

Pour les essais, voir 5.2.4.

Si les résultats d'essai ne sont pas satisfaisants, un moyen supplémentaire est nécessaire pour la protection contre les chocs électriques selon 4.4.3.

4.4.2.7 Exigences de protection contre les chocs électriques

Le Tableau 3 donne des solutions possibles relatives à la conformité au 4.4 pour l'application d'une *protection renforcée* ou d'une *protection principale*, selon la DVC du circuit à l'étude, ainsi que des *circuits adjacents*.

Les exigences du présent document relatives à la protection contre les chocs électriques peuvent être remplies par d'autres moyens que ceux indiqués dans le Tableau 3, auquel cas une analyse de défaillance conformément au 4.2 et des essais doivent démontrer que les exigences du 4.1 et du 4.4 sont respectées.

Tableau 3 – Exigences minimales de protection pour le circuit à l'étude

Circuit à l'étude	Vers les parties accessibles reliées à la mise à la terre de protection ^g	Vers les parties accessibles non reliées à la mise à la terre de protection ^a	Vers un circuit adjacent			
	Zones d'accès général	Zones d'accès pour l'entretien ou zones d'accès limité	DVC As	DVC B	DVC C	
	Pour les personnes ordinaires et les personnes qualifiées	Pour les personnes qualifiées ^e				
DVC As	Aucune ^b	Aucune ^b	Aucune ^b	Aucune ^{b,c,d}	Protection principale ^f	Protection renforcée
DVC B	Aucune ^b	Protection principale	Protection principale ^h	Protection principale ^f	Aucune ^{b,c,d}	Protection renforcée
DVC C	Protection principale	Protection renforcée	Protection renforcée	Protection renforcée	Protection renforcée	Aucune ^{b,d,e}

Pour plus d'informations sur la *protection principale*, voir 4.4.3.

Pour plus d'informations sur la *protection renforcée*, voir 4.4.5.1.

NOTE 1 Le présent tableau décrit les exigences de protection entre les différents circuits séparés galvaniquement.

NOTE 2 Voir l'Annexe A pour plus d'explications.

NOTE 3 Pour la DVC As, tenir compte du niveau du Tableau 2.

NOTE 4 Voir ligne 4 du Tableau A.1 pour l'exigence de protection applicable aux ouvertures des *enveloppes*.

^a Toute connexion qui ne satisfait pas au 4.4.4.2, par exemple mise à la terre fonctionnelle.

^b La protection n'est pas nécessaire pour la sécurité, mais elle peut l'être pour des raisons fonctionnelles selon 4.4.7.3. Pour les circuits de DVC As situés dans des environnements différents, une *protection principale* doit être utilisée.

^c Une *protection renforcée* est nécessaire si une *condition de premier défaut* entre les circuits conduit à une violation de la classification DVC du circuit individuel.

^d Une *protection principale* est nécessaire en fonction du circuit de tension plus élevée, si une *condition de premier défaut* entre les circuits conduit à des tensions supérieures à celle du circuit de plus faible tension.

^e Une *protection renforcée* est nécessaire en fonction du circuit de tension plus élevée, si une *condition de premier défaut* entre les circuits de DVC C entraîne un danger.

^f Une *protection principale* suffit s'il peut être assuré que les valeurs de DVC B ne sont présentes que pendant une courte période, selon la Figure 5 et la Figure 6. Sinon, une *protection renforcée* est nécessaire.

^g Toute connexion qui satisfait au 4.4.4.2.

^h Voir 4.4.3.3.

Afin d'assurer l'intégrité de l'isolation du PECS, le fabricant d'un PECS doit spécifier la tension maximale qui peut être raccordée à chaque accès.

Pour le marquage, voir 6.3.9.1.

4.4.3 Moyens de *protection principale* (protection contre le contact direct)

4.4.3.1 Généralités

Le 4.4.3 décrit les moyens de *protection principale*. Afin d'empêcher les personnes de toucher des *parties actives dangereuses* en conditions normales de fonctionnement, une *protection principale* est employée. Elle doit être assurée par les moyens indiqués ci-après, comme cela est spécifié en 4.4.1:

- protection au moyen de l'*isolation principale* des *parties actives dangereuses* conformément au 4.4.3.2; ou
- *protection au moyen d'enveloppes* ou de barrières conformément au 4.4.3.3.

4.4.3.2 Protection au moyen de l'*isolation principale* des *parties actives dangereuses*

L'*isolation principale* doit être assurée par

- une *isolation solide*; ou
- une *distance d'isolement* et des *lignes de fuite* en combinaison avec des *enveloppes* ou des barrières conformément au 4.4.3.3.

L'*isolation* doit être déterminée en fonction de la *tension de tenue aux chocs*, de la *surtension temporaire* ou de la *tension de fonctionnement* (voir 4.4.7.2.1), en retenant celle qui donne l'exigence la plus sévère.

Il ne doit pas être possible de retirer l'*isolation* sans utiliser un outil ou une clé.

Une *partie accessible* conductrice 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'*isolation principale*.

Toute *partie accessible* conductrice qui n'est pas séparée des *parties actives* au moins comme cela est spécifié dans les exigences de protection minimales du Tableau 3 est considérée comme une *partie active dangereuse*.

L'*isolation principale* doit être conçue et soumise à l'essai conformément aux *tensions de tenue aux chocs* et aux *surtensions temporaires* des circuits auxquels elles sont raccordées.

La conformité est démontrée par les essais décrits en 5.2.3.2 et en 5.2.3.4.

4.4.3.3 Protection au moyen d'*enveloppes* ou de barrières

Les *parties actives dangereuses* doivent être disposées dans des *enveloppes* ou placées derrière des *enveloppes* ou des barrières, lesquelles satisfont au moins aux exigences de l'indice de protection IP2X selon l'IEC 60529:1989, l'IEC 60529:1989/AMD1:1999 et l'IEC 60529:1989/AMD2:2013.

Toutefois, les *parties actives dangereuses* situées au niveau des surfaces supérieures des *enveloppes* ou barrières qui sont *accessibles* lorsque le PECS est sous tension doivent satisfaire au moins aux exigences de l'indice IP3X pour le seul accès vertical.

Pour les PECS conçus comme des *matériels déplaçables* sans dessus ni fond définis, cette exigence d'indice IP3X s'applique à toutes les parois latérales.

Si le PECS est installé dans une *zone d'accès limité*, l'indice de protection IPXXB s'applique à la place de l'indice IP3X.

Les ouvertures de l'*enveloppe* supérieures à 1,8 m doivent être conformes à l'indice de protection IPXXB.

La conformité est vérifiée par l'essai décrit en 5.2.2.2.

L'ouverture des *enveloppes* ou le retrait des barrières doivent uniquement être possibles:

- à l'aide d'un outil ou d'une clé; ou
- après la mise hors tension des *parties actives dangereuses*.

Lorsque l'*enveloppe* est prévue pour être ouverte uniquement par des *personnes qualifiées* et que le *PECS* est alimenté pendant l'installation ou la maintenance:

- a) les *parties actives dangereuses accessibles* doivent être protégées au moins au niveau IPXXA;
- b) les *parties actives dangereuses* susceptibles d'être touchées lors de réglages doivent être protégées au moins au niveau IPXXB; et
- c) il doit être assuré que les personnes ont conscience que les *parties actives dangereuses* sont *accessibles*; celles-ci doivent être marquées conformément aux exigences du 6.3.9.1 et du 6.5.1.

Les dispositifs de protection contre l'accès aux *parties actives dangereuses* au moyen d'*enveloppes* et de barrières conformément au 4.4.3.3 ne s'appliquent pas aux sous-ensembles de *type ouvert* ni aux *PECS* prévus pour être installés

- à l'intérieur d'une *enveloppe* supplémentaire pour l'application finale; ou
- dans une *zone d'accès limité*,

lorsqu'ils sont marqués conformément au 6.3.6.2.

4.4.4 Moyens de protection en cas de défaut (protection contre le contact indirect)

4.4.4.1 Généralités

Le 4.4.4 décrit les moyens de *protection en cas de défaut*. La *protection en cas de défaut* est nécessaire pour éviter les chocs électriques qui peuvent se produire en cas de contact avec des *parties accessibles* conductrices pendant et après une défaillance.

La *protection en cas de défaut* doit être assurée par un ou plusieurs des moyens suivants:

- *liaison équipotentielle de protection* (circuit) conformément au 4.4.4.2, en combinaison avec un *conducteur de mise à la terre de protection* conformément au 4.4.4.3;
- déconnexion automatique de l'alimentation conformément au 4.4.4.4;
- *isolation* supplémentaire conformément au 4.4.4.5;
- *protection principale* entre circuits conformément au 4.4.4.6; ou
- *protection par écran* conformément au 4.4.4.7.

Les moyens utilisés pour la *protection en cas de défaut* doivent être indépendants et complémentaires de la *protection principale*.

4.4.4.2 Liaison équipotentielle de protection (circuit)

4.4.4.2.1 Généralités

La *liaison équipotentielle de protection* est un moyen de *protection en cas de défaut* qui permet d'assurer une protection contre les chocs électriques.

Le circuit de *liaison équipotentielle de protection* comprend l'interconnexion:

- de la ou des bornes de *mise à la terre de protection* du PECS (voir 4.4.4.3.2);
- des *conducteurs de mise à la terre de protection* (4.4.4.3) à l'intérieur du PECS et entre les parties du PECS, y compris les contacts coulissants lorsqu'ils font partie du circuit; et
- des parties structurelles conductrices et des *parties accessibles* conductrices du PECS.

Une *liaison équipotentielle de protection* doit être fournie entre les *parties accessibles* conductrices du PECS et le moyen de raccordement du *conducteur de mise à la terre de protection* du 4.4.4.3.2, afin d'assurer la déconnexion automatique de l'alimentation conformément à l'IEC 60364-4-41:2005 et à l'IEC 60364-4-41:2005/AMD1:2017, Article 411 (voir Annexe Q), sauf lorsque les *parties accessibles* conductrices sont protégées par un des moyens de *protection renforcée* indiqués en 4.4.5.4.

La *liaison équipotentielle de protection* doit être convenablement protégée contre les dommages mécaniques, la dégradation chimique ou électrochimique, les forces électromagnétiques et thermodynamiques.

Les points de connexion électrique de la *liaison équipotentielle de protection* doivent être résistants à la corrosion.

Les connexions électriques du circuit de *liaison équipotentielle de protection* doivent être conçues de sorte que la pression de contact ne soit pas transmise par le matériau isolant, à moins que les parties métalliques soient suffisamment flexibles pour compenser toute contraction ou déformation éventuelle du matériau isolant.

Toute connexion (par vis ou pinces, par exemple) entre la *liaison équipotentielle de protection* et d'autres matériels doit assurer une continuité électrique durable et une résistance et une protection mécaniques adéquates.

Les vis de connexion de la *liaison équipotentielle de protection* ne doivent servir à aucune autre fin, sauf spécification contraire du fabricant dans la documentation.

Le contact électrique sur les dispositifs de raccordement 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; (voir Figure 4, repère 8);
- par l'intermédiaire d'autres *parties accessibles* conductrices ou autres *composants* métalliques qui ne sont pas retirés lorsque le PECS est utilisé comme prévu; ou
- par l'intermédiaire d'*enveloppes* métalliques, de parois ou de cadres.

Lorsque des surfaces peintes (en particulier des surfaces peintes avec de la poudre) sont jointes, le masquage, le perçage de la peinture ou une connexion séparée doivent être réalisés pour assurer un contact fiable.

Lorsque le matériel électrique est monté sur des couvercles, des portes ou des capots, la continuité du circuit de *liaison équipotentielle de protection* doit être assurée par un conducteur spécifique ou un dispositif équivalent qui satisfait aux exigences de *liaison équipotentielle de protection*. Si des fixations, des charnières ou des contacts glissants ne fournissent pas ou ne procurent pas une impédance suffisamment faible, il est nécessaire d'appliquer une liaison suffisante en parallèle.

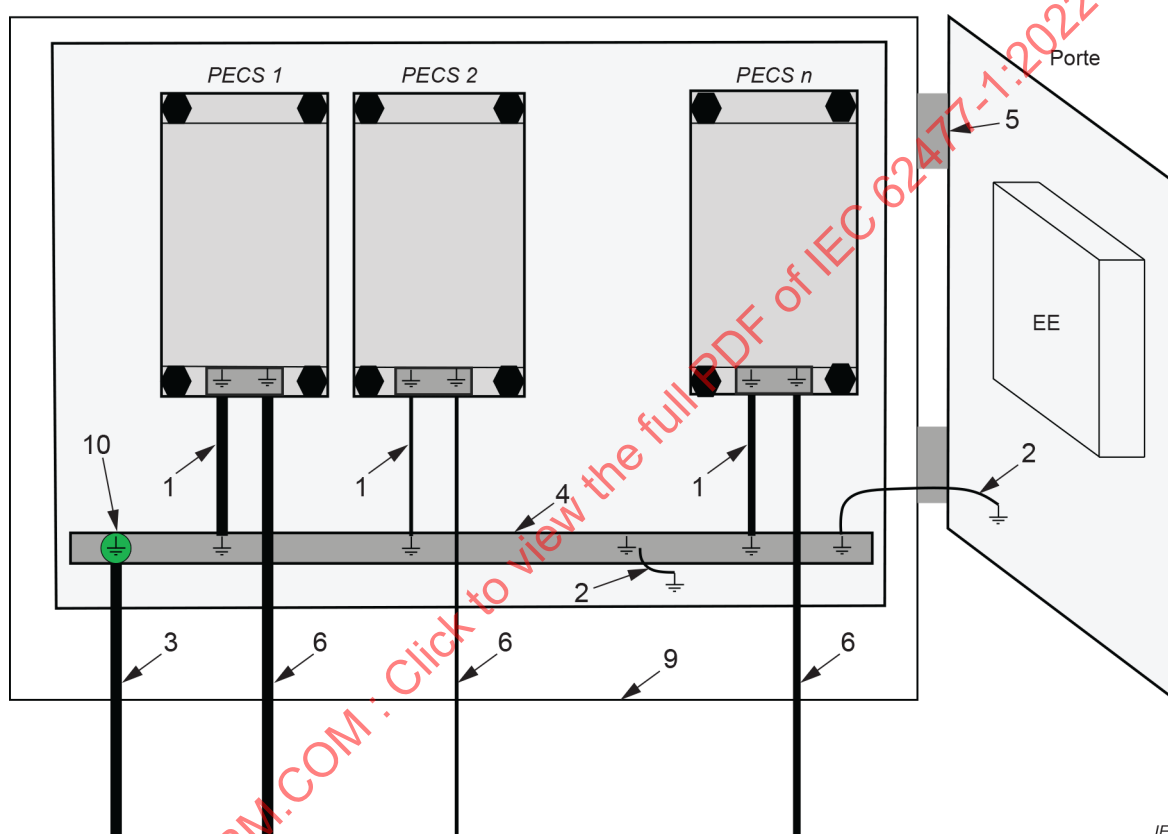
Sauf spécification contraire du fabricant et conformément au 4.4.4.2.2, les conduits métalliques flexibles ou rigides et les gaines métalliques ne doivent pas servir de dispositif de *liaison équipotentielle de protection*. Néanmoins, les conduits ou gaines métalliques de tous les câbles de raccordement (par exemple armatures de câble, gaines en plomb) doivent être raccordés au circuit de *liaison équipotentielle de protection*.

En présence d'une tension dangereuse sur des conducteurs inutilisés en raison d'un couplage capacitif ou inductif des conducteurs adjacents, les conducteurs inutilisés doivent être raccordés au circuit de *liaison équipotentielle de protection*.

Le circuit de *liaison équipotentielle de protection* ne doit pas comprendre de *composant* tel qu'un dispositif de coupure ou qu'un *dispositif de protection contre les surintensités* susceptible d'ouvrir le circuit.

Pour le marquage, voir 6.3.9.3.

La Figure 3 montre un exemple d'assemblage *PECS* et sa *liaison équipotentielle de protection* associée.

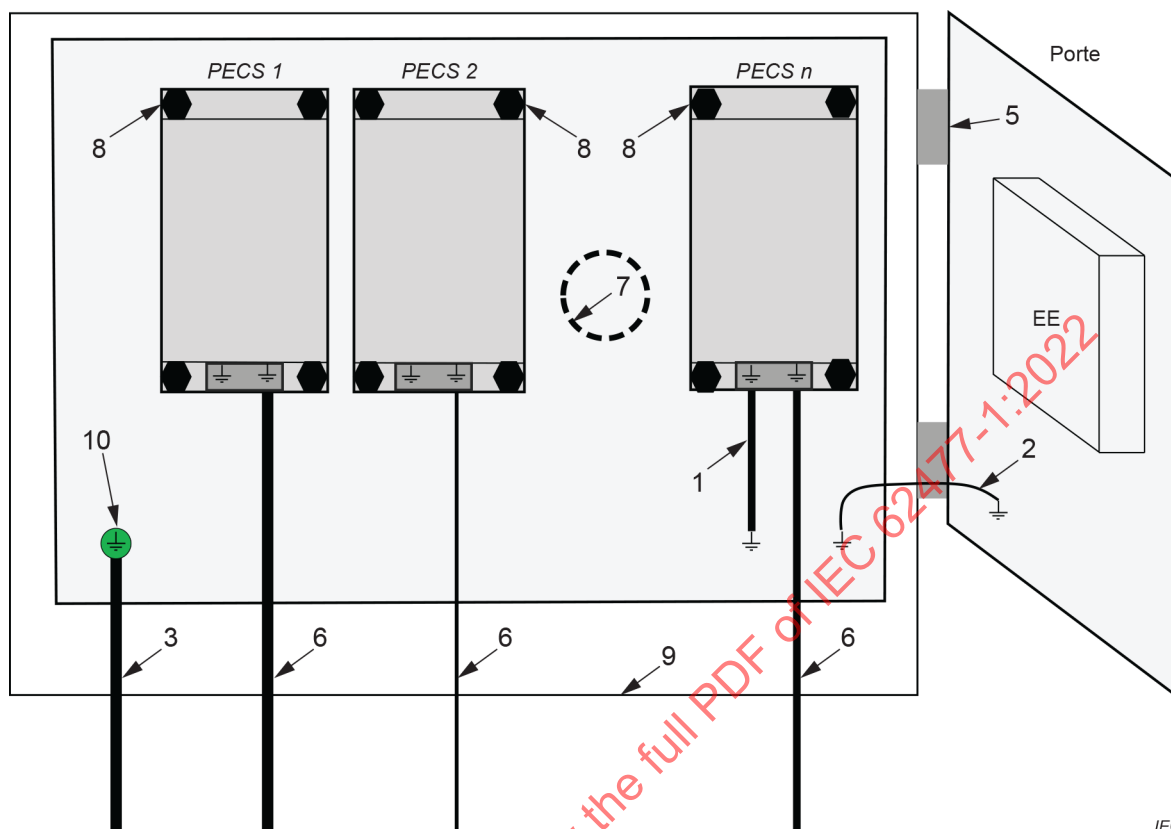


Légende

- 1 *liaison équipotentielle de protection* interne des sous-systèmes (4.4.4.2)
- 2 *liaison équipotentielle de protection* interne (4.4.4.2)
- 3 *conducteur de mise à la terre de protection* externe (dimensionné selon les exigences du *PECS*) vers un point de mise à la terre de l'installation
- 4 barre de *terre* interne
- 5 charnière
- 6 *conducteur de liaison équipotentielle de protection* vers la charge (4.4.4.2)
- 7 non utilisé
- 8 non utilisé
- 9 *enveloppe* (4.12)
- 10 dispositif de raccordement du *conducteur de mise à la terre de protection* (4.4.4.3.2)
- EE autre matériel électrique (relié à la masse si cela est approprié pour ce matériel)

Figure 3 – Exemple d'assemblage *PECS* et sa *liaison équipotentielle de protection* associée

La Figure 4 montre un exemple d'assemblage *PECS* et sa *liaison équipotentielle de protection* associée par contact métallique direct.



Légende

- 1 *liaison équipotentielle de protection* interne des sous-systèmes
- 2 *liaison équipotentielle de protection* interne (4.4.4.2)
- 3 *conducteur de mise à la terre de protection* externe (dimensionné selon les exigences du *PECS*) vers un point de mise à la terre de l'installation
- 4 non utilisé
- 5 charnière
- 6 *conducteur de liaison équipotentielle de protection* vers la charge (4.4.4.2)
- 7 sous-plaque métallique
- 8 *liaison équipotentielle de protection* interne, par contact métallique direct selon la documentation du fabricant
- 9 *enveloppe* (4.12)
- 10 dispositif de raccordement du *conducteur de mise à la terre de protection* (4.4.4.3.2)
- EE autre matériel électrique (relié à la masse si cela est approprié pour ce matériel)

Figure 4 – Exemple d'assemblage *PECS* et sa *liaison équipotentielle de protection* associée par contact métallique direct

4.4.4.2.2 Caractéristiques assignées de la *liaison équipotentielle de protection*

La *liaison équipotentielle de protection* doit être:

- a) dimensionnée conformément aux exigences applicables au *conducteur de mise à la terre de protection* en 4.4.4.3 et au dispositif de raccordement du *conducteur de mise à la terre de protection* en 4.4.4.3.2, pour assurer qu'aucune chute de tension ne dépasse les limites données à la Figure 7 en conditions de défaut; ou

b) dimensionnée:

- pour résister aux contraintes les plus élevées qui peuvent se produire sur le ou les éléments du *PECS* concernés lorsqu'ils sont sujets à un défaut les connectant à des *parties accessibles* conductrices; et
- pour rester efficace tant que le défaut sur les *parties accessibles* conductrices persiste ou jusqu'à ce qu'un dispositif de protection en amont supprime le courant dans ces parties.

La conformité doit être vérifiée par les *essais de type* décrits en 5.2.3.11.

4.4.4.3 Conducteur de mise à la terre de protection

4.4.4.3.1 Généralités

Un *conducteur de mise à la terre de protection* doit toujours être connecté lorsque le *PECS* est alimenté, sauf si le *PECS* est conforme aux exigences d'un *matériel de classe II* (voir 4.4.6.3) ou d'un *matériel de classe III* (voir 4.4.6.4). 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 4 ou par des calculs conformes au 543.1 de l'IEC 60364-5-54:2011.

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 4 – Section du conducteur de mise à la terre de protection

Section des conducteurs de phase du <i>PECS</i> S mm ²	Section minimale du <i>conducteur de mise à la terre de protection</i> correspondant S_p^a mm ²
$S \leq 16$	S
$16 < S \leq 35$	16
$35 < S$	$S/2$
^a Ces valeurs ne sont valables que si le <i>conducteur de mise à la terre de protection</i> est constitué du même matériau que les conducteurs de phase. Dans le cas contraire, la section du <i>conducteur de mise à la terre de protection</i> doit être déterminée de façon telle que la conductivité soit égale à celle qui résulte de l'application des valeurs de ce tableau.	

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'*enveloppe* 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 *PECS* connectés par cordon, des dispositions doivent être prises de sorte que le *conducteur de mise à la terre de protection* du cordon doive, en cas de détérioration du mécanisme antitraction, être le dernier conducteur à être interrompu.

Pour les topologies de *systèmes* spéciaux, le concepteur du *PECS* doit vérifier la section exigée pour le *conducteur de mise à la terre de protection*.

4.4.4.3.2 Dispositif de raccordement du conducteur de mise à la terre de protection

Le *PECS* doit posséder un dispositif pour raccorder le *conducteur de mise à la terre de protection*, situé à proximité des bornes des conducteurs de phase associés. Le dispositif de raccordement doit être résistant à la corrosion et adapté aux conducteurs du Tableau 4 ainsi

qu'aux câbles conformes aux règles de raccordement applicables à l'*installation* (voir 4.4.4.3.3, 4.11.10.2 et 4.11.10.3).

Le dispositif de raccordement du *conducteur de mise à la terre de protection* ne doit ni être utilisé en tant que partie de l'assemblage mécanique du *PECS* ni pour d'autres raccordements. Le raccordement et les points de liaison doivent être conçus de sorte que leur capacité de transport de courant ne soit pas altérée par des influences mécaniques, chimiques ou électrochimiques.

Les vis et écrous de serrage du *conducteur de mise à la terre de protection* ne doivent pas servir à fixer d'autres *composants*, bien qu'ils puissent maintenir les bornes en place ou empêcher leur rotation.

En présence d'*enveloppes* et/ou de conducteurs en aluminium ou alliage d'aluminium, il convient de porter une attention particulière aux problèmes de corrosion électrolytique.

L'Annexe K fournit de plus amples informations sur les potentiels électrochimiques.

La conformité doit être vérifiée par *inspection visuelle* à 5.2.1.

Pour le marquage, voir 6.3.9.2.2.

Le marquage ne doit pas être apposé ou fixé au moyen de vis, de rondelles ou d'autres pièces susceptibles d'être enlevées au moment de la connexion des conducteurs.

4.4.4.3.3 Exigences relatives au *conducteur de mise à la terre de protection* renforcé

4.4.4.3.3.1 Généralités

Les exigences du 4.4.4.3.3 doivent être respectées pour éviter que les *parties accessibles* conductrices ne deviennent dangereuses en cas de dommages ou de déconnexion du *conducteur de mise à la terre de protection* qui affectent alors le *courant de contact*. Il est également question des problèmes liés aux *PECS* qui présentent un courant de fuite élevé.

4.4.4.3.3.2 *PECS* conçus comme des équipements enfichables de type A

Pour les *équipements enfichables de type A*, le *courant de contact* ne doit pas excéder les limites spécifiées dans le Tableau 5.

4.4.4.3.3.3 *PECS* conçus comme des équipements enfichables de type B et comme des équipements reliés en permanence

Pour les *équipements enfichables de type B* et les *équipements reliés en permanence*,

- a) le *courant de contact* ne doit pas dépasser les limites spécifiées dans le Tableau 5; ou
- b) utiliser un *équipement enfichable de type B* avec 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 conforme au 4.12.6 doit être utilisé; ou

c) l'un des éléments suivants doit être fourni:

- une section du *conducteur de mise à la terre de protection* au moins égale à 10 mm² Cu ou 16 mm² Al;
- une déconnexion automatique de l'alimentation en cas de discontinuité du *conducteur de mise à la terre de protection* conformément au 4.4.4.4;
- 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 conformément au Tableau 4; ou
- le *conducteur de mise à la terre de protection* selon le Tableau 4 est entièrement enfermé dans des *enveloppes* de matériel électrique ou dispose d'une autre protection contre les dommages mécaniques sur toute sa longueur (voir 4.11.2.2).

La conformité est vérifiée par *inspection visuelle* à 5.2.1 et par l'essai décrit en 5.2.3.7.

Pour le marquage, voir 6.3.9.4.

4.4.4.3.3.4 Conditions de courant de fuite élevé pour un PECS relié en permanence

En conditions normales de fonctionnement, le courant du *conducteur de mise à la terre de protection* (valeur efficace) ne doit pas dépasser 5 % du courant d'entrée assigné du PECS relié en permanence.

Si l'exigence ci-dessus n'est pas réalisable, pour des raisons fonctionnelles ou autres, le fabricant doit fournir dans la documentation des informations relatives aux moyens de protection exigés, par exemple:

- un *conducteur de mise à la terre de protection* surdimensionné; ou
- une *liaison équipotentielle de protection* entre le PECS et des objets conducteurs externes accessibles simultanément dans un rayon de 2,5 m comme:
 - des tuyaux métalliques;
 - des clôtures;
 - des échelles fixes;
 - des rampes;
 - une connexion à la terre locale.

NOTE Voir l'IEC 60204-1:2016, Figure 4.

La conformité est vérifiée par l'essai décrit en 5.2.3.7.

Pour le marquage, voir 6.3.9.4.

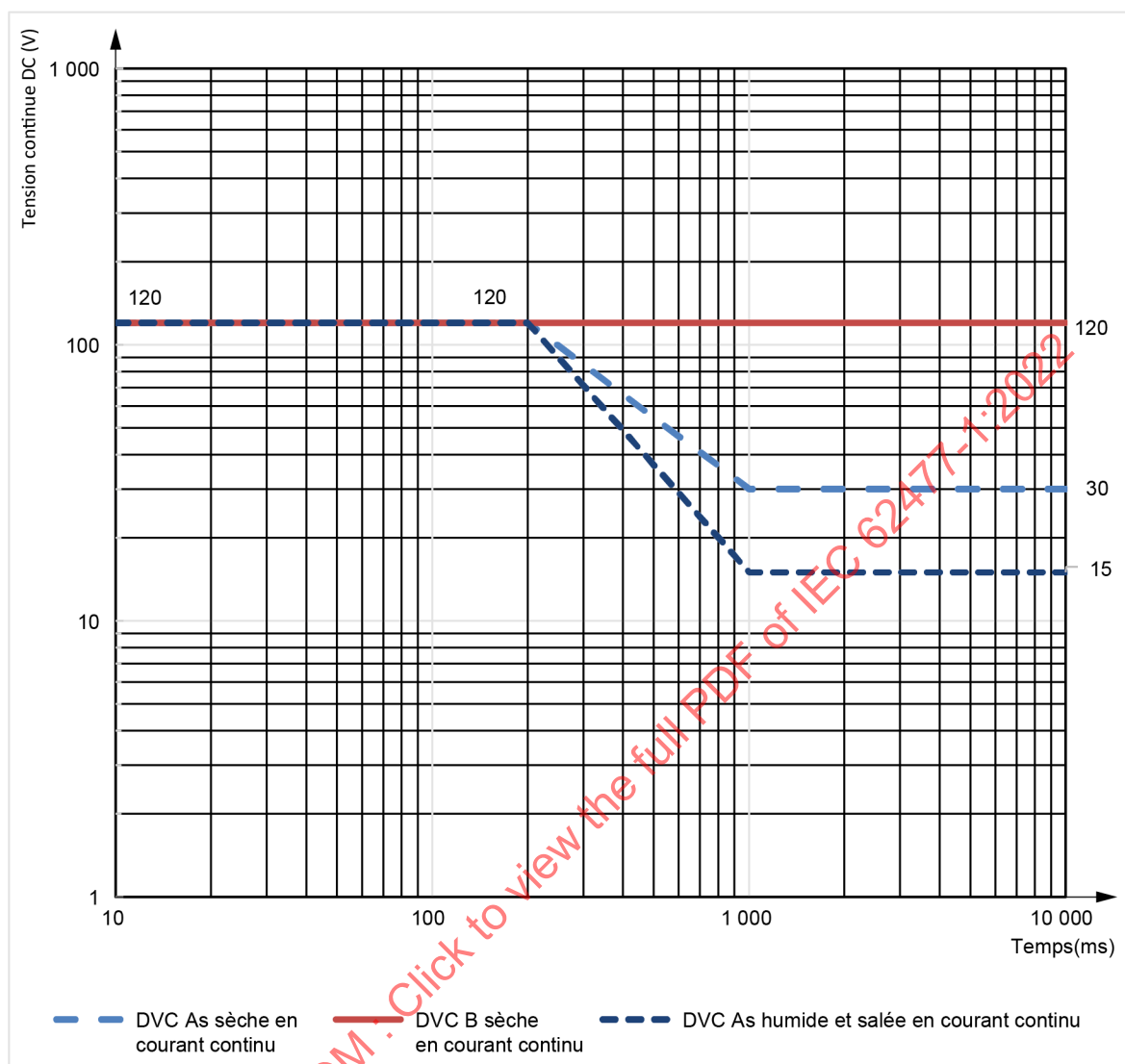
4.4.4.4 Déconnexion automatique de l'alimentation

Pour la déconnexion automatique de l'alimentation:

- un *système de liaison équipotentielle de protection* doit être fourni; et
- un dispositif de protection actionné par le courant de défaut doit déconnecter un ou plusieurs des conducteurs de phase qui alimentent le PECS ou l'*installation*, en cas de défaillance de la *protection principale*.

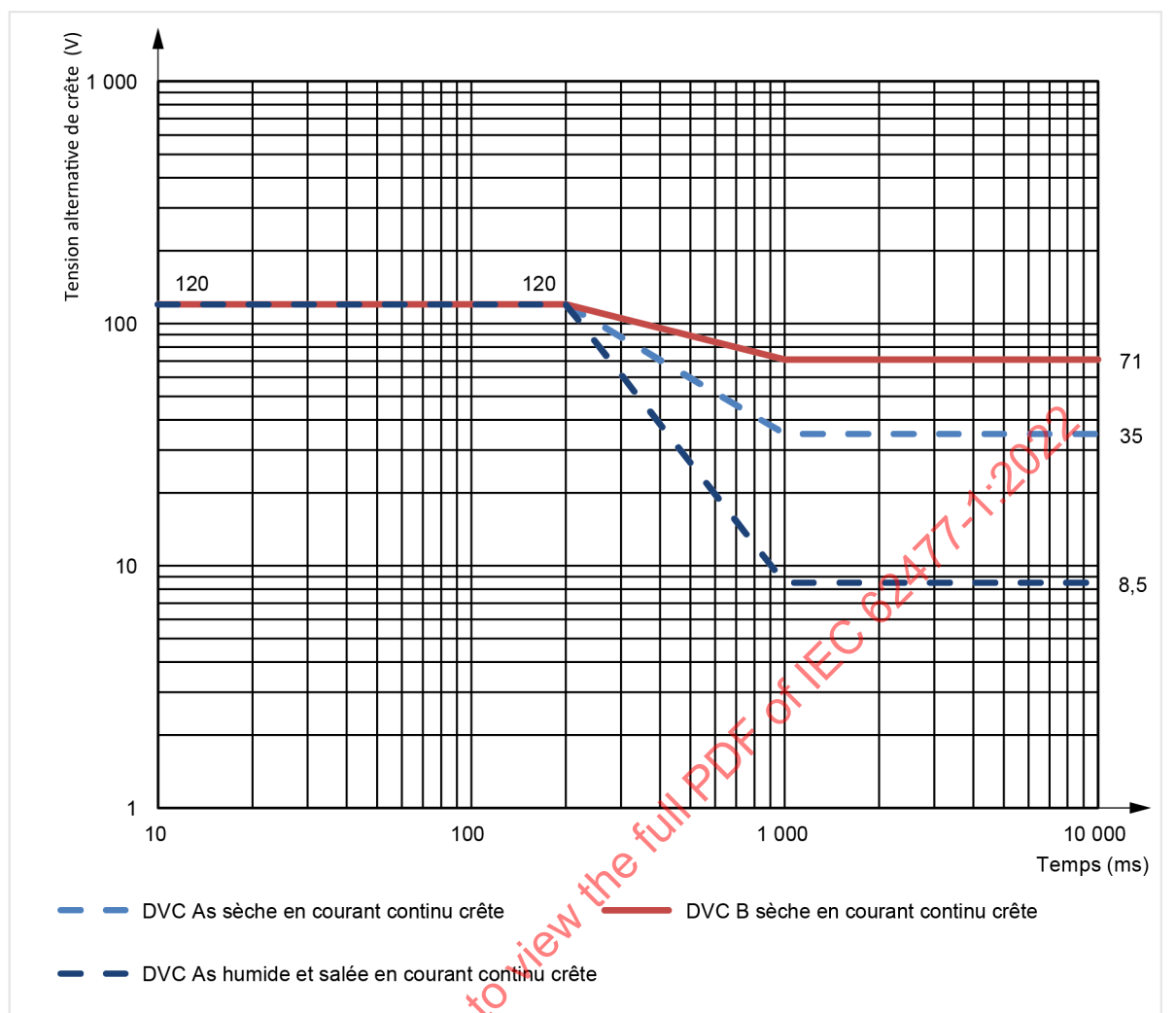
Le dispositif de protection doit être du même type que celui spécifié en 4.3.1.

Le dispositif de protection doit interrompre le courant de défaut dans un délai spécifié à la Figure 5, à la Figure 6 ou à la Figure 7.



IEC

Figure 5 – Zones temps-tension pour les circuits de DVC As et de DVC B accessibles – Tension continue en conditions de premier défaut



IEC

Figure 6 – Zones temps-tension pour les circuits de DVC As et de DVC B accessibles – Tension alternative de crête en conditions de premier défaut

NOTE Les limites de tension continue de la Figure 5 fournissent des informations concernant le risque de brûlure interne du corps humain, considéré comme aussi nocif que la tension alternative. La Figure 6 fournit des informations concernant les limites de *fibrillation ventriculaire* qui s'appliquent uniquement aux tensions alternatives.

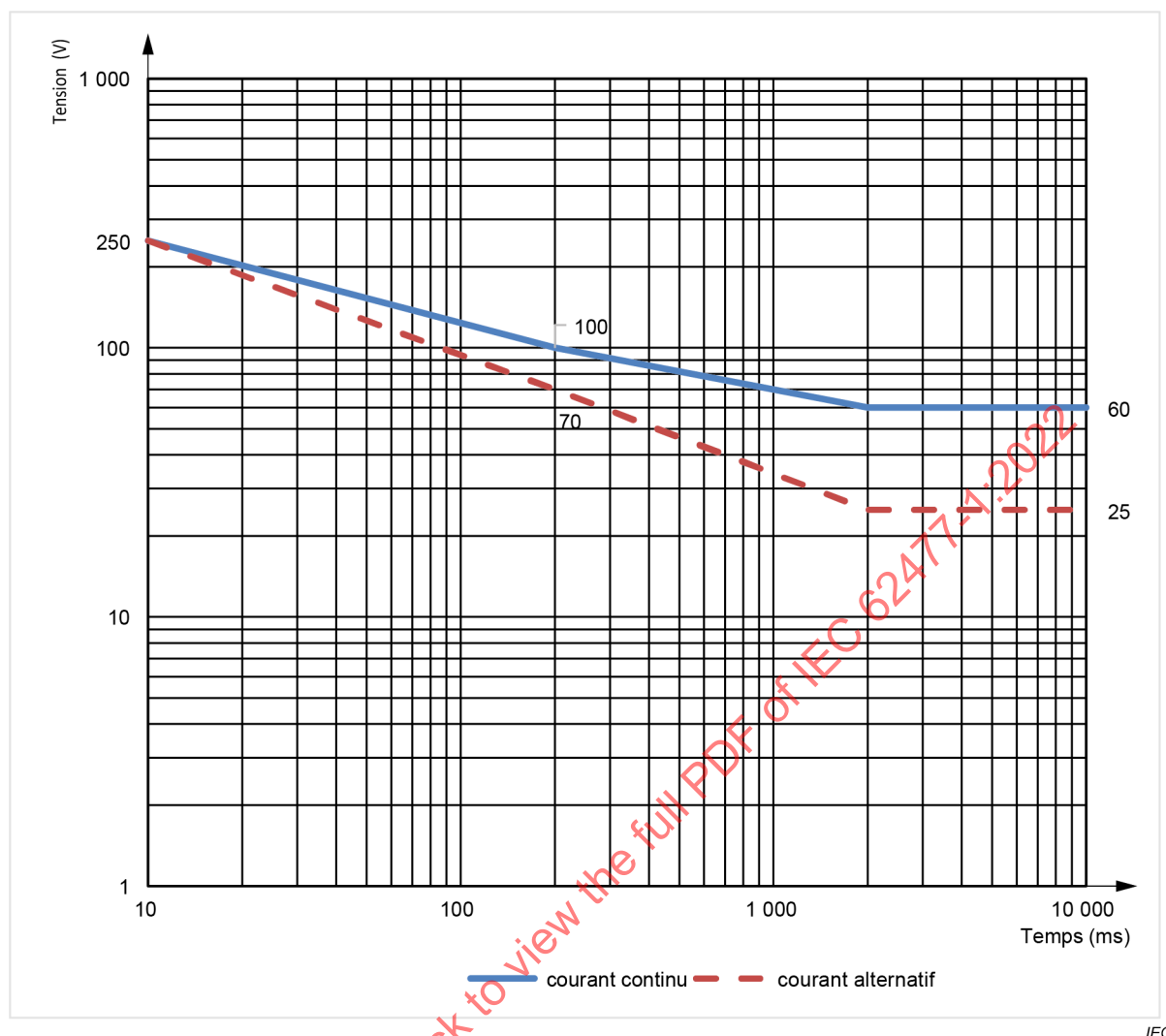


Figure 7 – Zones temps-tension pour les parties accessibles conductrices en conditions de premier défaut

4.4.4.5 Isolation supplémentaire

L'*isolation supplémentaire* est une isolation indépendante appliquée en complément à l'*isolation principale* pour la protection en cas de défaut et elle doit être dimensionnée pour résister aux mêmes contraintes que celles spécifiées pour l'*isolation principale*.

4.4.4.6 Protection principale entre circuits

La *protection principale* entre un circuit et d'autres circuits ou la terre doit être réalisée sur toute l'*isolation principale*, déterminée pour la tension la plus élevée présente dans le circuit.

Si un *composant* est connecté entre les circuits séparés, il doit résister aux contraintes électriques spécifiées pour l'*isolation* qu'il porte (voir 4.4.7.1.8).

Si un *composant* est connecté entre un circuit et un circuit raccordé à la terre, son impédance doit limiter le courant qui circule dans le *composant* aux valeurs du *courant de contact* en régime permanent indiquées en 4.4.5.5.

Si un ou plusieurs *composants* sont connectés entre des circuits et un circuit raccordé à la terre, leur impédance doit limiter le courant total qui circule dans le ou les *composants* aux valeurs du *courant de contact* en régime permanent indiquées en 4.4.5.5.

4.4.4.7 Protection par écran

La *protection par écran* interposée entre les *parties actives dangereuses* d'un PECS doit comprendre un écran conducteur raccordé à la *liaison équipotentielle de protection* du PECS, l'écran étant séparé des *parties actives dangereuses* par au moins une *protection principale*.

L'écran conducteur et l'écran raccordé au *système de liaison équipotentielle de protection* du PECS ainsi que l'interconnexion doivent être conformes aux exigences du 4.4.4.2.

4.4.5 Moyens de protection renforcée

4.4.5.1 Généralités

Le 4.4.5 décrit les moyens de *protection renforcée*. Une *protection renforcée* doit assurer la *protection principale* et la *protection en cas de défaut* et peut être réalisée par:

- une *double isolation* selon 4.4.5.2;
- une *isolation renforcée* selon 4.4.5.3;
- une *protection renforcée* entre circuits selon 4.4.5.4; ou
- une protection au moyen de l'*impédance de protection* selon 4.4.5.5.

4.4.5.2 Double isolation

La *double isolation* doit satisfaire aux exigences de l'*isolation principale* et de l'*isolation supplémentaire* (voir 4.4.3.2 et 4.4.4.5).

4.4.5.3 Isolation renforcée

L'*isolation renforcée* doit être conçue pour pouvoir résister aux contraintes électriques, thermiques, mécaniques et environnementales avec la même fiabilité de protection que celle assurée par la *double isolation* (*isolation principale* et *isolation supplémentaire*, voir 4.4.3.2 et 4.4.4.5).

4.4.5.4 Protection renforcée entre circuits

La *protection renforcée* entre un circuit et d'autres circuits doit être réalisée par l'un des moyens suivants:

- une *double isolation* selon 4.4.5.2 (*isolation principale* en 4.4.3.2 et *isolation supplémentaire* en 4.4.4.5);
- une *isolation renforcée* selon 4.4.5.3;
- une *protection par écran* selon 4.4.4.7 en combinaison avec une *isolation principale* selon 4.4.3.2; ou
- une combinaison de ces moyens.

Si un *composant* est connecté entre les circuits séparés, il doit satisfaire aux exigences relatives aux dispositifs de *protection par impédance* (voir 4.4.5.5).

4.4.5.5 Protection au moyen de l'impédance de protection

Pour assurer la protection contre un *courant de contact* dangereux en cas de contact avec une quelconque *partie accessible* conductrice du PECS complet, toutes les impédances connectées entre des *parties actives dangereuses* et des *parties accessibles* conductrices ou des *circuits accessibles* de DVC As doivent satisfaire aux exigences relatives aux *impédances de protection*.

Les *impédances de protection* doivent être réalisées de sorte qu'en conditions normales de fonctionnement, en *conditions anormales de fonctionnement* et en *conditions de premier défaut*, le *courant de contact* disponible soit limité selon le Tableau 5 et l'énergie de décharge soit limitée à 0,5 mJ.

L'accès aux parties capables de générer des *courants de contact* supérieurs aux limites du Tableau 5 doit être empêché en conditions normales de fonctionnement, en *conditions de premier défaut* et en *conditions anormales de fonctionnement*, sauf pour les parties conductrices *mises à la terre de protection* selon 4.4.4.3.3.

Tableau 5 – Limites d'accès du courant de contact

Plage de fréquences	Limite en condition normale de fonctionnement ^{a, b, c}	Limite en condition de premier défaut et en condition anormale de fonctionnement ^{a, b, d, e}
Courant continu	2 mA	10 mA
Courant alternatif ≤ 1 kHz	0,5 mA efficace ou 0,7 mA crête	3,5 mA efficace ou 5 mA crête
1 kHz < courant alternatif ≤ 100 kHz	0,5 mA efficace × fréquence en kHz ou 0,7 mA crête × fréquence en kHz	3,5 mA efficace + 0,95 × fréquence en kHz ou 5 mA crête + 0,95 × fréquence en kHz
Courant alternatif > 100 kHz	50 mA efficace ou 70 mA crête	100 mA efficace ou 140 mA crête
^a Pour les formes d'onde non sinusoïdales, les valeurs maximales s'appliquent et le courant est mesuré à l'aide du réseau de mesure spécifié dans l'IEC 60990:2016, Figure 4 pour les courants jusqu'à 2 mA ou dans l'IEC 60990:2016, Figure 5 pour les courants supérieurs à 2 mA. ^b Pour les formes d'onde sinusoïdales et en courant continu, les valeurs efficaces s'appliquent et le courant peut être mesuré à l'aide d'une résistance de 2 000 Ω. ^c Ces limites correspondent au seuil de perception selon l'IEC 60479-1:2018 et l'IEC 61140:2016. ^d Ces limites correspondent au seuil de douleur selon l'IEC 60479-1:2018 et l'IEC 61140:2016. ^e Ces conditions de défaut incluent les pertes de connexion à la <i>terre de protection</i> .		

Une *impédance de protection* conçue conformément au 4.4.5.5 ne doit pas être considérée comme une connexion galvanique.

Lorsque des *impédances de protection* sont utilisées pour ponter une *isolation*, le 4.4.7.1.8 s'applique.

Pour la conformité à l'exigence de limitation des *courants de contact*, voir 5.2.3.7.

Pour la conformité à l'exigence de limitation des *courants de contact* pour l'*impédance de protection*, voir 5.2.3.6.

La conformité à l'exigence de l'énergie de décharge doit être vérifiée par des calculs et/ou des mesures afin de déterminer la tension et la capacité.

Pour le marquage, voir 6.3.9.4.

4.4.6 Moyens de protection des classes de matériels

4.4.6.1 Généralités

La partie d'un *PECS* qui satisfait aux exigences du 4.4.6.2 est définie comme un *matériel de classe I*.

La partie d'un *PECS* qui satisfait aux exigences du 4.4.6.3 est définie comme un *matériel de classe II*.

La partie d'un *PECS* qui satisfait aux exigences du 4.4.6.4 est définie comme un *matériel de classe III*.

La conformité doit être vérifiée en satisfaisant aux exigences d'un *matériel de classe I*, de *classe II* ou de *classe III*.

NOTE Une partie d'un *PECS* peut constituer un matériel d'une classe différente de celle du reste du système.

La Figure 1 et la Figure 2 donnent des exemples d'utilisation des éléments de moyens de protection adaptés aux *matériels et circuits de classe I*, de *classe II* et de *classe III*.

Les *matériels de classe I*, de *classe II* et de *classe III* doivent être marqués conformément au 6.3.9.2.

4.4.6.2 Moyens de protection pour *PECS* conçus comme *matériels de classe I*

Le *matériel de classe I* doit satisfaire aux exigences applicables à:

- la *protection principale* en 4.4.3; et
- la *protection en cas de défaut* en 4.4.4.2 et 4.4.4.3 pour ce qui concerne la *liaison équipotentielle de protection* et le *conducteur de mise à la terre de protection*.

Voir Figure 1, exemple 2, et Tableau A.1, ligne 4.

4.4.6.3 Moyens de protection pour *PECS* conçus comme *matériels de classe II*

Le *matériel de classe II* doit satisfaire aux exigences de *protection renforcée* selon 4.4.5.1.

En outre, l'*enveloppe* doit satisfaire aux exigences du 4.4.3.3 concernant l'accessibilité aux *parties actives dangereuses*.

Voir Figure 1, exemple 1, et Tableau A.1, ligne 4.

Le *matériel de classe II* ne doit pas posséder de dispositif de raccordement pour le *conducteur de mise à la terre de protection*. Cela ne s'applique pas si un *conducteur de mise à la terre de protection* passe au travers du *PECS*, jusqu'au matériel 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:

- de la *surface accessible* du *PECS*; et
- des circuits qui utilisent une *protection renforcée*

par au moins une *protection principale* conformément à l'exigence du 4.4.4.6.

La *protection principale* doit être conçue selon la tension assignée du matériel raccordé en série.

Le *PECS* conçu comme un *matériel de classe II* peut être raccordé à un conducteur de mise à la terre pour des raisons fonctionnelles ou pour l'amortissement des surtensions. Dans ce cas, le conducteur de mise à la terre fonctionnelle doit être isolé:

- de la *surface accessible* du *PECS*; et
- des circuits qui utilisent une *protection renforcée* selon 4.4.5.4

par au moins une *protection renforcée* conformément à l'exigence du 4.4.5.4.

NOTE Pour plus d'informations sur la mise à la terre fonctionnelle, voir l'IEC 60364-5-54:2011 et l'IEC 60364-5-54:2011/AMD1:2021, 545.

Le marquage des *matériels de classe II* doit être conforme au 6.3.9.2.3.

4.4.6.4 Moyens de protection pour *PECS* conçus comme *matériels de classe III*

Le *matériel de classe III* doit être marqué conformément au 6.3.9.2.4 et ne nécessite ni *protection principale* ni *protection en cas de défaut*.

NOTE Le *matériel de classe III* dépend d'une alimentation conforme aux moyens de protection des circuits de DVC As (voir 4.4.2.2). Par conséquent, le contact des *matériels de classe III* est considéré comme sécurisé et ne nécessite pas d'autres moyens de protection contre les chocs électriques.

4.4.7 Isolation

4.4.7.1 Facteurs d'influence

4.4.7.1.1 Généralités

Le 4.4.7 fournit les exigences minimales d'*isolation*, fondées sur les principes de l'IEC 60664.

Il doit être tenu compte des tolérances de fabrication sur les distances indiquées en 4.4.7.

Le choix de l'*isolation* doit être effectué en tenant compte de l'influence des facteurs suivants:

- *tension système* (voir 4.4.7.1.2);
- *degré de pollution*, voir 4.4.7.1.3;
- *catégorie de surtension* (voir 4.4.7.1.4);
- *système de mise à la terre* de l'alimentation (voir 4.4.7.1.5);
- *tension de tenue aux chocs et surtension temporaire* (voir 4.4.7.1.6);
- *tension système* compte tenu du *système de mise à la terre* de l'alimentation (voir 4.4.7.1.7);
- altitude et homogénéité de champ (voir 4.4.7.4.3 et 4.4.7.4.4);
- emplacement de l'*isolation*;
- type d'*isolation*; et
- caractéristiques des matériaux (voir 4.4.7.5.1, 4.4.7.8.2, 4.4.7.8.4).

La vérification de l'*isolation* doit être effectuée selon 5.2.3.1, 5.2.3.2, 5.2.3.3, 5.2.3.4 et 5.2.3.5, selon le cas.

4.4.7.1.2 Tension de fonctionnement

La *tension de fonctionnement*, y compris la valeur efficace, la crête répétitive et les valeurs moyennes, doit être déterminée soit par calcul, soit par simulation, soit par essai, en tenant compte de la tension présente dans les circuits, par rapport aux *circuits adjacents* et par rapport à la terre.

Pour des recommandations, voir Article A.5.

Pour les essais, voir 5.2.3.14.

4.4.7.1.3 Degré de pollution

L'*isolation*, particulièrement lorsqu'elle est réalisée par des *distances d'isolement* et des *lignes de fuite*, est affectée par la pollution qui apparaît pendant le cycle de vie prévu du *PECS*. Les conditions microenvironnementales concernant l'*isolation* doivent être appliquées selon le Tableau 6.

Tableau 6 – Définitions des degrés de pollution

Degré de pollution	Description
1	Pas de pollution ou apparition d'une pollution sèche non conductrice uniquement. La pollution n'a pas d'influence.
2	Normalement, apparition d'une pollution non conductrice uniquement. Occasionnellement, toutefois, une conductivité temporaire causée par la condensation doit être envisagée.
3	Une pollution conductrice ou une pollution sèche non conductrice apparaît, qui devient conductrice par la condensation qui doit être envisagée.
4	La pollution génère une conductivité persistante causée, par exemple, par de la poussière conductrice, de la pluie ou de la neige.
NOTE Ces définitions sont extraites de l'IEC 60664-1:2020.	

Le *degré de pollution* doit être déterminé en fonction des conditions environnementales pour lesquelles le produit est spécifié. Voir Tableau 18 pour le choix des *degrés de pollution* selon la classification environnementale de l'*installation*.

L'*isolation* peut être déterminée en fonction du *degré de pollution* 2 si l'une des conditions suivantes s'applique:

- des informations sont fournies, indiquant que le *PECS* doit être installé dans un environnement de *degré de pollution* 2;
- l'application spécifique où s'effectue l'*installation* du *PECS* est connue pour être un environnement de *degré de pollution* 2; ou
- l'*enveloppe* du *PECS* ou les revêtements appliqués dans le *PECS* selon 4.4.7.8.4.3 ou 4.4.7.8.5 offrent une protection adéquate pour les *degrés de pollution* 3 et 4 (pollution conductrice et condensation).

Lorsqu'une condensation ou une accumulation d'eau interne se produit pendant le fonctionnement normal ou la maintenance, des moyens doivent être prévus pour empêcher la dégradation de l'*isolation*.

Pour le marquage, voir 6.3.3.

Si le fonctionnement en environnement de *degré de pollution* 4 est exigé, la protection contre une pollution conductrice doit être réalisée au moyen d'une *enveloppe* adaptée.

NOTE 1 Voir l'Annexe B pour de plus amples informations sur la réduction du *degré de pollution*.

NOTE 2 Pour le *degré de pollution* 4, les dimensions des *lignes de fuite* ne peuvent pas être spécifiées en présence d'une pollution conductrice permanente. Pour le *degré de pollution* 3, la surface de l'*isolation* peut être conçue pour éviter le cheminement continu de la pollution conductrice, par exemple au moyen de nervures et de rainures. L'Annexe D fournit de plus amples informations concernant l'évaluation des *distances d'isolement* et des *lignes de fuite*.

4.4.7.1.4 Catégorie de surtension (OVC)

Le concept des *catégories de surtension* (fondé sur l'IEC 60364-4-44:2007, l'IEC 60364-4-44:2007/AMD1:2015, l'IEC 60364-4-44:2007/AMD2:2018 et l'IEC 60664-1:2020) est utilisé pour les *PECS* alimentés par le *réseau*, et concerne le niveau de protection contre les surtensions prévu. La *catégorie de surtension* pour une *alimentation non raccordée directement au réseau* est déterminée en tenant compte du fait qu'il existe ou non une protection contre les surtensions et que le *PECS* est raccordé ou non à des lignes extérieures, ainsi que de la longueur de ces lignes, le cas échéant.

Quatre catégories sont concernées.

- La *catégorie de surtension* IV (OVC IV) s'applique aux *PECS* à la source d'une *installation*.

EXEMPLE 1 Multimètres, matériels de protection contre les surintensités au primaire et autres matériels connectés directement à des lignes extérieures aériennes.

- La *catégorie de surtension* III (OVC III) s'applique aux matériels dans des *installations* fixes et lorsque la fiabilité et la disponibilité du matériel font l'objet d'exigences particulières.

EXEMPLE 2 Dispositifs de commutation dans une *installation* fixe et matériels à usage industriel *reliés en permanence* à l'*installation* fixe.

- La *catégorie de surtension* II (OVC II) s'applique aux *PECS* à consommation d'énergie qui doivent être alimentés par une *installation* fixe.

EXEMPLE 3 Appareils ménagers, outils portables et autres appareils électriques connectés par prise.

Lorsque ce type de *PECS* fait l'objet d'exigences particulières pour ce qui concerne la fiabilité et la disponibilité, la *catégorie de surtension* III s'applique.

- La *catégorie de surtension* I (OVC I) s'applique aux *PECS* raccordés à un circuit sur lequel des moyens ont été prévus pour réduire les surtensions transitoires à un faible niveau.

EXEMPLE 4 Matériels qui comportent des circuits électroniques qui disposent de ce niveau de protection.

NOTE A moins que les circuits ne soient conçus pour tenir compte des *surtensions temporaires*, les matériels de *catégorie de surtension* 1 ne peuvent pas être raccordés directement au *réseau*.

Les moyens de réduction de la tension de choc doivent assurer que les *surtensions temporaires* susceptibles de se produire sont suffisamment limitées pour empêcher que leur valeur de crête ne dépasse la *tension de tenue aux chocs* assignée applicable du Tableau 7 et doivent satisfaire à l'exigence du 4.4.7.2.3, du 4.4.7.2.4 et du 4.4.7.3 selon le cas.

L'Annexe I donne des exemples de *catégories de surtension* pour les exigences d'*isolation*.

Pour le *PECS* et les circuits qui ne sont pas destinés à être alimentés par le *réseau*, la *catégorie de surtension* appropriée doit être déterminée selon les exigences de l'application à partir de la protection contre les surtensions assurée au niveau de l'alimentation du *PECS* ou du circuit (voir 4.4.7.2.4).

4.4.7.1.5 Systèmes de mise à la terre de l'alimentation

L'IEC 60364-1:2005 décrit les trois principaux *systèmes* de mise à la terre suivants.

- *Système TN*: possède un point directement mis à la terre, les *parties accessibles* conductrices de l'*installation* étant reliées à ce point par des *conducteurs de mise à la terre 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 des *conducteurs de mise à la terre de protection*. Un *système* TN "corner earthed" ou un *système* TN "high-leg delta" est un *système* TN avec une phase à la terre.
- *Système TT*: possède un point directement mis à la terre, les *parties accessibles* conductrices de l'*installation* étant reliées à des prises de terre électriquement distinctes de la prise de terre du *système* d'alimentation. Un *système* TT "corner earthed" ou un *système* TT "high-leg delta" est un *système* TT avec une phase à la terre.
- *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 accessibles* conductrices de l'*installation* étant raccordées indépendamment ou collectivement au *système* de mise à la terre.

NOTE 1 Aux Etats-Unis et au Canada, l'utilisation d'un *système* TT n'est pas applicable.

NOTE 2 "Un point" désigne généralement le point neutre ou une phase, entre autres.

NOTE 3 Pour plus d'informations concernant les concepts de *systèmes* de mise à la terre (par exemple, TN-C, TN-S et TN-C-S), voir l'IEC 60364-1:2005, Article 312.

NOTE 4 Les *systèmes* "corner earthed" et "high leg delta" représentent deux cas de *systèmes* connectés en triangle avec un point directement mis à la terre. Dans un *système* "corner earthed", une phase est directement mise à terre. Dans un *système* "high leg delta", un enroulement d'un transformateur connecté en triangle comporte une prise centrale, laquelle est directement connectée à la terre.

NOTE 5 Concernant le raccordement du transformateur d'alimentation à la masse, aux Etats-Unis et au Canada, le terme "liaison" est utilisé en lieu et place du terme "mise à la terre".

Dans un *PECS* conçu pour fonctionner sur un *système* "corner earthed" ou "high leg delta",

- l'*isolation* entre les phases du *réseau* d'alimentation du *PECS*, y compris la phase mise à la terre, peut être conçue pour être une *isolation fonctionnelle* conformément au 4.4.7.3; et
- les circuits du *PECS* directement connectés à toute phase d'un *système* "corner earthed" ou "high leg delta" doivent être séparés des parties mises à la terre par au moins une *isolation principale*.

Pour le marquage, voir 6.2.1.4.

4.4.7.1.6 Détermination de la *tension de tenue aux chocs* et de la *surtension temporaire*

Tableau 7 utilise la *tension système* (voir 4.4.7.1.7) et la *catégorie de surtension* (voir 4.4.7.1.4) du circuit à l'étude pour définir la *tension de tenue aux chocs*. La *tension système* sert également à définir la *surtension temporaire* pour les *réseaux* d'alimentation.

Un *PECS* qui a plusieurs entrées ou sorties doit être évalué en fonction de l'entrée ou de la sortie qui présente les exigences les plus sévères. Voir également 4.4.7.2.5.

Tableau 7 – Tension de tenue aux chocs et surtension temporaire par rapport à la tension système

Colonne 1		2	3	4	5	6
Tension système ^a V (voir 4.4.7.1.7) jusqu'à et y compris		Tension de tenue aux chocs V				Surtension temporaire ^b V
		Catégorie de surtension (OVC)				
		Courant alternatif	Courant continu	I	II	III
50	75	330	500	800	1 500	1 250/1 770
100	150	500	800	1 500	2 500	1 300/1 840
150	225	800	1 500	2 500	4 000	1 350/1 910
300	450	1 500	2 500	4 000	6 000	1 500/2 120
600	900	2 500	4 000	6 000	8 000	1 800/2 550
1 000	1 250	4 000	6 000	8 000	12 000	2 200/3 110
--	1 500 ^c	6 000	8 000	10 000	15 000	2 200/3 110

^a L'interpolation de la *tension système* n'est pas admise dans le cadre de la détermination de la *tension de tenue aux chocs* pour le *réseau*. L'interpolation de la *tension système* est admise dans le cadre de la détermination de la *surtension temporaire* pour le *réseau* d'alimentation.

^b Les valeurs efficaces sont issues de la formule $1\,200\text{ V} + U_0$ (où U_0 est la *tension système*, voir 4.4.7.1.7) de l'IEC 60664-1:2020.

^c Pour les valeurs en courant continu uniquement.

4.4.7.1.7 Détermination de la tension système pour le réseau et pour une alimentation non raccordée directement au réseau

4.4.7.1.7.1 Alimentation par le réseau

Pour un PECS alimenté par le réseau en courant alternatif, la tension système (dans la colonne 1 du Tableau 7) est la suivante:

- dans les systèmes TN et TT à point neutre mis à la terre, la valeur efficace de la tension assignée entre phase et terre;
- dans les systèmes TN et TT "corner-earthed" ou "high-leg delta", la valeur efficace de la tension assignée entre phases;
- dans les systèmes IT triphasés, pour la détermination de la *tension de tenue aux chocs*, la valeur efficace de la tension assignée entre une phase et un point neutre artificiel (un raccordement imaginaire entre impédances d'égale valeur et chaque phase) est utilisée;

NOTE 1 Pour la plupart des systèmes, cela équivaut à diviser la tension entre phases par $\sqrt{3}$.

NOTE 2 La tension entre phase et un point neutre artificiel peut être admise dans la mesure où les systèmes sont bien équilibrés. En condition de premier défaut, la tension système passe temporairement à une tension entre phases, mais dans cette condition de premier défaut, il est accepté que la tension de tenue aux chocs soit réduite d'un pas selon le Tableau 7.

- dans les systèmes IT triphasés, pour la détermination de la *surtension temporaire*: la valeur efficace de la tension assignée entre les phases; ou
- dans un système IT monophasé: la valeur efficace de la tension assignée entre les conducteurs d'alimentation.

Lorsque la tension d'alimentation est continue redressée depuis le réseau en courant alternatif, 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 (TN, TT ou IT).

Pour un *PECS* équipé de ponts redresseurs connectés en série (12 impulsions, 18 impulsions, etc.), la *tension système* pour la détermination de la *tension de tenue aux chocs* est la valeur efficace la plus élevée de la tension alternative avant redressement au niveau du pont redresseur, en tenant compte du *système* de mise à la terre de l'alimentation (TN, TT ou IT).

Les tensions générées dans le *PECS* par les secondaires des transformateurs qui fournissent une isolation galvanique à partir du *réseau* sont également considérées comme des *tensions système* pour la détermination des *tensions de tenue aux chocs*.

4.4.7.1.7.2 *Alimentation non raccordée directement au réseau*

Pour un *PECS non alimenté par le réseau* en courant alternatif ou continu, la *tension système* est la valeur efficace de la tension d'alimentation entre phases.

4.4.7.1.8 *Isolation par pontage des composants*

L'*isolation principale*, l'*isolation supplémentaire* ou l'*isolation renforcée* par pontage des *composants* doit satisfaire aux exigences du niveau d'*isolation* associé au pontage. Voir 4.13 pour les exigences relatives aux *composants*.

4.4.7.2 *Isolation par rapport à l'environnement*

4.4.7.2.1 *Généralités*

L'*isolation principale*, l'*isolation supplémentaire* et l'*isolation renforcée* entre un circuit et son environnement en 4.4.7.2.3 et 4.4.7.2.4 doivent être conçues en retenant celle qui donne l'exigence la plus sévère pour:

- la *tension de tenue aux chocs*;
- la *surtension temporaire*; ou
- la *tension de fonctionnement*

du circuit.

Pour les *distances d'isolement* et les *isolations solides*, la *tension de tenue aux chocs*, la *surtension temporaire* ou la *tension de fonctionnement* (crête répétitive) est utilisée, comme cela est décrit du 4.4.7.2.3 au 4.4.7.2.7.

Pour les *lignes de fuite*, la valeur efficace de la *tension de fonctionnement* est utilisée, comme cela est décrit en 4.4.7.5.

NOTE 1 Des *tensions de fonctionnement* qui combinent des valeurs de crêtes répétitives, en courant alternatif et en courant continu sont par exemple observées sur le bus continu d'un convertisseur à source de tension indirecte ou sont des oscillations amorties d'un circuit écrêteur de thyristor ou encore des tensions internes d'une alimentation à découpage. Pour plus d'informations, voir Article A.5.

NOTE 2 La *tension de tenue aux chocs* et la *surtension temporaire* dépendent de la *tension système* du circuit, et la *tension de tenue aux chocs* dépend également de la *catégorie de surtension*, comme cela est décrit dans le Tableau 7.

4.4.7.2.2 *Surveillance des dispositifs de protection contre les surtensions (SPD)*

Si le fabricant du *PECS* fournit un *SPD* externe avec son produit, ce dispositif doit posséder un circuit de surveillance qui permet au *PECS* d'indiquer lorsque le dispositif est endommagé par une surtension. Si le *SPD* est interne au *PECS*, l'essai du 5.2.3.15 s'applique.

La surveillance d'un *SPD* externe et l'essai de surveillance du *SPD* interne décrit ci-dessus ne sont pas exigés sur les circuits de *SPD* qui ne font pas partie d'une réduction de la *catégorie de surtension* pour permettre une réduction des *distances d'isolement*.

La conformité est déterminée par *inspection visuelle* à 5.2.1 ou par essai selon 5.2.3.15, selon le cas.

4.4.7.2.3 Circuits connectés directement au réseau

L'*isolation* entre l'environnement et les circuits qui sont connectés directement au *réseau* doit être conçue en fonction de la *tension de tenue aux chocs*, de la *surtension temporaire* ou de la *tension de fonctionnement*, en retenant celle qui donne l'exigence la plus sévère.

Cette *isolation* est évaluée normalement pour résister aux tensions de choc de *catégorie de surtension* III, à une exception: la *catégorie de surtension* IV doit être utilisée quand le PECS est connecté à la source de l'*installation*. La *catégorie de surtension* II peut être utilisée pour les PECS enfichables.

Si des moyens sont utilisés pour réduire les tensions de choc de *catégorie de surtension* IV aux valeurs de catégorie III ou de catégorie III à la catégorie II, l'*isolation principale* et/ou l'*isolation supplémentaire* en aval du SPD peuvent être conçues pour ces valeurs réduites. Les exigences de *double isolation* et/ou d'*isolation renforcée* ne doivent pas être réduites à des valeurs inférieures à celles exigées pour l'*isolation principale* conçue pour résister aux tensions de choc sans application de ces dispositifs.

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 conformément au 4.4.7.2.2.

NOTE 1 La *tension de tenue aux chocs* déterminée à partir de la *tension système* peut être réduite par protection inhérente, par un *dispositif de protection contre les surtensions* interne au PECS ou dans le cadre de l'*installation*. L'IEC 61643-12 fournit des informations sur la sélection et l'utilisation de tels *dispositifs de protection contre les surtensions*.

NOTE 2 Les circuits qui sont connectés au *réseau* par des *impédances de protection*, selon 4.4.5.5, ne sont pas considérés comme directement connectés au *réseau*.

4.4.7.2.4 Circuits connectés directement à une alimentation non raccordée directement au réseau

L'*isolation* entre l'environnement et les circuits connectés directement à une *alimentation non raccordée directement au réseau* doit être conçue en fonction de:

- la *tension de tenue aux chocs* déterminée selon le Tableau 7 en utilisant la *tension système*;
- la *tension de fonctionnement*; ou
- la *surtension temporaire* si elle existe du fait de la nature de l'alimentation,

en retenant celle qui donne l'exigence la plus sévère.

Ces valeurs sont utilisées pour renseigner le Tableau 8 concernant la conception de la *distance d'isolement*.

La *surtension temporaire* sur une *alimentation non raccordée directement au réseau* doit être déterminée comme suit:

- en l'absence d'information détaillée sur la *surtension temporaire*, elle doit être conforme au Tableau 7; ou
- si la *surtension temporaire* est connue, cette valeur doit être utilisée.

Lors de la détermination des *surtensions temporaires* sur une *alimentation non raccordée directement au réseau*, il convient de tenir compte des situations suivantes:

- perte du neutre dans un système basse tension *non raccordé directement au réseau*;
- mise à la terre accidentelle d'un système IT basse tension *non raccordé directement au réseau*; et
- court-circuit dans l'*installation basse tension non raccordée directement au réseau*.

Pour plus d'informations, voir l'IEC 60364-4-44:2007, Article 442.

L'*isolation* entre l'environnement et les circuits connectés directement à une *isolation non raccordée directement au réseau* est évaluée normalement pour résister aux tensions de choc de *catégorie de surtension* II, à une exception: une *catégorie de surtension* supérieure doit être utilisée en l'absence de protection contre les surtensions et en cas de raccordement à des lignes extérieures de grande longueur. Pour les applications et les circuits présentant des tensions de choc de faible niveau connu et pour lesquelles il peut être démontré que les tensions de choc restent à un faible niveau même en *condition de premier défaut*, la *catégorie de surtension* I peut être utilisée. Cette exigence est considérée comme respectée si les *tensions de tenue aux chocs* prévues ne dépassent pas les valeurs données dans le Tableau 7 pour la *catégorie de surtension* I à la *tension système* appropriée.

NOTE 1 La *catégorie de surtension* pour les *alimentations non fournies par le réseau* est la même pour les équipements reliés en permanence dans les installations fixes et les matériels non reliés en permanence à l'installation fixe.

Si des moyens sont appliqués pour réduire les tensions de choc de *catégorie de surtension* III aux valeurs de catégorie II, ou de catégorie II à la catégorie I, l'*isolation principale* et/ou l'*isolation supplémentaire* en aval du SPD peuvent être conçues pour ces valeurs réduites. Les exigences de *double isolation* et/ou d'*isolation renforcée* ne doivent pas être réduites à des valeurs inférieures à celles exigées pour l'*isolation principale* conçue pour résister aux tensions de choc sans application de ces dispositifs.

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 conformément au 4.4.7.2.2.

NOTE 2 La *tension de tenue aux chocs* déterminée à partir de la *tension système* peut être réduite par protection inhérente, par un *dispositif de protection contre les surtensions* interne au PECS ou dans le cadre de l'installation. L'IEC 61643-12 fournit des informations sur la sélection et l'utilisation de tels *dispositifs de protection contre les surtensions*.

4.4.7.2.5 PECS connecté au réseau et à une *alimentation non raccordée directement au réseau*

Pour un PECS avec isolation galvanique entre le *réseau* et l'*alimentation non raccordée directement au réseau*, les caractéristiques assignées de la *tension de tenue aux chocs* des circuits connectés au *réseau* et à une *alimentation non raccordée directement au réseau* sont déterminées selon 4.4.7.2.3 et 4.4.7.2.4. Ensuite, l'effet de la réduction des *catégories de surtension* (OVC) sur l'isolation est évalué comme suit.

- a) L'amplitude des chocs induits par le *réseau* sur les circuits connectés à l'*alimentation non raccordée directement au réseau* est déterminée en réduisant d'un niveau la *catégorie de surtension* du *réseau*, et en déterminant la caractéristique assignée de la *tension de tenue aux chocs* qui en résulte à partir de la *tension système* du *réseau*;
- b) La caractéristique assignée à utiliser sur les circuits connectés à l'*alimentation non raccordée directement au réseau* est la valeur la plus élevée entre celle spécifiée en 4.4.7.2.4 et celle calculée en 4.4.7.2.5 a) ci-dessus.

- c) L'amplitude des chocs induits par l'*alimentation non raccordée directement au réseau* sur les circuits connectés au *réseau* est déterminée en réduisant d'un niveau la *catégorie de surtension* de l'*alimentation non raccordée directement au réseau*, et en déterminant la caractéristique assignée de la *tension de tenue aux chocs* qui en résulte à partir de la *tension système* de l'*alimentation non raccordée directement au réseau*.
- d) La caractéristique assignée à utiliser sur les circuits connectés au *réseau* est la valeur la plus élevée entre celle spécifiée en 4.4.7.2.3 et celle calculée en 4.4.7.2.5 c).

Pour un *PECS* qui n'assure pas d'isolation galvanique entre les circuits connectés au *réseau* et les circuits connectés à l'*alimentation non raccordée directement au réseau*, les caractéristiques assignées de la *tension de tenue aux chocs* des circuits connectés au *réseau* et à l'*alimentation non raccordée directement au réseau* sont déterminées selon 4.4.7.2.3 et 4.4.7.2.4. La valeur la plus élevée des deux caractéristiques assignées de la *tension de tenue aux chocs* est utilisée pour le circuit combiné complet. Pour les circuits connectés au circuit combiné sans isolation galvanique, la caractéristique assignée de la *tension de tenue aux chocs* du circuit combiné s'applique.

NOTE Voir Article I.5 pour des exemples.

4.4.7.2.6 Circuits de DVC As ou de DVC B connectés au réseau ou à une alimentation non raccordée directement au réseau

Lorsque les circuits de *DVC As* ou de *DVC B* sont alimentés à partir du *réseau* ou d'une *alimentation non raccordée directement au réseau* par un transformateur qui fournit une isolation galvanique à une fréquence supérieure ou égale à 10 kHz, l'*isolation* entre le circuit et l'environnement peut être déterminée en fonction de la *tension de fonctionnement* du circuit.

Dans ce cas, la capacité du transformateur à réduire les tensions de choc à des valeurs inférieures à la *tension de tenue aux chocs* associée à la *tension de fonctionnement* déterminée à partir du Tableau 7 doit être démontrée par essai conformément à 5.2.3.2, par simulation ou par calcul.

NOTE La capacité des transformateurs à fréquence élevée à réduire les *tensions de tenue aux chocs* provient de la très faible capacité de couplage dans l'isolation galvanique comparée à une capacité de mise à la masse type dans le circuit de *DVC As* ou de *DVC B*.

4.4.7.2.7 Isolation entre circuits

Pour la conception d'une *protection principale* et d'une *protection renforcée* entre circuits, l'*isolation* doit être conçue en fonction:

- du circuit qui donne l'exigence la plus sévère; ou
- de la *tension de fonctionnement* entre les circuits;

si cette dernière donne l'exigence la plus sévère.

4.4.7.3 Isolation fonctionnelle

L'*isolation fonctionnelle* doit satisfaire à l'une des exigences a) ou b) suivantes.

- a) Elle doit satisfaire aux exigences de *distance d'isolement* et de *ligne de fuite* applicables à l'*isolation fonctionnelle* selon 4.4.7.4 et 4.4.7.5.
- b) Elle doit satisfaire aux exigences d'espacements réduits du 4.4.7.7.

Quand des moyens sont appliqués pour réduire les surtensions transitoires dans le circuit d'OVC III à des valeurs d'OVC II, ou d'OVC II à des valeurs d'OVC I, l'*isolation fonctionnelle* peut être conçue pour les valeurs réduites.

Lorsque les caractéristiques du circuit peuvent être démontrées par des essais (voir 5.2.3.2) pour réduire les tensions de choc, l'*isolation fonctionnelle* peut être conçue pour la tension de choc la plus élevée qui se produit dans le circuit pendant les essais.

4.4.7.4 Distances d'isolement

4.4.7.4.1 Généralités

Pour les champs non homogènes, les *distances d'isolement* doivent être déterminées pour l'*isolation fonctionnelle*, l'*isolation principale* ou l'*isolation supplémentaire* directement à partir du Tableau 8.

Voir 4.4.7.4.4 pour les *distances d'isolement* réduites en raison de conditions de champs non homogènes.

Pour des recommandations, voir l'Annexe O et en particulier la Figure O.1.

Voir l'Annexe D pour des exemples d'évaluations des *distances d'isolement*.

Tableau 8 – Distances d'isolement pour l'isolation fonctionnelle, l'isolation principale ou l'isolation supplémentaire pour des champs non homogènes

Colonne 1	2	3	4	5	6	7
<i>Tension de tenue aux chocs</i> ^d (du Tableau 7)	<i>Surtension temporaire</i> ^{f g} (crête) (du Tableau 7)	<i>Tension de fonctionnement</i> ^f (crête répétitive) ^a	<i>Distances d'isolement</i> minimales dans l'air jusqu'à 2 000 m au-dessus du niveau de la mer			
V	V	V	mm			
			<i>Degré de pollution</i>			
			1	2	3	4
330	330	260	0,01	0,2 ^{b, c}	0,8 ^c	1,6 ^c
500	500	400	0,04			
800	710	560	0,10			
1 500	1 270	1 010	0,5	0,5	1,5	3,0
2 500	2 220	2 000	1,5	1,5		
4 000	3 430 ^e	3 090 ^e	3,0	3,0	3,0	
6 000	4 890 ^e	4 410 ^e	5,5	5,5	5,5	5,5
8 000	6 060 ^e	5 460 ^e	8,0	8,0	8,0	8,0
12 000	9 500 ^e	8 550 ^e	14	14	14	14
15 000	11 780 ^e	10 600 ^e	18	18	18	18

NOTE Pour la détermination de l'*isolation renforcée* et de la *double isolation*, voir 4.4.7.4.2.

a Cette tension est approximativement égale à 0,8 fois la tension exigée pour interrompre la distance d'isolement associée pour une *tension de tenue aux chocs* inférieure à 2 500 V, et égale à 0,9 fois la tension exigée pour interrompre la distance d'isolement associée pour une *tension de tenue aux chocs* supérieure ou égale à 2 500 V.

b Pour les cartes à circuit imprimé (CCI), les valeurs relatives au *degré de pollution* 1 s'appliquent à l'exception du fait que la valeur ne doit pas être inférieure à 0,04 mm.

c Les *distances d'isolement* minimales données pour les *degrés de pollution* 2, 3 et 4 sont fondées sur les caractéristiques de tenue réduites de la *ligne de fuite* associée dans des conditions d'humidité.

d L'interpolation des distances est admise pour les *alimentations non raccordées directement au réseau*, mais pas pour le *réseau*. Les *distances d'isolement* pour la *tension de tenue aux chocs* sont issues du Tableau F.2 de l'IEC 60664-1:2020.

e Les *distances d'isolement* pour la *surtension temporaire* et la *tension de fonctionnement* sont issues du Tableau F.8 de l'IEC 60664-1:2020.

f L'interpolation des distances est admise lorsque la *distance d'isolement* est déterminée à partir de la *surtension temporaire* et de la *tension de fonctionnement* pour les circuits connectés au *réseau* et à une *alimentation non raccordée directement au réseau*.

g La *surtension temporaire* est pertinente uniquement pour la détermination de l'isolation entre l'environnement et les circuits.

NOTE Si les *distances d'isolement* sont considérées avec des *tensions de fonctionnement* (crête répétitive) de 2,5 kV et plus, le dimensionnement selon les valeurs de claquage du Tableau 8 n'assure pas un fonctionnement sans effet couronne (décharges partielles), notamment pour les champs non homogènes. Afin d'assurer un fonctionnement sans effet couronne, il est possible d'utiliser des *distances d'isolement* plus importantes, comme cela est indiqué dans le Tableau F.9 de l'IEC 60664-1:2020, ou d'améliorer la distribution du champ.

La conformité doit être vérifiée selon 5.2.2.1.

4.4.7.4.2 Distances d'isolement pour l'isolation renforcée

Les *distances d'isolement* pour l'*isolation renforcée* doivent être dimensionnées pour supporter

- une *tension de tenue aux chocs* supérieure d'un palier, dans la colonne 1 du Tableau 8;
- 1,6 fois la *surtension temporaire* de crête; ou
- 1,6 fois la *tension de fonctionnement* de crête

par rapport à la valeur exigée pour l'*isolation principale* dans le Tableau 8.

Pour les valeurs non couvertes dans le Tableau 8, voir l'IEC 60664-1:2020, Tableau F.2 et Tableau F.7.

4.4.7.4.3 Distances d'isolement pour une utilisation au-dessus de 2 000 m et/ou au-dessus de 30 kHz

Les *distances d'isolement* utilisées pour l'*isolation fonctionnelle*, l'*isolation principale* ou l'*isolation supplémentaire* et l'*isolation renforcée* à des altitudes comprises entre 2 000 m et 20 000 m doivent être calculées en appliquant un facteur de correction conforme au Tableau A.2 de l'IEC 60664-1:2020, qui est reproduit dans le Tableau E.1.

Dans le cas d'une *tension de fonctionnement* de fréquence supérieure à 30 kHz, les *distances d'isolement* pour l'*isolation fonctionnelle*, l'*isolation principale* ou l'*isolation supplémentaire* et l'*isolation renforcée* du fait de la *tension de fonctionnement* doivent être augmentées conformément aux exigences de l'Annexe F. Les *distances d'isolement* du fait de la *tension de tenue aux chocs* et de la *surtension temporaire* sont toujours déterminées conformément selon 4.4.7.4.

4.4.7.4.4 Distances d'isolement pour des champs homogènes

Les dimensions du Tableau 8 correspondent aux exigences d'une distribution non homogène du champ électrique à travers la *distance d'isolement*, qui est la condition normale rencontrée en pratique.

Si une distribution homogène du champ électrique est connue, la *distance d'isolement* pour l'*isolation principale* ou l'*isolation supplémentaire* peut être réduite au minimum à celle indiquée par le Tableau F.2 (Cas B) de l'IEC 60664-1:2020. Dans ce cas l'essai de *tension de tenue aux chocs* du 5.2.3.2 doit être réalisé sur la *distance d'isolement* concernée.

Si les *tensions de fonctionnement* (crête répétitive) ou les *surtensions temporaires* selon le Tableau 8 sont utilisées pour le dimensionnement de la *distance d'isolement* et si ces *distances d'isolement* sont plus petites que les valeurs du Tableau 8, alors un essai de tension en courant alternatif ou en courant continu doit être réalisé.

Pendant l'essai de *tension de tenue aux chocs* et l'essai de tension alternative ou continue, les couches d'*isolation* qui ne satisfont pas au moins à l'*isolation principale* doivent être enlevées.

NOTE Pour démontrer l'homogénéité du champ entre une isolation et une *partie active*, il peut être nécessaire de fournir des échantillons fabriqués spécialement, par exemple avec une *isolation* recouverte d'une couche conductrice.

Les *distances d'isolement* pour l'*isolation renforcée* ne doivent pas être réduites pour les champs homogènes.

La conformité doit être vérifiée selon 5.2.2.1.

4.4.7.4.5 Distance d'isolement avec des enveloppes conductrices

La *distance d'isolement* entre n'importe quelle *partie active dangereuse* non isolée et les parois d'une *enveloppe* métallique doit être conforme au 4.4.7.4.

Pendant et après les essais de déformation, la *distance d'isolement* entre n'importe quelle *partie active dangereuse* et les parois d'une *enveloppe* métallique doit satisfaire aux exigences de *distance d'isolement* pour l'*isolation principale* spécifiées en 4.4.7.4.

NOTE La déformation de l'enveloppe est considérée comme une *condition de premier défaut*.

Si la *distance d'isolement* dans l'air de conception est au moins égale à 12,7 mm et si la *distance d'isolement* dans l'air exigée par le Tableau 8 ne dépasse pas 8 mm, les essais de déformation peuvent ne pas être effectués.

La conformité est vérifiée par *inspection visuelle* conformément à 5.2.1 et par l'essai décrit en 5.2.2.4.2.

4.4.7.5 Lignes de fuite

4.4.7.5.1 Groupes de matériaux isolants

Les matériaux isolants sont classés en quatre groupes qui correspondent à leur indice de résistance au cheminement (IRC) après essais selon l'Article 11 de l'IEC 60112:2020.

- 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 exigences de *lignes de fuite* pour des CCI exposées à des conditions d'environnement de *degré de pollution* 3 doivent être déterminées à partir du Tableau 9, *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 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. L'espacement des nervures doit être égal ou supérieur à la dimension *X* dans le Tableau D.1. Pour les *degrés de pollution* 2 et 3, la hauteur des nervures doit être au moins égale à 2 mm.

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* associée, déterminée en 4.4.7.4.

Pour des recommandations, voir l'Annexe O et en particulier la Figure O.2.

4.4.7.5.2 Détermination des lignes de fuite

Les *lignes de fuite* pour l'*isolation fonctionnelle*, l'*isolation principale* et l'*isolation supplémentaire* doivent être dimensionnées selon le Tableau 9.

Tableau 9 – Lignes de fuite

Colonne 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tension de fonctionnement (efficace en courant alternatif ou moyenne en courant continu) ^e	CCI ^a		Autres isolants								
	Degré de pollution		Degré de pollution								
	1	2	1	2				3			
	Tous les groupes de matériaux	Tous les groupes de matériaux sauf IIIb	Tous les groupes de matériaux	Groupe de matériaux isolants				Groupe de matériaux isolants			
				I	II	IIIa	IIIb	I	II	IIIa	IIIb
V	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
≤ 2	0,025	0,04	0,056	0,35	0,35	0,35	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87
5	0,025	0,04	0,065	0,37	0,37	0,37	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92
10	0,025	0,04	0,08	0,40	0,40	0,40	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
25	0,025	0,04	0,125	0,50	0,50	0,50	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
32	0,025	0,04	0,14	0,53	0,53	0,53	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
40	0,025	0,04	0,16	0,56	0,80	1,1	1,4	1,6	1,8	1,8	1,8
50	0,025	0,04	0,18	0,60	0,85	1,20	1,5	1,7	1,9	1,9	1,9
63	0,04	0,063	0,20	0,63	0,90	1,25	1,6	1,8	2,0	2,0	2,0
80	0,063	0,10	0,22	0,67	0,95	1,3	1,7	1,9	2,1	2,1	2,1
100	0,10	0,16	0,25	0,71	1,0	1,4	1,8	2,0	2,2	2,2	2,2
125	0,16	0,25	0,28	0,75	1,05	1,5	1,9	2,1	2,4	2,4	2,4
160	0,25	0,40	0,32	0,80	1,1	1,6	2,0	2,2	2,5	2,5	2,5
200	0,40	0,63	0,42	1,0	1,4	2,0	2,5	2,8	3,2	3,2	3,2
250	0,56	1,0	0,56	1,25	1,8	2,5	3,2	3,6	4,0	4,0	4,0
320	0,75	1,6	0,75	1,6	2,2	3,2	4,0	4,5	5,0	5,0	5,0
400	1,0	2,0	1,0	2,0	2,8	4,0	5,0	5,6	6,3	6,3	6,3
500	1,3	2,5	1,3	2,5	3,6	5,0	6,3	7,1	8,0	8,0	8,0
630	1,8	3,2	1,8	3,2	4,5	6,3	8,0	9,0	10,0	10,0	10,0
800	2,4	4,0	2,4	4,0	5,6	8,0	10,0	11	12,5	12,5	^b
1 000	3,2	5,0	3,2	5,0	7,1	10,0	12,5	14	16	16	
1 250	4,2	6,3	4,2	6,3	9	12,5	16	18	20	20	
1 600	^c	^c	5,6	8,0	11	16	20	22	25	25	
2 000			7,5	10,0	14	20	25	28	32	32	
2 500			10,0	12,5	18	25	32	36	40	40	
3 200			12,5	16	22	32	40	45	50	50	
4 000			16	20	28	40	50	56	63	63	
5 000			20	25	36	50	63	71	80	80	
6 300			25	32	45	63	80	90	100	100	
8 000			32	40	56	81	100	110	125	125	
10 000 ^d			40	50	71	100	125	140	160	160	

L'interpolation est admise.

^a Ces colonnes s'appliquent aussi à tous les *composants* ou parties des cartes à circuit imprimé et aux autres *lignes de fuite* qui ont un contrôle de tolérance comparable.

^b Les matériaux isolants du groupe IIIb ne sont généralement pas recommandés pour le *degré de pollution* 3 au-dessus de 630 V.

^c Au-dessus de 1 250 V, utiliser les valeurs appropriées des colonnes 4 à 11.

^d Pour des tensions supérieures, il convient de dimensionner les *lignes de fuite* selon le Tableau F.5 de l'IEC 60664-1:2020.

^e Pour plus d'informations, voir Article A.5.

Les *lignes de fuite* pour l'*isolation renforcée* doivent être égales au double des distances exigées pour l'*isolation principale*.

Pour les fréquences fondamentales supérieures à 30 kHz, des exigences supplémentaires s'appliquent en F.3 et dans le Tableau F.3.

La conformité des *lignes de fuite* doit être vérifiée selon 5.2.2.1 et selon l'Annexe F, le cas échéant.

Dans tous les cas, il n'est pas admis que la *ligne de fuite* associée soit plus courte que la *distance d'isolement* exigée.

4.4.7.6 Revêtement ou empottage

Un revêtement ou un empottage peut être utilisé assurer l'*isolation*, pour protéger une surface contre la pollution et pour autoriser une réduction des *lignes de fuite* et des *distances d'isolement* (voir 4.4.7.8.4.3 et 4.4.7.8.5).

NOTE 1 En général, le revêtement ou l'empottage est utilisé pour les *composants* et les sous-ensembles.

NOTE 2 Le revêtement en vue d'améliorer le *système d'isolation* est bien connu dans l'industrie sous le nom de revêtement conforme.

4.4.7.7 Espacements d'une carte de circuit imprimé pour une *isolation fonctionnelle*

Il est admis que les espacements soient inférieurs aux valeurs indiquées en 4.4.7.3 a). Dans ce cas, une analyse doit être effectuée conformément au 4.2.

NOTE Les espacements couvrent à la fois les *distances d'isolement* et les *lignes de fuite*.

Cet espacement réduit doit être court-circuité conformément au 5.2.4.7, lorsque l'analyse du 4.2 montre qu'un court-circuit entraînerait:

- 1) une surchauffe de tout matériau engendrant un risque d'incendie;
- 2) un endommagement thermique de l'*isolation principale*, de l'*isolation supplémentaire* ou de l'*isolation renforcée*, créant ainsi un risque de choc électrique.

Pour l'analyse, les aspects particuliers du matériau doivent être pris en compte.

Les espacements réduits pour l'*isolation fonctionnelle* sont admis uniquement:

- a) lorsque les matériaux satisfont à toutes les exigences suivantes:
 - le matériau a une classe d'inflammabilité de V-0 ou meilleure (voir l'IEC 60695-11-10:2013); et
 - le matériau possède un IRC minimal de 100;
- b) lorsque les *composants* satisfont à toutes les exigences suivantes:
 - environnement de *degré de pollution* 1 ou 2; et
 - conformité aux exigences du 4.6.2.2.

Dans ce cas, la spécification du fabricant du *composant* peut être utilisée.

4.4.7.8 Isolation solide

4.4.7.8.1 Généralités

Les matériaux utilisés comme *isolation solide* doivent être conçus pour résister aux contraintes qui se produisent. Ces contraintes d'ordre mécanique, électrique, thermique, climatique et chimique sont celles susceptibles de survenir en usage prévu. Les matériaux d'*isolation* doivent aussi résister au vieillissement pendant le cycle de vie prévu du *PECS*.

Les essais doivent être effectués sur des *composants* et des sous-ensembles utilisant une *isolation solide*, afin de vérifier que la phase de conception ou de fabrication n'a pas altéré les performances de l'*isolation*.

Pour les fréquences fondamentales de la *tension de fonctionnement* supérieures à 30 kHz, des exigences supplémentaires s'appliquent à l'Article F.4.

4.4.7.8.2 Exigences des matériaux

Les matériaux isolants doivent avoir un IRC de 100 ou plus.

Lorsque le fabricant du matériau isolant fournit des données qui permettent de démontrer la conformité aux exigences suivantes, aucun essai supplémentaire n'est exigé.

Le matériau isolant doit convenir à la température maximale qu'il atteint, déterminée par l'essai d'échauffement décrit en 5.2.3.10. Le fait que le matériau isolant apporte en plus de la solidité mécanique ou non et le fait que la partie peut être sujette ou non à des chocs pendant le fonctionnement doivent être pris en compte.

Les matériaux isolants en contact avec les *parties actives dangereuses* qui ne satisfont pas aux exigences applicables aux sources à puissance limitée en 4.6.5 doivent satisfaire à:

- l'essai au fil incandescent décrit en 5.2.5.3 à une température d'essai de 850 °C;
- l'essai au fil incandescent décrit en 5.2.5.3 à une température d'essai plus basse sans toutefois être inférieure à 550 °C, en fonction de la classification d'utilisation du PECS, selon le Tableau 1 ou la Figure A.1 de l'IEC 60695-2-11:2021; ou
- l'autre essai d'inflammation au fil chaud décrit en 5.2.5.4.

Les matériaux isolants thermoplastiques en contact avec les *parties actives dangereuses* ou constitutifs de l'*enveloppe* doivent satisfaire à l'essai à la bille et à l'essai de chaleur anormale conformément à l'IEC 60695-10-2:2014.

Lorsqu'un matériau isolant est utilisé dans un PECS qui comporte des contacts électriques et qu'il se trouve à une distance inférieure ou égale à 12,7 mm des contacts, il doit satisfaire à l'essai d'inflammation par formation d'arc sous courant électrique élevé décrit en 5.2.5.2.

Aucune évaluation supplémentaire n'est nécessaire lorsque des matériaux génériques sont utilisés selon le Tableau 10. La température mesurée pendant l'essai d'échauffement selon 5.2.3.10 ne doit pas dépasser la température maximale indiquée dans le Tableau 10.

Tableau 10 – Matériaux génériques utilisés pour le support direct des parties actives non isolées

Matériau générique	Épaisseur minimale mm	Température maximale °C
Toute composition moulée à froid	Aucune limite	Aucune limite
Céramique, porcelaine	Aucune limite	Aucune limite
Phtalate de diallyle	0,7	105
Epoxy	0,7	105
Mélamine	0,7	130
Mélamine-résine phénolique	0,7	130
Résine phénolique	0,7	150
Nylon non chargé	0,7	105
Polycarbonate non chargé	0,7	105
Urée formaldéhyde	0,7	100

La conformité est vérifiée par *inspection visuelle* à 5.2.1 et par l'essai décrit en 5.2.3.10 et en 5.2.5.3 ou en 5.2.5.2.

4.4.7.8.3 Matériau pelliculé ou ruban

4.4.7.8.3.1 Généralités

Ces exigences concernent l'utilisation des matériaux pelliculés ou des rubans dans des assemblages tels que les *composants* bobinés et les jeux de barres.

Le 4.4.7.8.3 s'applique également aux *composants* qui assurent l'*isolation*. Voir 4.13.1 pour l'application des normes de *composant*.

L'*isolation* inférieure à 0,7 mm constituée de matériaux pelliculés ou de ruban est autorisée, à condition qu'elle soit protégée contre les dégradations et qu'elle ne soit pas soumise à une contrainte mécanique en usage prévu.

Lorsque plusieurs couches d'*isolation* sont utilisées, aucune exigence n'impose que toutes les couches soient composées du même matériau.

Une couche de ruban d'*isolation* qui se chevauche à plus de 50 % doit être considérée comme constituant deux couches.

NOTE Une *isolation principale*, une *isolation supplémentaire* ou une *double isolation* peut être appliquée en tant que système préassemblé de matériaux minces.

4.4.7.8.3.2 Épaisseur et nombre de couches du matériau pelliculé

Le Tableau 11 spécifie le nombre exigé de couches en fonction de l'épaisseur du matériau pelliculé et du type d'*isolation*.

Tableau 11 – Exigences d'épaisseur du matériau pelliculé à travers l'*isolation*

Type d' <i>isolation</i>	Épaisseur de chaque couche de matériau		Exigences
	< 0,2 mm	≥ 0,2 mm	
<i>Isolation principale</i> ou <i>isolation supplémentaire</i>	Au moins 1 couche	Au moins 1 couche	4.4.7.8.1, 4.4.7.10.2
<i>Double isolation</i>	--	Au moins 2 couches	Chaque couche: 4.4.7.8.1, 4.4.7.10.2 et toutes les couches ensemble 4.4.7.10.3
	Au moins 3 couches	--	Chaque couche: 4.4.7.8.1, 4.4.7.10.2 et 2 couches quelconques 4.4.7.10.3
<i>Isolation renforcée</i>	Au moins 3 couches de matériau non séparable qui ne peuvent pas être soumises à l'essai séparément	Au moins 1 couche, épaisseur minimale de 0,4 mm	4.4.7.8.1, 4.4.7.10.3
NOTE Chaque type d' <i>isolation</i> peut être choisi à partir des deux colonnes selon l'épaisseur de chaque couche. Par exemple, pour l' <i>isolation principale</i> , la colonne < 0,2 mm est utilisée, et pour l' <i>isolation renforcée</i> , la colonne ≥ 0,2 mm est utilisée, et inversement.			

La conformité doit être vérifiée par les essais décrits du 5.2.3.1 au 5.2.3.5 et en 5.2.3.13, le cas échéant.

Lorsqu'un *composant* ou un sous-ensemble utilise des matériaux isolants pelliculés, il est admis de réaliser les essais sur le *composant* plutôt que sur le matériau.

4.4.7.8.4 Cartes à circuit imprimé (CCI)

4.4.7.8.4.1 Généralités

Le matériau des cartes à circuit imprimé doit avoir une classe d'inflammabilité de V-2 ou meilleure et doit être conforme au groupe IIIb de matériaux isolants (ou meilleur) selon 4.4.7.5.1.

Les exigences du 4.4.7.8.4 ne s'appliquent pas aux cartes à circuit imprimé qui ne contiennent que des sources à puissance limitée selon 4.6.5.

La CCI doit satisfaire aux exigences appropriées du 4.4.7.10.1 et:

- du 4.4.7.10.2 pour l'*isolation principale* ou l'*isolation supplémentaire*;
- du 4.4.7.10.3 pour la *double isolation* ou l'*isolation renforcée*; et
- 4.4.7.7 pour l'*isolation fonctionnelle*.

4.4.7.8.4.2 Couches internes des cartes à circuit imprimé multicouches (voir Figure D.14)

L'*isolation* (préimprégnée) entre les couches conductrices des CCI multicouches et des CCI à cœur métallique est une *isolation solide* conformément à l'IEC 60664-1:2020 et doit satisfaire aux exigences applicables du 4.4.7.8.1 et du 4.4.7.8.4.1.

NOTE 1 Pour plus d'informations, voir l'IEC 60664-3:2016, Article 1.

Les exigences spécifiées en 4.4.7.8.3 pour les matériaux pelliculés ou les rubans ne s'appliquent pas, mais une épaisseur globale minimale de 0,4 mm s'applique à la *double isolation* et à l'*isolation renforcée* de la CCI finale.

L'*isolation* entre les pistes adjacentes d'une même couche conductrice doit être traitée comme:

- a) une *ligne de fuite* pour le *degré de pollution* 1 et une *distance d'isolement* dans l'air selon le Tableau 8 et le Tableau 9 (voir Figure D.14); ou
- b) une *isolation solide*, auquel cas
 - elle doit satisfaire aux exigences applicables du 4.4.7.8.4.1;
 - elle doit satisfaire à la distance minimale indiquée dans le Tableau 1 de l'IEC 60664-3:2016 pour l'*isolation principale*, l'*isolation supplémentaire* et l'*isolation renforcée*;
 - les exigences de *distance d'isolement* et de *ligne de fuite* selon le Tableau 8 et le Tableau 9 ne s'appliquent pas;
 - l'échantillon de CCI doit être préconditionné selon 5.2.3.16 puis soumis à l'*essai de type* exigé selon 4.4.7.8.4.1; et
 - aucun *essai individuel de série* n'est exigé pour la CCI.

NOTE 2 Pour le matériau FR4, la résistance à la tension par épaisseur peut être estimée à 30 kV/mm.

NOTE 3 Le Tableau 1 de l'IEC 60664-3:2016 est reproduit dans le Tableau O.1.

4.4.7.8.4.3 Utilisation d'un matériau de revêtement

Un matériau de revêtement utilisé pour fournir une *isolation fonctionnelle*, une *isolation principale*, une *isolation supplémentaire* et une *isolation renforcée* doit satisfaire aux exigences spécifiées ci-dessous.

Une protection de type 1 (définie dans l'IEC 60664-3:2016) améliore le microenvironnement des parties protégées. La *distance d'isolement* et la *ligne de fuite* du Tableau 8 et du Tableau 9 pour un *degré de pollution* 1 s'appliquent sous cette protection. Entre deux parties conductrices, au moins l'une des deux parties conductrices ainsi que tout l'espacement entre ces parties doivent être couverts par la protection.

La protection de type 2 est considérée comme similaire à une *isolation solide*. Avec cette protection, les exigences d'une *isolation solide* spécifiées en 4.4.7.8 sont applicables, y compris le matériau de revêtement proprement dit, et les espacements ne doivent pas être inférieurs à ceux spécifiés dans le Tableau 1 de l'IEC 60664-3:2016, qui est reproduit en tant que Tableau O.1. Les exigences de *distance d'isolement* et de *ligne de fuite* dans le Tableau 8 et le Tableau 9 ne s'appliquent pas. Entre deux parties conductrices, ces deux parties ainsi que l'espacement entre elles doivent être couverts par la protection afin qu'il n'existe aucun espace libre entre le matériau de protection, les parties conductrices et les cartes imprimées.

NOTE Les espacements couvrent à la fois les *distances d'isolement* et les *lignes de fuite*.

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 le cycle de vie prévu du PECS.

Un *essai de type* pour une protection de type 1 et de type 2 sur des cartes à circuit imprimé représentatives doit être effectué selon l'Article 5 de l'IEC 60664-3:2016. Le nombre d'échantillons est défini dans l'IEC 60664-3:2016. Un conditionnement préalable doit être effectué avant l'*essai de type* selon 5.2.3.16.

Aucun *essai individuel de série* n'est exigé.

4.4.7.8.5 Matériaux de remplissage

Un matériau de remplissage peut être utilisé comme *isolation solide* ou comme revêtement de protection contre la pollution. S'il est utilisé comme *isolation solide* pour la *protection principale*, la *protection en cas de défaut* et la *protection renforcée*, il doit satisfaire aux exigences du 4.4.7.8.1 et du 4.4.7.10. S'il est utilisé comme protection contre la pollution, les exigences de la protection de type 1 en 4.4.7.8.4.3 s'appliquent.

4.4.7.9 Raccordement des parties de l'*isolation solide* (joints scellés)

En présence d'un joint scellé entre deux parties isolantes, les chemins de *distance d'isolement* et de *ligne de fuite* sont déterminés comme suit.

- La protection de type 1 ou de type 2 décrite en 4.4.7.8.4.3 s'applique.
- Un joint scellé qui n'est pas déterminé comme assurant une protection de type 1 ou de type 2, n'est ni considéré comme une *isolation solide* ni ne permet de réduire le *degré de pollution*. Les *distances d'isolement* et les *lignes de fuite* du 4.4.7.4 et du 4.4.7.5 s'appliquent pour le *degré de pollution* de l'environnement autour du joint.

Pour le conditionnement préalable et la conformité, voir 5.2.5.7.

Pour un exemple, voir Figure D.9.

4.4.7.10 Exigences sur la capacité en tenue électrique

4.4.7.10.1 Généralités

Lorsque la vérification de l'*isolation* est impossible par *inspection visuelle* selon 5.2.2.1, l'essai selon 4.4.7.10.2 ou 4.4.7.10.3 s'applique entre les circuits à l'étude et pour l'*isolation solide* sur les *composants* et les sous-ensembles.

4.4.7.10.2 Isolation principale ou isolation supplémentaire

L'*isolation principale* ou l'*isolation supplémentaire* doit être soumise à l'essai comme suit:

- essai en *tension de tenue aux chocs* selon 5.2.3.2; et
- essai en tension alternative ou continue selon 5.2.3.4.

4.4.7.10.3 Double isolation ou isolation renforcée

La *double isolation* ou l'*isolation renforcée* doit être soumise à l'essai comme suit:

- essai en *tension de tenue aux chocs* selon 5.2.3.2; et
- essai en tension alternative ou continue selon 5.2.3.4.

Pour l'*isolation solide*, l'essai de décharge partielle selon 5.2.3.5 doit être réalisé en complément des essais ci-dessus, si la *tension de fonctionnement* (crête répétitive) appliquée à l'*isolation* est supérieure à 750 V et si la contrainte de tension sur l'*isolation* est supérieure à 1 kV/mm.

La contrainte de tension est la *tension de fonctionnement* (crête répétitive) divisée par la distance entre les deux parties de potentiels différents. Voir Figure D.14.

L'essai de décharge partielle doit être effectué comme *essai de type* sur tous les *composants*, sous-ensembles et cartes à circuit imprimé. De plus, un *essai sur prélèvement* doit être effectué si l'*isolation* est constituée d'une couche unique de matériau.

La *double isolation* doit être conçue de façon telle qu'une défaillance de l'*isolation principale* ou de l'*isolation supplémentaire* n'ait pas pour conséquence une réduction des capacités d'*isolation* de la partie restante de l'*isolation*.

4.4.8 Compatibilité avec les dispositifs de protection à courant différentiel résiduel (DDR)

Les dispositifs DDR sont utilisés pour fournir une protection contre les défauts dans certaines *installations* domestiques et industrielles, en plus de la *protection principale* et de la *protection en cas de défaut* fournies par le PECS.

NOTE 1 Les disjoncteurs à protection incorporée par courant différentiel résiduel (DPR) selon l'IEC 60947-2:2016 et l'IEC 60947-2:2016/AMD1:2019, Annexe B, et les appareils modulaires à courant différentiel résiduel (MRCD), selon l'IEC 60947-2:2016 et l'IEC 60947-2:2016/AMD1:2019, Annexe M, sont équivalents aux DDR.

NOTE 2 L'IEC 62955:2018 décrit également les dispositifs destinés à assurer que la fonctionnalité correcte des DDR de type A ou F n'est pas altérée par des courants continus résiduels supérieurs à 6 mA.

Un défaut d'*isolation* ou un contact direct avec certains types de circuits de PECS peut provoquer des courants à composante continue dans le *conducteur de mise à la terre de protection* qui, par conséquent, réduisent la capacité d'un DDR de type A, AC ou F (voir l'IEC 60755:2017) à fournir cette protection pour un autre matériel de l'*installation*.

Afin d'assurer le bon fonctionnement d'un DDR fourni par l'*installation*, le PECS doit satisfaire à l'une des conditions a) ou b) suivantes.

- a) Un *PECS* monophasé conçu comme un *équipement enfichable de type A* doit être conçu de sorte que, en conditions normales de fonctionnement et en *conditions de premier défaut*, tout courant à composante continue superposée et lissée qui en résulte dans le *conducteur de mise à la terre de protection* ne dépasse pas les exigences de tenue en courant continu spécifiées dans l'IEC 60755:2017 de 6 mA pour le DDR de type A ou de 10 mA pour le type F.
- b) Pour un *PECS* conçu comme un *équipement enfichable de type B* ou destiné à être *relié en permanence*, le courant continu dans le *conducteur de mise à la terre de protection* n'est pas limité si les informations et les exigences de marquage du 6.3.9.5 sont respectées.

En cas de courants dans le *conducteur de mise à la terre de protection* dont la composante continue superposée et lissée dépasse les valeurs ci-dessus, des dispositifs de protection appropriés doivent être choisis et indiqués dans la documentation, par exemple DDR de type B ou de type F.

Lors de la conception et de la réalisation d'*installations* électriques, il convient de faire attention aux DDR de type B. Tous les DDR en amont d'un DDR de type B, jusqu'au transformateur d'alimentation, doivent être de type B.

La compatibilité des DDR fournis par l'*installation* doit être vérifiée par simulation ou calcul du courant dans le *conducteur de mise à la terre de protection* dans des conditions normales et des *conditions de premier défaut* conformément aux lignes directrices spécifiées à l'Annexe H.

Voir 6.3.9.5 pour les informations et les exigences de marquage.

4.4.9 Décharge de condensateurs

Pour la protection contre le danger de choc (voir l'IEC 61140:2016, 8.3), tous les condensateurs à l'intérieur d'un *PECS* doivent être déchargés à une tension inférieure à la *DVC As*, ou à un état de charge résiduelle inférieure à 0,5 mJ, suivant la coupure de l'alimentation et le débranchement du *PECS*, et doivent satisfaire aux exigences indiquées en a) ou b), selon le cas, et en c).

- a) Pour un *équipement enfichable de type A* et un *équipement enfichable de type B*, lorsqu'ils sont débranchés, le temps de décharge mesuré sur les broches *accessibles* de la fiche (voir Figure 12, repère 7) ne doit pas dépasser 1 s.
- b) Pour un *équipement relié en permanence*, le temps de décharge mesuré sur les *accès d'entrée* et les *accès de sortie* ne doit pas dépasser 5 s.
- c) Pour tous les *PECS*, lorsque le temps de décharge dépasse 5 s pour des raisons fonctionnelles ou autres, les *parties actives dangereuses* doivent être protégées comme cela est indiqué en 4.4.3.3, et les exigences relatives aux informations et au marquage du 6.5.2 s'appliquent.

La conformité est vérifiée par l'essai décrit en 5.2.3.8.

NOTE Le niveau de 0,5 mJ correspond au seuil de douleur selon l'IEC 61140:2016.

4.5 Protection contre les dangers dus à l'énergie électrique

4.5.1 Zones d'accès général

4.5.1.1 Généralités

Les *PECS* doivent être conçus de manière à ne présenter aucun risque de danger dû à l'énergie électrique pour les *personnes ordinaires* dans les *zones d'accès général* et pour les *personnes qualifiées* dans les *zones d'accès pour l'entretien* à partir des parties électriques *accessibles*, en satisfaisant à l'exigence du 4.2.

Il existe un risque de blessure qui résulte d'un danger dû à l'énergie électrique s'il est probable qu'au moins deux ou plusieurs parties nues (dont l'une peut être mise à la terre), entre lesquelles existe un niveau d'énergie dangereux, soient court-circuitées par un objet métallique.

La probabilité de court-circuiter les parties à l'étude est déterminée au moyen du doigt d'essai de la Figure M.2, dans toute position. S'il est possible de court-circuiter ces parties avec ce doigt d'essai, un niveau d'énergie dangereux ne doit pas exister.

Des barrières, protecteurs et dispositifs analogues destinés à empêcher tout contact accidentel peuvent être fournis comme une alternative afin de limiter l'énergie électrique.

La conformité en matière de prévention des contacts accidentels est vérifiée par *inspection visuelle* à 5.2.1 ou par l'essai décrit en 5.2.2.2.

4.5.1.2 Détermination du niveau d'énergie dangereux

L'existence d'un niveau d'énergie dangereux est déterminée si la tension est supérieure ou égale à 2 V et

- la puissance disponible dépasse les limites du 4.6.5; ou
- l'énergie dépasse 20 J.

La conformité doit être vérifiée par l'essai décrit en 5.2.3.8 ou par calcul comme suit.

L'énergie emmagasinée dans un condensateur est calculée à l'aide de la formule suivante:

$$E = 0,5 C \times U^2$$

où:

E est l'énergie, en joules (J);

C est la capacité, en farads (F);

U est la tension mesurée aux bornes du condensateur, en volts (V).

4.5.2 Zones d'accès pour l'entretien

Les condensateurs situés derrière des panneaux qui peuvent être retirés pour des opérations d'entretien, d'installation ou de déconnexion ne doivent présenter aucun risque de danger dû à l'énergie électrique emmagasinée dans les condensateurs après déconnexion du PECS.

Les condensateurs à l'intérieur d'un PECS doivent être déchargés à un niveau d'énergie inférieur à 20 J, comme cela est indiqué en 4.5.1.2, dans les 5 s suivant la coupure de l'alimentation du PECS. Si cette exigence ne peut être respectée pour des raisons fonctionnelles ou d'autres raisons, les informations et les exigences de marquage du 6.5.2 s'appliquent.

La conformité est vérifiée par *inspection visuelle* à 5.2.1 du PECS et des schémas des circuits correspondants, en tenant compte de la possibilité de déconnexion de l'alimentation avec l'interrupteur "MARCHE"/"ARRÊT" dans chacune des positions et de non-fonctionnement des dispositifs ou *composants* de consommation d'énergie périodique dans le PECS. Si le temps de décharge des condensateurs ne peut être calculé avec précision, le temps de décharge doit être mesuré.

4.6 Protection contre les dangers d'incendie et thermiques

4.6.1 Circuits qui représentent un danger d'incendie

Les types de circuits suivants sont considérés comme représentant un danger d'incendie:

- les circuits connectés directement au *réseau*;
- les circuits non connectés directement au *réseau*, mais qui dépassent les limites des sources à puissance limitée indiquées en 4.6.5; et
- les *composants* qui présentent des parties non enfermées sur lesquelles se forment des arcs.

4.6.2 Composants qui représentent un danger d'incendie

4.6.2.1 Généralités

Le risque d'inflammation dû à des températures élevées doit être réduit le plus possible par le bon choix et la bonne utilisation des *composants* et par une fabrication adéquate.

Une vue d'ensemble des classes d'inflammabilité utilisées dans le présent document et de leurs normes de classification est présentée dans le Tableau 12.

Tableau 12 – Classe d'inflammabilité et normes de classification

Classe d'inflammabilité/indice de propagation de la flamme	Classé dans la norme
5VA	IEC 60695-11-20:2015
5VB	IEC 60695-11-20:2015
V-0	IEC 60695-11-10:2013
V-1	IEC 60695-11-10:2013
V-2	IEC 60695-11-10:2013
HB	IEC 60695-11-10:2013
HF-1	ISO 9772:2020
HF-2	ISO 9772:2020
VTM-0	ISO 9773:1998/AMD1:2003
VTM-1	ISO 9773:1998/AMD1:2003
VTM-2	ISO 9773:1998/AMD1:2003
Indice de propagation de la flamme	ASTM E162-16
Indice de propagation de la flamme	ANSI/ASTM E84-19b
VW-1	UL/CSA C22.2 n° 2556
FT-1	CSA C22.2 N° 0.3
NOTE 1 Lors de l'application des exigences du présent document, la classe d'inflammabilité 5VA est jugée meilleure que la classe 5VB, la classe 5VB meilleure que la classe V-0, la classe V-0 meilleure que la classe V-1, la classe V-1 meilleure que la classe V-2, la classe V-2 meilleure que la classe HB. NOTE 2 De même, la classe d'inflammabilité VTM-0 est jugée meilleure que la classe VTM-1 et la classe VTM-1 meilleure que la classe VTM-2. NOTE 3 De même, la classe d'inflammabilité HF-1 est jugée meilleure que la classe HF-2.	

Les *composants* électriques doivent être utilisés de façon telle que leur température maximale de fonctionnement en conditions normales de fonctionnement ou en *conditions de premier défaut* soit inférieure à celle nécessaire à l'inflammation des matériaux environnants avec

lesquels il est probable qu'ils entrent en contact. Dans des conditions normales de fonctionnement, les limites du Tableau 14 ne doivent pas être dépassées pour les *composants* ou leurs matériaux environnants.

Lorsqu'il n'est pas pratique de protéger les *composants* contre la surchauffe en *conditions de premier défaut*, tous les matériaux en contact avec de tels *composants* doivent être de classe d'inflammabilité V-1 ou meilleure.

La conformité au 4.6.2 doit être confirmée par *inspection visuelle* à 5.2.1 des *composants* et des fiches techniques des matériaux et, si nécessaire, par essai.

4.6.2.2 Composants dans un circuit qui représente un danger d'incendie

Dans les *enveloppes contre le feu*, les matériaux des *composants* et des autres parties et tous les matériaux en contact avec ces parties doivent satisfaire à la classe d'inflammabilité V-2, HF-2 ou VTM-2, ou meilleure.

Lorsque le fabricant des *composants* fournit des données qui permettent de démontrer la conformité aux exigences ci-dessus, aucun essai supplémentaire n'est exigé.

L'exigence ci-dessus ne s'applique à aucun des cas suivants:

- *composants* électriques qui ne présentent pas de danger d'incendie dans des *conditions anormales de fonctionnement*, lorsqu'ils sont soumis à l'essai selon 5.2.4.6;
- matériaux et *composants* situés à l'intérieur d'une *enveloppe* de volume inférieur ou égal à 0,06 m³, réalisée entièrement en métal et sans ouvertures de ventilation, ou à l'intérieur d'une unité hermétique qui contient un gaz inerte;
- *composants* électroniques, comme les circuits intégrés, les optocoupleurs, les condensateurs et autres petites parties, qui sont montés sur un matériau de classe d'inflammabilité V-1 ou VTM-1, ou meilleure;
- fils, câbles et connecteurs
 - isolés par du PVC, TFE, PTFE, FEP, polychloroprène ou polyimide;
 - classés VW-1 (UL/CSA C22.2 N° 2556) ou FT-1 (CSA C22.2 N° 0.3); ou
 - qui satisfont aux exigences des méthodes d'essai de l'IEC 60332-1-2, l'IEC 60332-1-3, l'IEC 60332-2-2;
- parties ci-après, à condition qu'elles soient séparées par au moins 13 mm d'air ou par une barrière solide en matériau de classe d'inflammabilité V-1 ou meilleure des parties électriques (autres que les fils et câbles isolés) qui, dans des *conditions de premier défaut*, sont susceptibles d'engendrer une température qui pourrait provoquer une inflammation:
 - autres petites parties qui ne constituent qu'un apport négligeable de combustible dans un incendie, y compris les étiquettes, les pieds de montage, les couvercles de serrure, les boutons et les organes analogues; ou
 - les canalisations pour les *systèmes* d'air ou de tout fluide, les réservoirs pour les poudres ou les liquides et les parties en plastique cellulaire, à condition qu'ils soient en matériau de classe d'inflammabilité HB ou meilleure.

4.6.2.3 Composants dans un circuit qui ne représente pas un danger d'incendie

Pour les *composants* dans un circuit qui ne représente pas un danger d'incendie, les spécifications du 4.6.2 ne s'appliquent pas.

4.6.3 Enveloppes contre le feu

4.6.3.1 Généralités

Les *enveloppes contre le feu* sont utilisées pour réduire l'extension du feu vers l'environnement, indépendamment de leur emplacement d'installation.

Une *enveloppe contre le feu* doit être fournie pour tous les *PECS* à moins:

- qu'il s'agisse d'un *PECS de type ouvert* et que la documentation exige des moyens pour contrer l'extension du feu selon 6.3.6.1, ou
- que le *PECS* soit destiné à n'être utilisé que dans des zones qui ne comportent pas de matériaux combustibles et soit marqué selon 6.3.9.7.

4.6.3.2 Inflammabilité des matériaux de l'enveloppe

Les matériaux utilisés pour les *enveloppes contre le feu* du *PECS* doivent satisfaire aux exigences d'essai d'inflammabilité du 5.2.5.5, à l'exception des parties de l'*enveloppe* qui ne renferment que des *composants* qui ne représentent pas un danger d'incendie.

Les matériaux sont considérés comme conformes sans essai selon 5.2.5.5 si, pour l'épaisseur minimale utilisée, ils sont de classe d'inflammabilité 5VB ou meilleure.

Les matériaux destinés aux *PECS* conçus comme des *matériels déplaçables* sont conformes sans essai si, pour l'épaisseur minimale utilisée, ils sont de classe d'inflammabilité V-1 ou meilleure.

Les métaux, les matières céramiques et le verre trempé résistant à la chaleur, armé ou feuilleté, sont considérés comme conformes sans essai selon 5.2.5.5.

Il n'est pas exigé de soumettre les matériaux destinés aux *composants* qui bouchent une ouverture dans une *enveloppe contre le feu* à des essais selon 5.2.5.5, à condition que ces matériaux satisfassent à au moins l'une des conditions suivantes:

- matériau de classe V-1 et de dimension non supérieure à 100 mm; ou
- matériau de classe V-2 et
 - de dimension non supérieure à 25 mm;
 - de dimension non supérieure à 100 mm et situés à au moins 100 mm de toute partie qui constitue une source de danger d'incendie;
- matériau de classe V-2 avec une barrière ou un ou plusieurs dispositifs qui forment une barrière en matériau de classe V-0 entre la partie et une source de danger d'incendie; ou
- conforme à une norme de *composant* correspondante de l'IEC, qui comprend les exigences d'inflammabilité pour les *composants* destinés à faire partie, ou à remplir les ouvertures, d'une *enveloppe contre le feu*.

NOTE Ces *composants* sont, par exemple, des porte-fusibles, des interrupteurs, des voyants lumineux, des connecteurs et des socles de connecteur.

Les matériaux polymères utilisés comme *enveloppe contre le feu* et qui ont une surface supérieure à 1 m² ou une dimension unique supérieure à 2 m doivent avoir un indice de propagation maximale de la flamme de 100 ou meilleur.

Le fabricant peut fournir des informations en provenance du fabricant du matériau de l'*enveloppe contre le feu* pour prouver la conformité aux exigences ci-dessus. Dans ce cas, aucun essai supplémentaire n'est exigé.

La conformité doit être vérifiée par *inspection visuelle* à 5.2.1 et, si nécessaire, par essai.

4.6.3.3 Ouvertures dans les *enveloppes contre le feu*

4.6.3.3.1 Généralités

Pour les *PECS* prévus pour être utilisés ou installés avec plusieurs orientations comme cela est spécifié dans la documentation, les exigences du 4.6.3.3.2 au 4.6.3.3.4 s'appliquent pour chacune des orientations.

Ces exigences complètent les exigences concernant les ouvertures spécifiées dans le présent document.

NOTE Par exemple, les sections relatives à la *protection principale* avec des *parties actives* (4.4.3.2) ou des parties mobiles dangereuses (4.7.3) complètent les exigences spécifiées en 4.6.3.3.

4.6.3.3.2 Ouvertures sur le dessus et la paroi latérale des *enveloppes contre le feu*

Les ouvertures dans les surfaces supérieures des *enveloppes contre le feu* doivent être conçues pour empêcher l'entrée dans l'*enveloppe* de tout objet extérieur qui tombe verticalement ou à un angle de 5° par rapport à la verticale, dans une zone susceptible d'engendrer un danger d'incendie.

Pour les *PECS* conçus comme des *matériels déplaçables* sans dessus ni fond définis, cette exigence s'applique à toutes les parois latérales, à moins que les surfaces de dessus et de fond puissent être convenablement indiquées dans la documentation.

La conformité doit être vérifiée conformément au 5.2.2.2, Essai 4.

Pour le marquage, voir 6.3.9.7.

Les ouvertures dans les surfaces supérieures des *enveloppes contre le feu* non situées au-dessus ou à un angle de 5° de la verticale d'un *composant* qui représente un danger d'incendie tel que défini en 4.6.2 ne sont pas soumises à l'essai du 5.2.2.2 et peuvent être de toute construction décrite en 4.4.3.3.

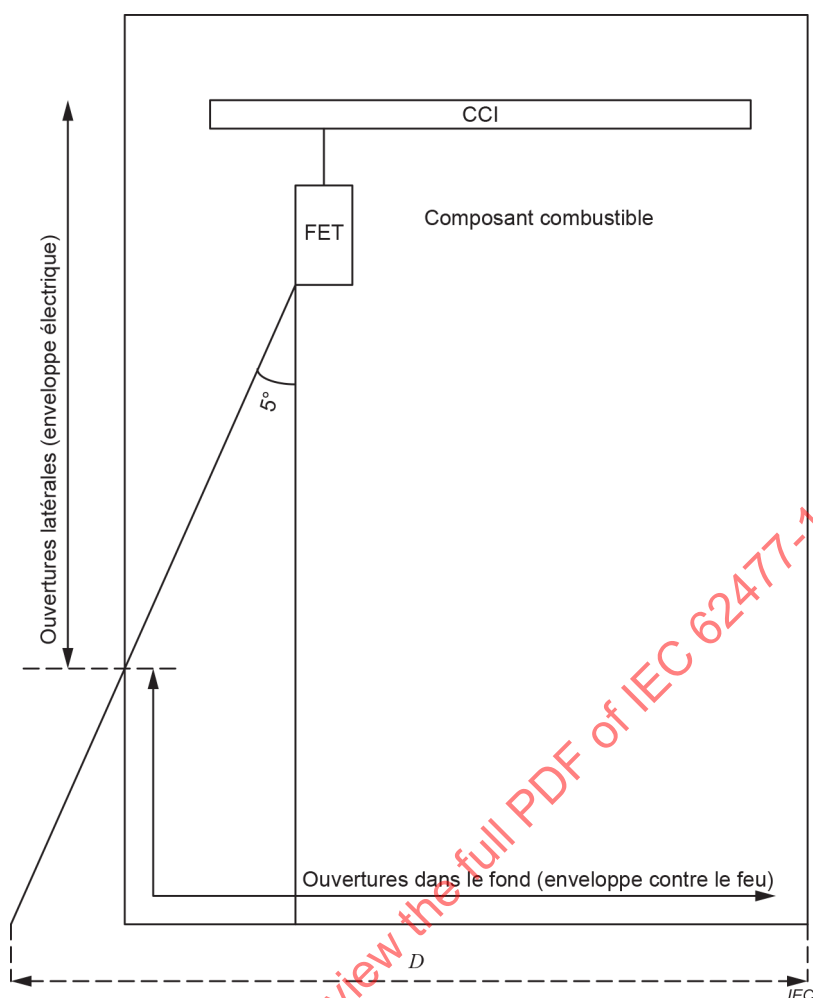
Lorsqu'une partie de la paroi latérale d'une *enveloppe contre le feu* tombe dans la zone délimitée par l'angle de 5° de la Figure 8, les limitations de 4.6.3.3.3 sur les dimensions des ouvertures dans le fond des *enveloppes contre le feu* s'appliquent également à cette partie de la paroi latérale.

La conformité doit être vérifiée par *inspection visuelle* à 5.2.1.

4.6.3.3.3 Ouvertures dans le fond d'une *enveloppe contre le feu*

Le fond d'une *enveloppe contre le feu* ou les barrières individuelles doivent assurer la protection contre l'émission de flamme ou de métal fondu sous tous les *composants* internes, y compris les *composants* ou les ensembles partiellement enfermés, qui représentent un danger d'incendie, comme cela est défini en 4.6.2.

L'emplacement et la dimension du fond ou de la barrière doivent couvrir la surface *D* de la Figure 8 et doivent être soit horizontaux soit équipés de lèvres ou autres façonnages pour assurer une protection équivalente. La surface ne doit pas comporter d'ouvertures, sauf pour la surface protégée par une chicane, un écran ou un moyen analogue de façon qu'il soit peu probable que du métal en fusion et des matériaux brûlants tombent à l'extérieur de l'*enveloppe contre le feu*.



La Figure 8 représente un exemple de vue latérale de coupe d'un produit qui comprend une CCI, ses *composants* faisant face au fond de l'*enveloppe*. Si la CCI comporte des *composants* dans les circuits primaires (par exemple, transistors à effet de champ), elle est considérée comme une source d'inflammation.

Le fond de l'*enveloppe* est considéré comme une *enveloppe contre le feu*, ses ouvertures doivent donc être restrictives; voir par exemple Tableau 13.

Outre le fait d'assurer une protection contre les chocs électriques, les ouvertures latérales (*enveloppe électrique*) situées sous la projection de 5° de la source d'inflammation assurent une protection contre la propagation du feu.

Figure 8 – Ouvertures dans le fond d'une *enveloppe contre le feu* sous un *composant* qui représente un danger d'incendie non enfermé ou partiellement enfermé

Les constructions suivantes sont considérées comme satisfaisant aux exigences sans essai:

- produits prévus pour être montés sur une surface non combustible telle que le béton. Pour le marquage, voir 6.3.5;
- aucune ouverture dans le fond d'une *enveloppe contre le feu*;
- ouvertures de toutes dimensions dans le fond sous une barrière interne, un écran interne ou un autre dispositif qui lui-même satisfait aux exigences pour une *enveloppe contre le feu*;
- ouvertures dans le fond qui ont chacune une surface inférieure ou égale à 40 mm² sous des *composants* ou des parties qui satisfont aux exigences d'inflammabilité de classe V-1 ou HF-1, ou meilleure, ou sous les petits *composants* qui satisfont à l'essai au brûleur-aiguille de l'IEC 60695-11-5:2016 en utilisant une durée d'application de la flamme de 30 s;
- construction avec une plaque écran comme cela est représenté sur la Figure 9;

- fond métallique des *enveloppes contre le feu* conforme aux dimensions limites d'une ligne quelconque du Tableau 13; ou
- grille de fond en métal d'une maille dont la distance entre les lignes qui passent par le centre des ouvertures nominales est inférieure ou égale à 2 mm et dont le diamètre des fils est égal ou supérieur à 0,45 mm.

La conformité est vérifiée par *inspection visuelle* à 5.2.1 ou par l'essai à l'huile chaude enflammée décrit en 5.2.5.6, lorsque l'*enveloppe contre le feu* est de conception différente de celle décrite ci-dessus.

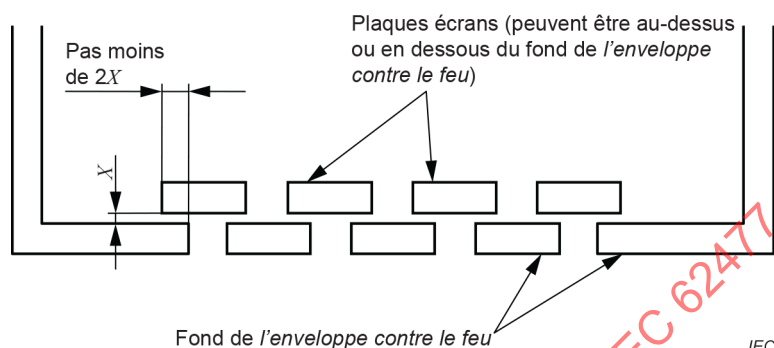


Figure 9 – Construction de l'*enveloppe contre le feu* avec plaque écran

Tableau 13 – Ouvertures admissibles dans les fonds des *enveloppes contre le feu*

Applicable aux trous circulaires			Applicable aux autres formes d'ouvertures	
Epaisseur minimale du fond métallique	Diamètre maximal des trous	Distance minimale des trous (entraxe)	Surface maximale	Distance minimale des ouvertures bord à bord
mm	mm	mm	mm ²	mm
0,66	1,1	1,7	1,1	0,56
0,66	1,2	2,3	1,2	1,10
0,76	1,1	1,7	1,1	0,55
0,76	1,2	2,3	1,2	1,10
0,81	1,9	3,1	2,9	1,10
0,89	1,9	3,1	2,9	1,20
0,91	1,6	2,7	2,1	1,10
0,91	2,0	3,1	3,1	1,20
1,00	1,6	2,7	2,1	1,10
1,00	2,0	3,0	3,2	1,00

4.6.3.3.4 Portes et couvercles dans les *enveloppes contre le feu*

Si une partie d'une *enveloppe contre le feu* comporte une porte ou un couvercle qui conduit à une *zone d'accès général*, elle doit satisfaire à l'une des exigences suivantes:

- la porte ou le couvercle doit être équipé d'un verrouillage de sécurité; ou
- une porte ou un couvercle destiné à être ouvert par l'utilisateur, en usage habituel, doit satisfaire aux deux conditions suivantes:
 - il ne doit pas être possible à l'utilisateur de le séparer de l'*enveloppe contre le feu*; et
 - il doit être équipé d'un dispositif qui le maintient fermé pendant le fonctionnement normal.

Il est admis qu'une porte ou un couvercle destiné seulement à un usage occasionnel par un installateur, par exemple pour l'installation d'*accessoires* spécifiés, soit amovible à condition que la documentation du matériel contienne des directives pour un enlèvement et une remise en place corrects de la porte ou du couvercle.

La conformité est vérifiée par *inspection visuelle* à 5.2.1.

Pour le marquage, voir 6.3.9.7.

4.6.4 Limites de température

4.6.4.1 Généralités

Les parties internes et les parties externes de l'*enveloppe* du *PECS* ne doivent pas atteindre des températures qui peuvent entraîner un risque d'incendie, de brûlure ou de choc électrique en raison de températures élevées lorsque le *PECS* est utilisé dans les conditions normales de fonctionnement et aux valeurs maximales assignées déterminées en 5.2.3.12.

D'autres conditions de fonctionnement assignées, telles que le fonctionnement à rapport cyclique, le déclassement thermique, l'utilisation à une altitude supérieure à 1 000 m et les caractéristiques de contrôle du refroidissement doivent être soumises à l'essai ou calculées.

La conformité est vérifiée par l'essai décrit en 5.2.3.10.

Pour le marquage, voir 6.2.1 et 6.3.3.

4.6.4.2 Parties internes

Le *PECS* et ses *composants* ne doivent pas atteindre des températures qui dépassent celles du Tableau 14 lorsqu'ils sont soumis à l'essai aux valeurs assignées du *PECS*.

Tableau 14 – Températures totales maximales mesurées pour les composants et matériaux internes

Matériaux et composants		Méthode thermocouple °C	Méthode d'élévation de la résistance °C
1	Conducteurs isolés en caoutchouc ou thermoplastique ^a	75	--
2	Bornes de câblage sur site et autres parties qui peuvent être en contact avec l'isolation du câblage sur site ^b	b	--
3	Bus et barrettes ou barres de raccordement en cuivre	c	--
4	Systèmes d'isolation sur composants magnétiques ^d	e	e
	Classe A (105)	90	100
	Classe E (120)	105	115
	Classe B (130)	110	120
	Classe F (155)	130	140
	Classe H (180)	155	165
	Classe N (200)	165	175
	Classe R (220)	180	190
	Classe S (250)	195	205
5	Composition phénolique ^a	165	--
6	Sur matériau résistant nu	415	--
7	Condensateur	f	--
8	Dispositifs électroniques de puissance	g	--
9	Cartes à circuit imprimé	h	--
10	Composants qui pontent au moins la protection principale	f	--
11	Liquide de refroidissement	i	--
^a La limitation sur les compositions à base de phénol et sur les <i>isolations</i> 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 maximale de la <i>borne de câblage sur site</i> ne doit pas dépasser la température assignée de la <i>borne de câblage sur site</i> et la température assignée de l'<i>isolation</i> du conducteur ou du câble spécifiée par le fabricant (voir 6.3.7.4). ^c Les températures maximales autorisées sont déterminées par les limitations de température du matériau de support ou de l'<i>isolation</i> des câbles ou d'autres <i>composants</i>. Une température maximale de 140 °C est recommandée. ^d Les températures maximales sur l'<i>isolation</i> des <i>composants</i> magnétiques prennent pour hypothèse l'application de thermocouples sur la surface des bobines, et ne sont par conséquent pas situées sur les points chauds. La méthode d'élévation de la résistance consiste à mesurer la température moyenne de l'enroulement. ^e Ces limites sont issues des normes groupées de sécurité IEC 61558-1:2017 et IEC 61558-2-16:2021 (sécurité des transformateurs de puissance, alimentations, réactances et produits analogues). ^f Pour un <i>composant</i>, la température maximale spécifiée par le fabricant ne doit pas être dépassée. ^g La température maximale du boîtier doit être la température maximale de boîtier pour la puissance à dissiper spécifiée par le fabricant du dispositif électronique de puissance. ^h La température maximale de fonctionnement de la carte à circuit imprimé ne doit pas être dépassée. ⁱ La température maximale du liquide de refroidissement spécifiée par le fabricant du liquide ou déterminée à partir des caractéristiques connues du liquide ne doit pas être dépassée.			

La méthode de résistance pour les mesures de température spécifiées dans le Tableau 14 consiste à calculer l'échauffement d'un enroulement en utilisant la formule 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 ($^{\circ}\text{C}$);

t_2 est la température ambiante à la fin de l'essai ($^{\circ}\text{C}$);

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 matériaux des conducteurs doivent être déterminées.

4.6.4.3 *Parties accessibles*

Afin de limiter les températures de contact des *parties accessibles* du PECS et d'assurer une protection contre la dégradation à long terme des matériaux de construction, la température maximale des *parties accessibles* du PECS doit être conforme au Tableau 15.

Lorsque les surfaces du PECS dont les températures dépassent les limites données dans le Tableau 15 se trouvent à proximité des surfaces de montage, un avertissement selon 6.3.5 doit être prévu.

Il est admis que des *parties accessibles* qui nécessitent de la chaleur pour leur fonction prévue (par exemple, les dissipateurs thermiques avec leur couvercle) puissent avoir des températures jusqu'à 100°C , si les parties ne sont pas en contact avec les matériaux de construction à l'installation, et elles sont marquées d'un avertissement tel que mentionné en 6.4.4. Pour les produits destinés à n'être utilisés que dans une *zone d'accès limité*, la limite de 100°C peut être dépassée.

Ces limites complètent les limites applicables en 4.6.4.1.

Tableau 15 – Températures maximales mesurées pour les parties accessibles du PECS

Partie	Limite °C					
	Métal (revêtu) ^b				Verre, porcelaine et matière vitrifiée	Caoutchouc et matières plastiques
	1	2	3	4		
Dispositifs manipulés par un utilisateur (boutons, poignées, interrupteurs, afficheurs, etc.) tenus de façon continue en conditions normales de fonctionnement et en <i>condition de premier défaut</i> (environ 10 s)	55	55	55	60	65	70
Dispositifs manipulés par un utilisateur (boutons, poignées, interrupteurs, afficheurs, etc.) tenus pendant de courtes périodes seulement, en conditions normales de fonctionnement et en <i>condition de premier défaut</i> (environ 1 s) ^a	60	70	65	85	75	80
<i>Parties accessibles</i> de l'enveloppe susceptibles d'être touchées (environ 1 s) ^a	65	75	70	90	80	85
Parties de l'enveloppe en contact avec les matériaux de construction de l'installation (de façon continue)	90					
NOTE 1 Les valeurs du Tableau 15 pour les <i>parties accessibles</i> sont issues du Guide 117:2010 de l'IEC (seuil de brûlure). Pour le contact de courte durée avec les dispositifs manipulés par un utilisateur, les valeurs ont été réduites de 5 °C pour permettre une certaine marge. Le Guide 117:2010 de l'IEC fournit également des valeurs de seuils de brûlure pour d'autres revêtements ou matériaux. NOTE 2 Les principales figures du Guide 117 de l'IEC sont reproduites à l'Annexe J pour information.						
^a Pour les produits destinés à et prévus pour être utilisés par des enfants et des personnes âgées, il convient de tenir compte des périodes de contact spécifiées dans le Guide 117:2010 de l'IEC, Tableau 2. ^b Revêtement des surfaces métalliques: 1: aucun (métal nu) 2: gomme-laque (50 µm) 3: émail vitrifié (160 µm) / poudre (60 µm) 4: polyamide 11 ou 12 (400 µm)						

4.6.5 Sources à puissance limitée

Lorsqu'une source à puissance limitée est nécessaire, la source doit satisfaire aux spécifications du Tableau 16 ou du Tableau 17, selon le cas.

Une source à puissance limitée doit être conforme à l'une des exigences suivantes:

- la puissance de sortie est limitée par construction conformément au Tableau 16; ou
- une impédance linéaire ou non linéaire limite la puissance de sortie conformément au Tableau 16. Si un dispositif à coefficient de température positif (par exemple PTC) est utilisé, il doit satisfaire aux essais applicables spécifiés dans l'IEC 60730-1:2013, l'IEC 60730-1:2013/AMD1:2015 et l'IEC 60730-1:2013/AMD2:2020; ou
- un circuit de régulation limite la puissance de sortie conformément au Tableau 16, à la fois avec et sans *condition de premier défaut* dans le circuit de régulation; ou
- un *dispositif de protection contre les surintensités* limite la puissance de sortie conformément au Tableau 17.

Lorsqu'un *dispositif de protection contre les surintensités* est utilisé, ce doit être un élément fusible ou un dispositif électromécanique non réglable et non réarmable.

Une source à puissance limitée qui fonctionne sur un *réseau* d'alimentation en courant alternatif ou une source à puissance limitée qui fonctionne sur une batterie rechargée sur un *réseau* d'alimentation en courant alternatif pendant qu'elle fournit l'alimentation doit comporter un transformateur d'isolement.

La conformité relative à la détermination de la puissance maximale disponible est vérifiée par l'essai décrit en 5.2.3.9.

**Tableau 16 – Limites des sources de puissance sans
dispositif de protection contre les surintensités**

Tension de sortie ^a U_{oc}		Courant de sortie ^{b, d} I_{sc} A	Puissance apparente ^{c, d} S VA
V alternative efficace	V continue		
≤ 30	≤ 30	≤ 8	≤ 100
-	$30 < U_{oc} \leq 60$	$\leq 150 / U_{oc}$	≤ 100
^a Tension de sortie mesurée conformément au 5.1.5.3 avec tous les circuits de charge déconnectés. Des tensions alternatives quasi sinusoïdales et des tensions continues sans ondulation résiduelle sont prises en compte. Pour les tensions alternatives non sinusoïdales et pour les tensions continues avec une ondulation supérieure à 10 % crête, la tension crête ne doit pas dépasser 42,4 V. ^b Courant maximal de sortie avec une charge non capacitive quelconque, y compris un court-circuit. ^c Puissance apparente de sortie maximale en VA avec une charge non capacitive quelconque. ^d Le mesurage de I_{sc} et de S est réalisé 5 s après l'application de la charge si la protection est assurée par un circuit électronique ou un dispositif à coefficient de température positif (par exemple PTC), et 60 s après dans les autres cas.			

Tableau 17 – Limites des sources de puissance avec dispositif de protection contre les surintensités

Tension de sortie ^a		Courant de sortie b, d	Puissance apparente c, d	Valeur du courant assigné du dispositif de protection contre les surintensités ^e
U_{oc}		I_{sc} A	S VA	A
V alternative efficace	V continue			
≤ 20	≤ 20	$\leq 1\,000 / U_{oc}$	≤ 250	$\leq 5,0$
$20 < U_{oc} \leq 30$	$20 < U_{oc} \leq 30$			$\leq 100 / U_{oc}$
-	$30 < U_{oc} \leq 60$			$\leq 100 / U_{oc}$

^a Tension de sortie mesurée conformément au 5.1.5.3 avec tous les circuits de charge déconnectés. Des tensions alternatives quasi sinusoïdales et des tensions continues sans ondulation résiduelle sont prises en compte. Pour les courants alternatifs non sinusoïdaux et pour les courants continus avec une ondulation supérieure à 10 % crête, la tension crête ne doit pas dépasser 42,4 V.

^b Courant de sortie maximal avec une charge non capacitive quelconque, y compris un court-circuit, mesuré 60 s après l'application de la charge.

^c Puissance de sortie maximale en VA, avec une charge non capacitive quelconque, mesurée 60 s après l'application de la charge.

^d Les impédances de limitation de courant sont maintenues pendant le mesurage, mais tout *dispositif de protection contre les surintensités* est contourné. La raison pour laquelle les mesures sont effectuées avec les *dispositifs de protection contre les surintensités* contournés est de déterminer la quantité d'énergie disponible susceptible de provoquer un échauffement pendant le délai de fonctionnement des *dispositifs de protection contre les surintensités*.

^e Valeurs du courant assigné des *dispositifs de protection contre les surintensités* qui coupent le circuit en moins de 120 s avec un courant égal à 210 % de la valeur du courant assigné spécifiée dans le tableau.

4.7 Protection contre les dangers mécaniques

4.7.1 Généralités

La défaillance de n'importe quel *composant* à l'intérieur du *PECS* ne doit pas libérer l'énergie suffisante pour entraîner des dangers, par exemple l'expulsion de matière à l'intérieur d'une zone accessible à des *personnes ordinaires* ou à des *personnes qualifiées*.

4.7.2 Exigences spécifiques pour le *PECS* à refroidissement liquide

4.7.2.1 Liquide de refroidissement

Le liquide de refroidissement spécifié (voir 6.2) doit être adapté aux températures ambiantes prévues pendant le stockage et le fonctionnement. La température du liquide de refroidissement en fonctionnement ne doit pas dépasser la limite spécifiée dans le Tableau 14.

Le liquide de refroidissement utilisé dans un *système* de refroidissement doit être un liquide évalué pour cet usage, de l'eau, du glycol, un mélange d'eau et de glycol ou de l'huile de synthèse non inflammable.

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 le présent document. Toutefois, il convient de prendre en compte la défaillance possible de tels *composants* pendant l'analyse en 4.2.

La conformité est vérifiée par *inspection visuelle* à 5.2.1 et par l'essai décrit en 5.2.3.10.

Pour le marquage, voir 6.2.1.5.

NOTE Les liquides de refroidissement inflammables utilisés dans les *systèmes* de refroidissement ne sont pas couverts par le présent document.

4.7.2.2 Exigences de la conception

4.7.2.2.1 Généralités

Les *composants* du *système* de confinement de liquide doivent être compatibles avec le liquide de refroidissement à utiliser.

Les *PECS* qui utilisent des liquides doivent être construits de telle façon qu'il soit improbable qu'il y ait une concentration dangereuse de ces matières et qu'un danger au sens du présent document soit créé par la condensation, la vaporisation, les fuites, le débordement ou la corrosion pendant le fonctionnement normal, le stockage, le remplissage ou la vidange.

La conformité est vérifiée par *inspection visuelle* à 5.2.1.

4.7.2.2.2 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 exposition prolongée au liquide de refroidissement et/ou à l'air.

La conformité est vérifiée par *inspection visuelle* à 5.2.1.

4.7.2.2.3 Tubage, 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 du cycle de vie du *PECS*. Tout le *système* de refroidissement, tubage compris, doit satisfaire aux exigences de l'essai de pression hydrostatique décrit en 5.2.7.

4.7.2.2.4 Fuite du liquide de refroidissement

Des moyens doivent être prévus 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 le cycle de vie prévu. Si un mécanisme limiteur de pression est fourni, il doit être situé de telle manière qu'aucune fuite de liquide de refroidissement ne doit se produire sur les *parties actives* lorsqu'il est activé.

Une fuite du liquide de refroidissement ne doit pas humidifier les *parties actives* ou l'*isolation électrique*.

La conformité est vérifiée par *inspection visuelle* à 5.2.1.

4.7.2.2.5 Perte de liquide de refroidissement

La perte du liquide de refroidissement dans le *système* de refroidissement ne doit pas entraîner de dangers thermiques, mécaniques ou de choc électrique.

Les exigences de l'essai concernant la perte de liquide de refroidissement décrites en 5.2.4.9.4 doivent être respectées.

4.7.2.2.6 Exigences d'*isolation* pour le liquide et le système de refroidissement

Lorsque le liquide de refroidissement est intentionnellement en contact avec des *parties actives* (des dissipateurs thermiques non mis à la terre, par exemple), il ne doit pas y avoir de danger en conditions normales de fonctionnement ou en *conditions de premier défaut*.

De plus, le système de refroidissement (tuyaux, par exemple) fait partie du système d'*isolation*. Les exigences du 4.4.7 concernant la *protection fonctionnelle*, la *protection principale* ou la *protection renforcée* ainsi que celles du 4.4.5.5 doivent être appliquées, le cas échéant.

La conformité est vérifiée par l'évaluation du 4.2 et par la mesure du 5.2.3.7.

4.7.3 Dangers mécaniques des parties tournantes

4.7.3.1 Généralités

Les parties tournantes ne doivent pas causer de danger.

4.7.3.2 Dangers mécaniques causés par un ventilateur

Les ventilateurs et leurs pales ne doivent pas causer de blessure en conditions normales de fonctionnement ni pendant l'entretien et la maintenance dans les *zones d'accès pour l'entretien*.

NOTE 1 Pour plus d'informations, voir l'IEC 62368-1:2018, 8.2.

NOTE 2 Pour la protection contre la douleur, voir l'IEC 62368-1:2018.

NOTE 3 L'expression "blessure" signifie qu'une prise en charge d'urgence par un médecin ou un hôpital peut être nécessaire.

Les pales de ventilateur dangereuses doivent être protégées par une *enveloppe* ou des barrières conformes à l'indice de protection IP2X.

Pour la conformité, voir l'essai en 5.2.2.2.

Aucune protection n'est exigée pour les pales de ventilateur s'il peut être vérifié qu'elles ne causent pas de blessure en cas de contact. La conformité est vérifiée par les formules ci-dessous:

- pales de ventilateur en plastique conformes à $\frac{N}{44\,000} + \frac{K}{7\,200} \leq 1$;
- autres pales de ventilateur conformes à $\frac{N}{22\,000} + \frac{K}{3\,600} \leq 1$.

Le facteur K est déterminé à l'aide de la formule suivante:

$$K = 6 \times 10^{-7} (m r^2 N^2)$$

où:

m est la masse (kg) de la partie mobile du ventilateur (pale, arbre et rotor);

r est le rayon (mm) de la pale du ventilateur, de l'axe central du moteur (arbre) à l'extrémité de la partie externe susceptible d'être touchée;

N est la vitesse de rotation (tr/min) de la pale du ventilateur.

La vitesse maximale du ventilateur dans l'application doit être prise en compte.

La conformité est vérifiée par calcul.

4.7.3.3 Parties expulsées

Le risque de blessure dû au desserrage de parties mobiles doit être atténué selon les exigences du 4.2.

Les mesures d'atténuation possibles comprennent:

- la protection par *enveloppe*, barrière ou protecteurs; ou
- l'utilisation de pratiques mécaniques courantes telles que des rondelles de blocage, des fixations autobloquantes, un serrage approprié des fixations, des rivets, un soudage.

Aucun essai n'est exigé.

4.7.4 Bords vifs

Les bords, projections, angles, ouvertures, protecteurs, poignées et organes analogues *accessibles* à l'utilisateur doivent être lisses et arrondis de manière à ne pas causer de blessure lors de l'installation, en conditions normales de fonctionnement et lors de la maintenance du *PECS*.

La conformité est vérifiée par *inspection visuelle*, par un *essai de type* selon 5.2.1 et, si nécessaire, par l'application d'un objet qui représente la taille, la forme et la dureté d'un doigt, afin de contrôler les abrasions ou coupures.

NOTE Une procédure acceptable est décrite dans l'IEC TR 62854:2014 ou l'UL 1439.

4.8 PECS à plusieurs sources d'alimentation

Un *PECS* équipé de plus d'une possibilité de raccordement d'alimentation (par exemple, pour différentes tensions ou fréquences ou pour l'alimentation de secours) doit être conçu de telle sorte que toutes les conditions suivantes soient remplies:

- des moyens de raccordement séparés sont prévus pour les différents circuits;
- les raccordements de la prise de courant de l'alimentation, le cas échéant, ne sont pas interchangeables, si un danger peut survenir du fait d'un raccordement incorrect; et
- aucun danger ne doit exister, au sens du présent document, en conditions normales de fonctionnement ou en *conditions de premier défaut* du fait de la présence de plusieurs sources d'alimentation. Des actions telles que la déconnexion ou la mise *hors tension* d'une alimentation sont considérées comme des conditions normales de fonctionnement.

La conformité est vérifiée par l'évaluation du 4.2.

Le *PECS* doit être accompagné d'informations qui indiquent la présence de plusieurs sources d'alimentation et les procédures de déconnexion (voir 6.5.5).

Exemples de types de dangers qu'il convient de prendre en compte:

- a) prévention de rétro-alimentation – prévention de toute rétro-alimentation de tension ou d'énergie disponible dans le *PECS* ou l'une de ses sources vers toute borne d'entrée déconnectée d'une autre source, directement ou par le chemin de fuite;
- b) protection contre tout îlotage intempestif;
- c) les niveaux de *courant de contact* peuvent être plus élevés avec plusieurs sources connectées simultanément (s'il s'agit d'une condition normale pour le *PECS*);
- d) danger qui résulte de la détérioration d'une ou de plusieurs sources connectées (par exemple, un générateur) du fait de l'énergie provenant d'une autre source (par exemple, le *réseau*); et
- e) détérioration du câblage du fait de courants plus élevés que ceux qui proviennent d'une autre source pour lesquels le câblage est conçu.

4.9 Protection contre les contraintes environnementales

Le fabricant doit spécifier les conditions de service suivantes en ce qui concerne le fonctionnement, le stockage et le transport:

- température du liquide de refroidissement (min./max.);
- température ambiante (min./max.);
- humidité (min./max.);
- *degré de pollution*;
- vibration;
- résistance au rayonnement UV;
- OVC (*catégorie de surtension*);
- altitude pour l'aspect thermique, si la caractéristique assignée de fonctionnement est supérieure à 1 000 m; et
- altitude pour les aspects de coordination de l'*isolation*, si la caractéristique assignée de fonctionnement est supérieure à 2 000 m.

NOTE Les catégories environnementales spécifiées dans l'IEC 60721 (toutes les parties) peuvent être utilisées le cas échéant.

Le fabricant doit spécifier la condition environnementale de service pour le *PECS* selon le Tableau 18.

Lorsque le *PECS* satisfait aux exigences du présent document uniquement aux conditions supérieures aux valeurs minimales ou inférieures aux valeurs maximales données dans le Tableau 18, ceci doit faire l'objet d'un accord entre le fabricant et l'utilisateur. Les conditions particulières doivent être identifiées dans la documentation et sur le produit, comme cela est spécifié en 6.3.3.

Tableau 18 – Conditions environnementales de service

Condition	A l'intérieur avec condition	A l'intérieur sans condition	A l'extérieur sans condition
Norme	IEC 60721-3-3:1994, IEC 60721-3-3:1994/AMD1:1995 et IEC 60721-3-3:1994/AMD2:1996		IEC 60721-3-4:1995 et IEC 60721-3-4:1995/AMD1:1996
Climatique	Classe 3K2	Classe 3K3	Classe 4K6
Basse température	+15 °C	+5 °C	-20 °C
Haute température	30 °C	40 °C	55 °C
Faible humidité	10 % HR	5 % HR	4 % HR
Forte humidité	75 % HR	85 % HR	100 % HR
Condensation	Non admise	Non admise	Admise
Degré de pollution	2	3 ^b	4 ^c
Condition d'humidité de la peau ^d	Sèche	Humide ^a	Humide salée ^a
Substances chimiquement actives	Classe 3C1 (pas de brouillard salin)	Classe 3C1 (pas de brouillard salin)	Classe 4C2 (brouillard salin) ^a
Substances mécaniquement actives	Classe 3S1 (aucune exigence)	Classe 3S1 (aucune exigence)	Classe 4S2 (poussière et sable)
Mécanique	Classe 3M1 (vibration: 1 m/s ²)	Classe 3M1 (vibration: 1 m/s ²)	Classe 4M1 (vibration: 1 m/s ²)
Biologique	Classe 3B1 (aucune exigence)	Classe 3B1 (aucune exigence)	Classe 4B2 (moisissure/champignons/rongeurs/termites)
Résistance au rayonnement UV	Pas d'exigence	Pas d'exigence	4.12.8
^a Lorsqu'il est certain que le PECS ne sera pas utilisé dans une atmosphère humide ou de brouillard salin, le fabricant peut choisir d'assigner des caractéristiques au PECS qui correspondent à une condition moins sévère. Dans ce cas, les caractéristiques assignées doivent être indiquées dans la documentation selon 6.3.3. ^b Le degré de pollution 2 peut être assuré si les conditions du 4.4.7.1.3 sont remplies. ^c Le degré de pollution 2 ou 3 peut être assuré si l'enveloppe procure une protection suffisante contre la pollution conductrice et si les conditions du 4.4.7.1.3 sont remplies. ^d Cette exigence est ajoutée au présent tableau en raison de l'interaction des utilisateurs avec le PECS afin de choisir la DVC AS applicable. Par exemple, la peau sèche de la main devient humide en cas de contact avec un PECS humide.			

La conformité est vérifiée par l'essai décrit en 5.2.6.

4.10 Protection contre les dangers dus au bruit acoustique excessif

Le PECS doit assurer une protection contre le bruit excessif. Les essais de conformité sont réalisés si le PECS est susceptible d'engendrer ce type de danger.

Si la pression acoustique, en dehors des alarmes, dépasse 70 dBA, la documentation doit fournir des informations sur le niveau de bruit du PECS.

La conformité est vérifiée par *inspection visuelle* à 5.2.1, mesures et calcul du niveau de pression acoustique maximal conformément à l'ISO 3746:2010 ou à l'ISO 9614-1:1993.

Pour le marquage, voir 6.4.1.

4.11 Câblage et raccordements

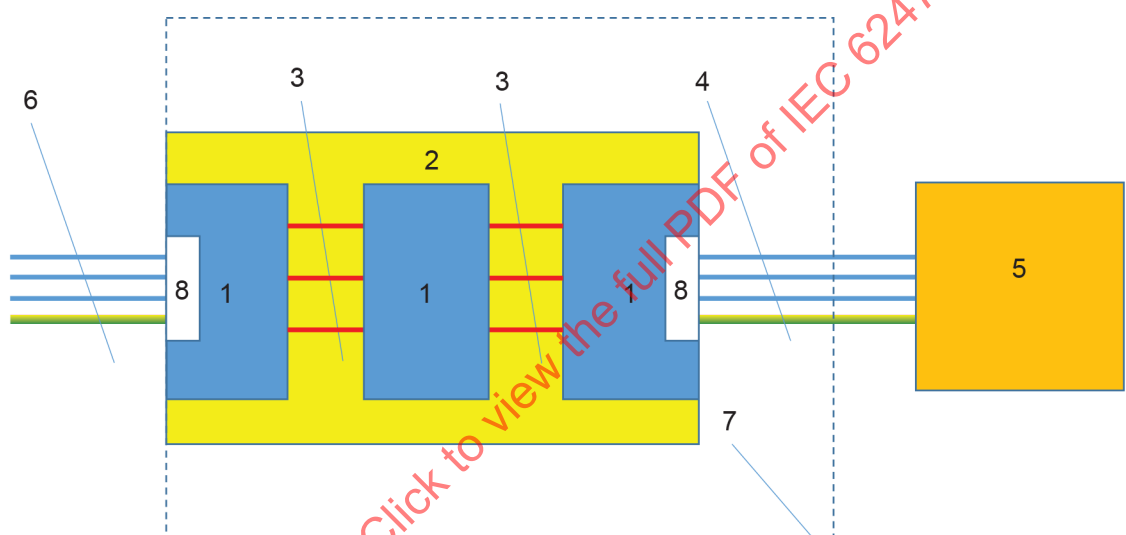
4.11.1 Généralités

Le câblage et les interconnexions des *PECS* et de leurs parties doivent être protégés contre les dommages mécaniques pendant l'installation et l'utilisation. L'*isolation*, les gaines de protection, les conducteurs et le cheminement de tous les fils électriques du *PECS* doivent être adaptés aux conditions d'utilisation électriques, mécaniques, thermiques et environnementales.

Les conducteurs qui peuvent se toucher doivent posséder un niveau d'*isolation* répondant aux exigences de la *DVC* des circuits correspondants selon le Tableau 3.

La conformité au 4.11.2 et jusqu'au 4.11.11 doit être vérifiée par *inspection visuelle* en 5.2.1 de toute la construction et de toutes les fiches techniques, le cas échéant.

Un exemple d'interconnexions au sein d'un *PECS* et entre ses parties est représenté à la Figure 10.



IEC

Légende

1	partie 1 à n du <i>PECS</i>	5	charge
2	conversion de puissance du <i>PECS</i>	6	installation
3	interconnexion interne du <i>PECS</i>	7	<i>PECS</i>
4	interconnexion entre les parties du <i>PECS</i>	8	Bornes de câblage

**Figure 10 – Exemple d'interconnexions
au sein d'un *PECS* relié en permanence et entre ses parties**

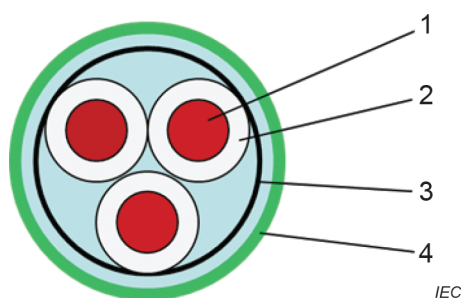
4.11.2 Isolation des conducteurs

4.11.2.1 Généralités

Les conducteurs doivent fournir une *isolation* conforme aux exigences du présent document. Cela peut être réalisé soit par *distance d'isolement* et *ligne de fuite*, soit par *isolation solide*.

Les conducteurs non isolés, par exemple les jeux de barres, doivent satisfaire aux exigences appropriées en matière de *distance d'isolement* et de *ligne de fuite* à l'intérieur du circuit et par rapport aux autres circuits pour la *DVC* de la tension concernée, selon le Tableau 8 et le Tableau 9.

Un exemple de câble comme dispositif de conducteurs isolés est représenté à la Figure 11.



Légende

- 1 conducteur
- 2 *isolation* du conducteur (*protection principale*)
- 3 écran (facultatif)
- 4 gaine non métallique du câble (*protection en cas de défaut*)

Figure 11 – Exemple de câble comme dispositif de conducteurs isolés

Les normes de produits des câbles ne spécifient pas la capacité de *tension de tenue aux chocs* ni la capacité de tenue aux décharges partielles.

Toutefois, il est entendu pour le présent document que la combinaison de l'*isolation* des conducteurs individuels et de la gaine non métallique du câble fournit une *protection renforcée* selon le Tableau 3 si le câble satisfait aux exigences suivantes:

- a) le câble est conforme à une norme de produits de câble applicable;
- b) la tension assignée du conducteur ou du câble isolé doit être supérieure ou égale à la tension assignée dans le circuit et par rapport aux autres circuits; et
- c) la tension d'essai des conducteurs isolés doit être conforme aux exigences applicables du Tableau 28 ou du Tableau 29.

NOTE 1 L'essai de *tension de tenue aux chocs* et l'essai de décharge partielle ne sont en général pas exigés, sauf lorsque les câbles font partie d'une *protection renforcée* au sein d'un *composant* ou d'un sous-ensemble, et qu'ils sont de fait limités à la région située entre les deux DVC différentes.

L'*isolation* du conducteur est considérée comme une *protection principale* et la gaine non métallique est considérée comme une *protection en cas de défaut*.

NOTE 2 Pour plus d'informations, voir l'IEC 60364-4-41:2005 et l'IEC 60364-4-41:2005/AMD1:2017, 412.2.4.

4.11.2.2 Système de câblage accessible

Les *systèmes* de câblage *accessibles* à l'extérieur de l'*enveloppe* sont considérés comme satisfaisant aux exigences des barrières ou de l'*enveloppe* selon 4.4.3.3 pour le PECS si une protection mécanique adéquate du conducteur isolé est assurée par un ou plusieurs des moyens suivants:

- a) une gaine non métallique du câble, à condition que les exigences du 4.11.2 soient respectées; ou
- b) un conducteur isolé qui fournit une *isolation principale* avec
 - 1) un conduit de câble non métallique conforme à l'IEC 61084 (toutes les parties);
 - 2) un conduit non métallique conforme à l'IEC 61386 (toutes les parties) ou équivalent;

- 3) un conduit ou une canalisation de câble métallique, à condition que les parties métalliques soient connectées au *système* de liaison équipotentielle et qu'elles soient conformes au 4.4.4.2.2; ou
- 4) un conducteur isolé conforme à une norme de produits de conducteur isolé applicable, qui fournit une *isolation renforcée*.

4.11.2.3 Conducteurs de circuits différents

Les conducteurs de circuits différents dans un câble multiconducteur ou qui occupent le même conduit (par exemple canalisation, *système* de goulottes) doivent être protégés de manière adéquate contre tous les autres conducteurs conformément au Tableau 3, ou tous les conducteurs doivent être protégés selon la plus haute tension concernée.

Si l'*isolation* repose sur la *distance d'isolement* et la *ligne de fuite*, des moyens doivent être prévus pour assurer la séparation des conducteurs.

4.11.3 Câbles multibrins

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.

Lorsque des câbles multibrins ou des écrans multibrins de fil blindé sont connectés à une vis de serrage, à une borne ou à un autre moyen de connexion, la construction doit être telle que les brins de fil libres satisfassent aux exigences du 4.4.7.4 et du 4.4.7.5 concernant:

- les autres *parties actives* non isolées qui n'ont pas toujours le même potentiel que le fil; ou
- les parties métalliques conductrices non *mises à la terre de protection*.

4.11.4 Cheminement et serrage

Le perçage dans la paroi en tôle de l'*enveloppe* du PECS 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'*isolation*.

Le cheminement du câblage doit éviter tous bords vifs, filetages, bavures, ailettes, parties mobiles, tiroirs et parties similaires qui abrasent l'*isolation* des fils. Le rayon de courbure minimal spécifié par le fabricant de câbles ne doit pas être dépassé.

Les bords des étriers et guides fils, métalliques ou non, utilisés pour le cheminement du câblage interne et externe 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'*isolation* soit impossible. Si des étriers en métal sont utilisés pour des conducteurs dont l'*isolation* thermoplastique est d'épaisseur inférieure à 0,8 mm, une protection mécanique non conductrice doit être prévue.

La conformité est vérifiée par *inspection visuelle* à 5.2.1.

4.11.5 Identification des conducteurs et des bornes

Lorsque l'identification des conducteurs internes, des bornes et des *bornes de câblage sur site* est jugée nécessaire pour assurer la sécurité pendant l'installation et/ou la maintenance, il incombe au fabricant du PECS de choisir la méthode appropriée. Des recommandations sont données dans l'IEC 60445:2021 et l'IEC 61148:2011.

Lorsqu'elle est utilisée, l'identification par couleur doit s'effectuer au niveau des terminaisons et de préférence sur toute la longueur du conducteur, soit par la couleur de l'*isolation*, soit par des marqueurs de couleur, sauf pour les conducteurs nus dont l'identification par couleur doit s'effectuer aux points de terminaison et de connexion.

Lorsque l'identification par couleur est utilisée, la couleur vert-jaune doit être utilisée pour la *liaison équipotentielle de protection* ou pour le ou les *conducteurs de mise à la terre de protection*. La couleur vert-jaune ne doit pas être utilisée à d'autres fins. Lorsqu'un circuit comprend un neutre identifié par couleur, la couleur utilisée à cet effet doit être "bleu clair".

Le choix du bleu clair pour le conducteur neutre et du vert ou du vert-jaune pour la *liaison équipotentielle de protection* ou le ou les *conducteurs de mise à la terre de protection* est couvert par les réglementations nationales. Dans certains pays, le code couleur s'écarte de l'exigence susmentionnée ou admet d'autres alternatives.

NOTE Aux Etats-Unis et au Canada, la couleur blanche au lieu du bleu clair est utilisée pour le conducteur neutre. La couleur verte au lieu du vert-jaune est utilisée pour le *conducteur de mise à la terre de protection*.

Pour les conducteurs isolés qui sont intégrés à un câble ruban ou à un câble de signal multibrin et uniquement identifiés par la couleur, l'utilisation des couleurs simples "vert", "jaune" et "bleu" est admise; toutefois, le fabricant doit fournir des informations et/ou un ou plusieurs marquages qui indiquent clairement la signification du code couleur. Cela doit également permettre d'éviter les erreurs d'identification avec les *systèmes* de mise à la terre et autres qui peuvent utiliser ces couleurs de façon classique.

4.11.6 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 brasées, soudées, serties ou effectuées de façon sûre. Un joint soudé, autre qu'un *composant* sur une carte à circuit imprimé doit, de plus, être sécurisé mécaniquement.

Les câbles multibrins ne doivent pas être brasés lorsqu'ils sont fixés à une borne qui dépend de la pression de contact.

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 la documentation.

Pour le marquage, voir 6.3.7.4.2.

4.11.7 Connexions accessibles

En plus des moyens prévus en 4.4.2.5, il doit être assuré que ni une erreur d'insertion ni une inversion de polarité des connecteurs ne peuvent conduire à une tension sur une connexion accessible supérieure à la valeur maximale de la *DVC As*, à moins que tous les circuits qui alimentent cette connexion ne satisfassent aux exigences de *condition de premier défaut* du Tableau 5 et à toutes les exigences du 4.5.1.2.

Si le *PECS* est conçu pour être alimenté uniquement à des tensions qui ne dépassent pas la *DVC As* en conditions normales de fonctionnement ou en *conditions de premier défaut*, ou à partir d'une source exclusivement utilisée pour alimenter ce *PECS*, les fiches du cordon d'alimentation ne doivent pas s'insérer dans les prises de courant des *systèmes* d'alimentation *réseau* à des tensions supérieures à la tension d'alimentation assignée du *PECS*.

NOTE L'IEC TR 60083:2015 fournit des informations sur les prises des *systèmes* d'alimentation *réseau*.

Les prises de courant *réseau* normalisées ne doivent pas être utilisées à d'autres fins que la connexion d'un *réseau*. Cela s'applique, par exemple, aux sous-ensembles enfichables ou autres dispositifs enfichables qui peuvent être branchés sans l'aide d'un outil ou d'une clé ou qui sont *accessibles* sans utiliser d'outil ou de clé. Cela ne s'applique pas au *PECS* destiné à être installé dans des *zones d'accès limité*.

Si les broches de la fiche d'un *PECS* connecté par cordon reçoivent une charge d'un condensateur interne, celles-ci doivent être examinées selon 4.4.2.5 et 4.4.9.

Un essai selon 5.2.3.8 doit être effectué, si nécessaire.

Un marquage est exigé sur le *PECS* équipé de prises de courant:

- a) si la prise de courant peut accepter une fiche *réseau* normalisée, le marquage doit être tel que spécifié en 6.3.7.5; ou
- b) si la prise de courant a une borne de contact pour un *conducteur de mise à la terre de protection*, la connexion d'entrée du *réseau* au *PECS* doit comprendre un *conducteur de mise à la terre de protection* connecté à une borne de *conducteur de mise à la terre de protection*.

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 *inspection visuelle* à 5.2.1 ainsi que par des essais d'insertion.

4.11.8 Interconnexions entre les parties du *PECS*

Il doit être tenu compte de la tension et du courant assignés du ou des circuits ainsi que de la température de l'environnement pour le câblage entre les parties du *PECS* complet. Toutes les sections du *PECS* doivent satisfaire à l'une des exigences suivantes:

- paragraphes 4.11.2 à 4.11.11 applicables;
- IEC 60364 (toutes les parties); ou
- règles d'*installation* locales.

NOTE 1 L'IEC 60364-5-52:2009 fournit des informations relatives au courant assigné des conducteurs, compte tenu de la température ambiante, de la méthode d'*installation*, du type de câble, du matériau du conducteur et de l'*isolation*.

Les assemblages de câbles et les cordons flexibles fournis pour l'interconnexion entre les parties d'un *PECS* ou entre les parties d'un *système* doivent être adaptés aux conditions d'utilisation électriques, mécaniques, thermiques et environnementales, en tenant compte du 4.4.7 et du 4.9. Pour les *PECS* sous enveloppe, 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 mécaniques conformes au 4.12.6.

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 accessibles* ne doivent pas provoquer de dommages mécaniques ou de risques de dangers thermiques, de chocs électriques ou de blessures.

Lorsque des câbles externes d'interconnexion sont terminés par une fiche qui se branche sur une prise située sur une surface externe de l'*enveloppe*, il ne doit pas y avoir de risque de choc électrique au niveau de la *partie accessible* des contacts, ni sur la fiche, ni sur la prise, lors de la déconnexion. Les exigences relatives à l'interconnexion externe de la *DVC A*s et de la *DVC B* sont indiquées en 4.4.2.5.

Pour l'interconnexion interne, aucune exigence n'est spécifiée.

NOTE 2 Un circuit asservi au câble, qui met *hors tension* la *partie accessible* des contacts lorsque le câble est déconnecté satisfait à ces exigences.

NOTE 3 Pour plus d'informations, voir l'IEC 60204-1:2016.

4.11.9 Raccordement de l'alimentation

4.11.9.1 Généralités

Un *PECS* prévu pour être *relié en permanence* au *réseau* ou à une *alimentation non raccordée directement au réseau* doit disposer d'un moyen de connexion au *système* de câblage applicable conforme aux exigences du site d'*installation*.

4.11.9.2 Cordons d'alimentation réseau

NOTE Les exigences sont issues de l'IEC 61010-1:2010, 6.10.1.

Les exigences suivantes s'appliquent aux cordons d'alimentation *réseau* non détachables et aux cordons d'alimentation *réseau* détachables fournis avec le *PECS*.

Les cordons doivent être conformes au 4.11, le cas échéant, et être assignés pour le courant maximal du *PECS*.

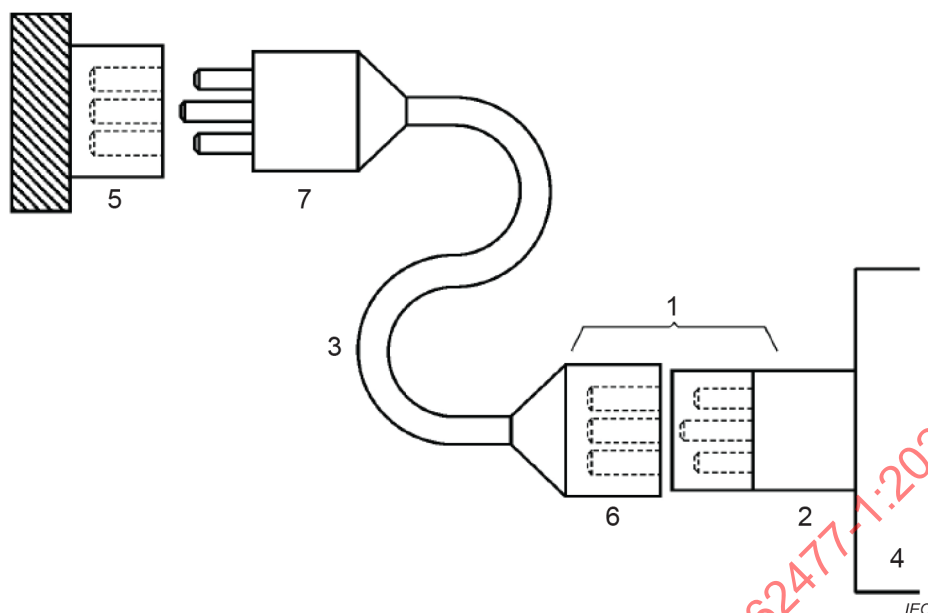
Si un cordon est susceptible d'entrer en contact avec des parties externes chaudes du *PECS*, il doit être constitué d'un matériau résistant à la chaleur.

Si le cordon est détachable, le cordon et le socle de connecteur doivent tous deux avoir des températures assignées adéquates.

L'identification des conducteurs et des bornes doit être conforme au 4.11.5.

Les cordons d'alimentation *réseau* détachables avec connecteurs *réseau* conformes aux parties applicables de l'IEC 60320 (toutes les parties) doivent satisfaire aux exigences de l'IEC 60799:2018, ou doivent être assignés au moins pour le courant assigné du connecteur *réseau* monté sur le cordon.

La Figure 12 explique la terminologie relative aux cordons d'alimentation *réseau*.



Légende

1	connecteur	5	prise de courant fixe
2	socle de connecteur	6	connecteur <i>réseau</i>
3	câble	7	fiche <i>réseau</i>
4	PECS		

Figure 12 – Cordons d'alimentation *réseau* détachables et connexions

La conformité est vérifiée par *inspection visuelle* à 5.2.1 et, si nécessaire, par des mesures.

4.11.9.2.1 Fixation des cordons d'alimentation *réseau* non détachables

4.11.9.2.1.1 Entrée du cordon

Les cordons d'alimentation *réseau* doivent être conformes au 4.11.4 et être protégés contre l'abrasion et les courbures aiguës au point où le cordon pénètre dans le PECS, par l'un des moyens suivants:

- une entrée ou un manchon avec une ouverture lisse et arrondie; ou
- un protecteur de cordon flexible fixé de façon sûre, en matériau isolant, qui dépasse l'ouverture de l'entrée d'au moins cinq fois le diamètre global du cordon de la plus grande section qui peut être montée. Pour les cordons plats, la plus grande section est retenue comme diamètre global.

La conformité est vérifiée par *inspection visuelle* à 5.2.1 et, si nécessaire, par des mesures des dimensions.

4.11.9.2.1.2 Dispositif de maintien du cordon

Le dispositif de maintien du cordon doit être conforme aux exigences et aux essais de relâchement des contraintes du 4.12.6.

4.11.9.2.1.3 Fiches et connecteurs

Les fiches et connecteurs pour la connexion du *PECS* au *réseau*, y compris les connecteurs utilisés pour connecter les cordons d'alimentation *réseau* détachables, doivent être conformes aux spécifications applicables aux prises de courant et aux connecteurs et doivent être conformes au 4.11.7.

4.11.10 Bornes de câblage sur site et bornes internes

4.11.10.1 Exigences de construction

Toutes les parties des *bornes de câblage sur site* et des bornes internes qui maintiennent le contact et véhiculent le courant doivent être d'un métal de la solidité mécanique adéquate.

Les 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 dommages significatifs tant sur les conducteurs que sur les bornes.

Les bornes ne doivent pas permettre un déplacement des conducteurs ou leur propre déplacement qui a pour effet de nuire au bon fonctionnement du *PECS*, et l'*isolation* ne doit pas être réduite au-dessous de ses valeurs assignées.

Les exigences du 4.11.10.1 sont respectées par l'utilisation de bornes conformes à l'IEC 60947-7 (toutes les parties).

Pour le marquage, voir 6.3.7.4.

4.11.10.2 Capacité de raccordement

Les *bornes de câblage sur site* et bornes internes doivent supporter l'installation du câblage spécifié dans la documentation. Il doit être possible d'effectuer l'installation conformément aux règles de câblage applicables à l'*installation*.

Les bornes doivent être dimensionnées pour couvrir toutes les exigences suivantes:

- la taille du fil pour 125 % du courant nominal maximal:
 - le matériau prévu du conducteur, par exemple cuivre ou aluminium; et
 - la plus longue longueur de câble admise;
- la taille du fil pour le courant de charge spécifié le plus faible prévu pour être utilisé: la plus courte longueur de câble admise;
- la température assignée de l'*isolation* prévue pour le conducteur; et
- la *température ambiante* la plus élevée de l'*installation* prévue du câble de charge.

NOTE 1 Un câble long peut causer une chute de tension non admissible qui peut être compensée en utilisant une taille de fil plus importante.

NOTE 2 Exemples de températures ambiantes: l'IEC 61439-1:2020 et l'IEC 60204-1:2016 exigent au moins 40 °C, l'IEC 60364-5-52:2009 exige au moins 30 °C pour toutes les *installations* et 20 °C pour les *installations* avec câbles enfouis.

A des fins de conformité, les bornes doivent satisfaire à l'essai d'échauffement décrit en 5.2.3.10.

Pour le marquage, voir 6.3.7.4.2.

NOTE 3 Les valeurs normales de section des conducteurs en cuivre ronds sont indiquées à l'Annexe G, qui donne également la relation approximative entre les dimensions ISO métriques et les calibres AWG/MCM.

4.11.10.3 Raccordement des conducteurs externes

Les *bornes de câblage sur site* pour le raccordement des conducteurs externes doivent être facilement *accessibles* pendant l'installation. Voir 4.11.5.

Les ensembles de bornes de raccordement à la même entrée ou sortie doivent être regroupés et doivent être situés à proximité les uns des autres et de la borne principale de terre de protection, si elle existe. Si la documentation fournit des informations détaillées sur la mise à la terre correcte du *système*, la borne de terre de protection n'a pas besoin d'être placée à proximité des bornes.

Pour chaque connexion équipée d'un conducteur neutre et/ou d'un *conducteur de mise à la terre de protection*, la ou les bornes correspondantes doivent être situées à proximité des bornes de phase associées.

Le couple de serrage exigé doit être indiqué dans la documentation d'*installation*.

Pour les bornes de *mise à la terre de protection*, le 4.4.4.3.2 et le 4.4.4.3.3 s'appliquent.

Pour le marquage, voir 6.3.7.4.

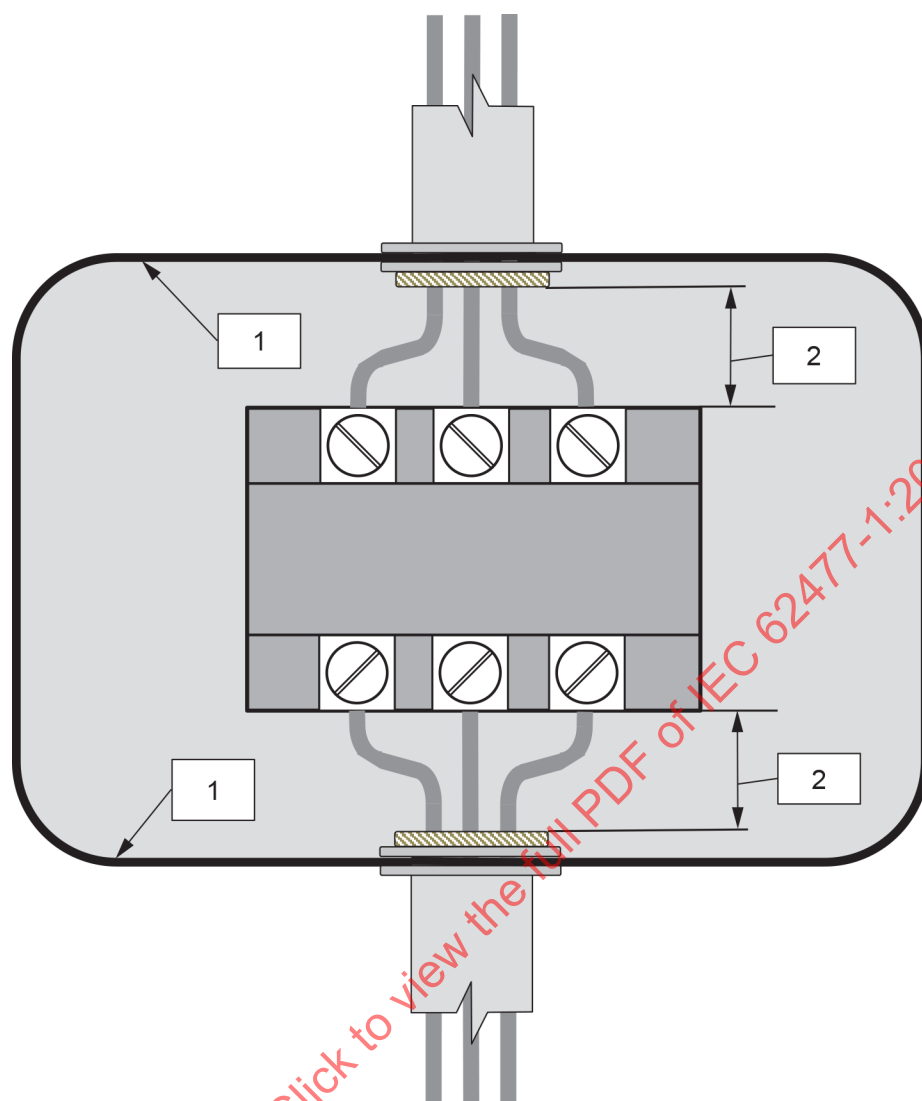
4.11.10.4 Espace de courbure des câbles de 10 mm² et plus

Pour un *PECS*, la distance entre une borne de raccordement au *réseau* ou entre les parties principales du *PECS* (par exemple, transformateur, partie du *PECS*) et l'obstacle vers lequel est dirigé le fil partant de la borne doit être au moins celle spécifiée dans le Tableau 19.

Tableau 19 – Espace de courbure des fils des bornes à l'enveloppe

Section du fil mm ²	Espace de courbure minimal des bornes à l'enveloppe mm		
	Fils par ensemble de bornes		
	1	2	3
10 à 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

La Figure 13 montre l'exemple d'évaluation de l'espace de courbure des fils.



IEC

Légende

- 1 enveloppe
- 2 espace de courbure des fils

Figure 13 – Exemple d'évaluation de l'espace de courbure des fils

NOTE Voir également l'IEC 62440:2008, 5.6.3, pour des recommandations relatives à la courbure des fils.

4.11.11 Moyens de raccordement du blindage des fils ou câbles blindés

Si des moyens sont prévus pour le raccordement du blindage des fils ou câbles blindés, leur construction doit être conforme au 4.4.4.3.2, au 4.11.3, au 4.11.4, au 4.11.10.1 et au 4.12.6.

NOTE Un fil ou câble blindé peut être nécessaire pour répondre aux exigences de CEM.

4.12 Enveloppes**4.12.1 Généralités**

Les exigences suivantes complètent les exigences relatives aux *enveloppes* données dans d'autres paragraphes concernant des dangers particuliers, par exemple le danger de chocs électriques en 4.4, le danger d'incendie en 4.6 et les exigences mécaniques en 4.7.

Les *enveloppes* doivent être adaptées à une utilisation dans leur environnement prévu. Le fabricant doit spécifier l'environnement prévu (voir 6.3.3) et le degré IP de l'*enveloppe* (voir 5.2.2.3 pour les essais).

Les *enveloppes* doivent avoir une résistance mécanique appropriée et doivent être construites de façon à éviter tout danger lorsqu'elles sont manipulées dans les conditions qui peuvent être attendues.

Les essais de résistance mécanique ne sont pas exigés sur une barrière interne, un écran interne ou un dispositif analogue, prévu pour satisfaire aux exigences du 4.6.3, si l'*enveloppe* assure la protection mécanique.

Une *enveloppe* doit être suffisamment complète pour contenir ou détourner des parties qui, à cause d'une défaillance ou pour toute autre raison, pourraient se relâcher, se séparer ou être projetées à partir d'une partie mobile.

La conformité doit être vérifiée par les essais applicables du 5.2.2.4, du 5.2.2.5, du 5.2.2.6 et du 5.2.2.7 comme cela est spécifié. Si une *enveloppe* métallique satisfait à l'exigence d'épaisseur applicable du 4.12.3 ou du 4.12.4, l'essai décrit en 5.2.2.4.2 peut être ignoré.

Pour les *PECS de type ouvert*, les essais du 5.2.2.4 au 5.2.2.7 ne sont pas exigés.

4.12.2 Poignées et organes de commande manuels

Les poignées, les boutons, les manettes, les leviers et les organes analogues doivent être fixés de façon sûre de sorte qu'ils ne se desserrent pas en usage prévu si cela peut créer un danger. Les matières de remplissage et les matières analogues autres que les résines qui durcissent à l'air ne doivent pas être utilisées pour éviter le desserrage. Si les poignées, les boutons et les organes analogues sont utilisés pour indiquer la position des interrupteurs ou de *composants* analogues, il ne doit pas être possible de les monter dans une position incorrecte si cela peut créer un danger.

La conformité doit être vérifiée par *inspection visuelle* à 5.2.1 et, le cas échéant, par les essais décrits en 5.2.2.7.

4.12.3 Métaux coulés

Au niveau des trous taraudés pour conduit, une épaisseur minimale de 6,4 mm est exigée pour tous les matériaux du 4.12.3.

L'épaisseur des métaux coulés sous pression doit être:

- d'au moins 2,0 mm pour une surface supérieure à 155 cm² ou dont l'une des dimensions est supérieure à 150 mm; et
- d'au moins 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 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; et
- 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 exige une épaisseur minimale de 6,4 mm.

4.12.4 Tôle

L'épaisseur d'une *enceinte* métallique aux points où le *système* de câblage doit être raccordé ne doit pas être inférieure à

- 0,8 mm pour les métaux ferreux non revêtus; et
- 1,2 mm pour les métaux non ferreux.

L'épaisseur de base des métaux ferreux revêtus doit être d'au moins 0,8 mm.

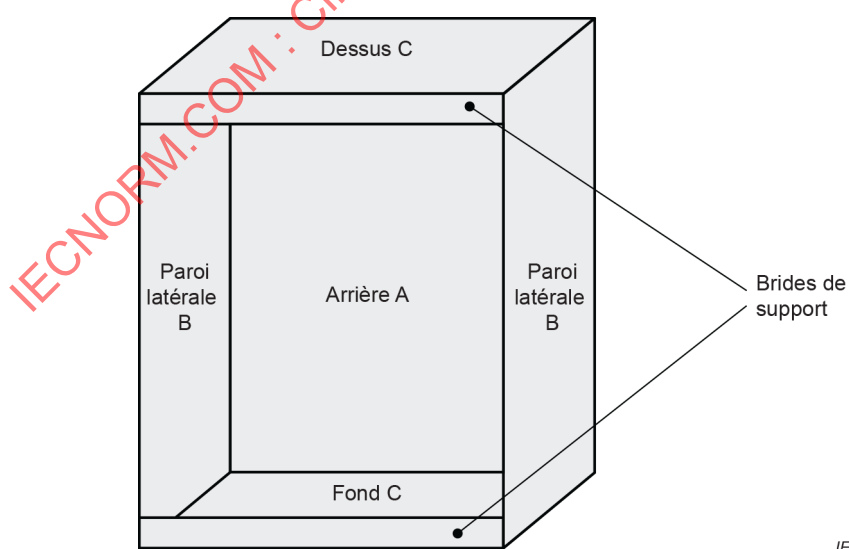
L'épaisseur de l'*enveloppe* en des points autres que ceux où doit être raccordé le *système* de câblage ne doit pas être inférieure à celle spécifiée dans le Tableau 20 ou dans le Tableau 21.

En ce qui concerne le Tableau 20 ou le Tableau 21, un châssis support est une structure de tôle à profil angulaire, en U ou replié, fixée et qui a 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 équipée d'un châssis qui comporte des angles ou des profilés en U dispose d'un renfort équivalent.

Les constructions qui ne comportent pas de châssis incluent

- 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; ou
- les surfaces d'*enveloppes* dont l'un des bords ne repose pas sur le châssis.

Voir Figure 14 pour les surfaces d'*enveloppe* avec et sans châssis support.



IEC

Figure 14 – Parties d'*enveloppe* avec et sans châssis support

Chaque surface d'*enveloppe* est évaluée individuellement à partir des dimensions de longueur et de largeur. Pour chaque ensemble de dimensions de surface, A, B ou C, la largeur représente la plus petite dimension indépendamment de son orientation par rapport aux autres surfaces. Le Tableau 20 et le Tableau 21 comprennent deux ensembles de dimensions qui correspondent à une seule exigence d'épaisseur de métal. La description suivante concerne la procédure applicable qui permet de déterminer l'épaisseur minimale de métal pour chaque surface.

Pour une surface avec châssis support, toutes les dimensions du tableau, y compris les longueurs "non limitées", peuvent s'appliquer. La surface arrière A et les surfaces de dessus et de fond C, comportent un châssis support constitué soit par les surfaces adjacentes de l'*enveloppe* ou par une bride de 12,7 mm (1/2 pouce) de large. Afin de déterminer l'épaisseur de métal exigée pour les surfaces avec châssis support, la largeur doit être mesurée et comparée à la valeur du tableau dans la colonne "largeur maximale" qui est égale ou supérieure à la largeur mesurée. Lorsque la longueur correspondante dans la colonne "Longueur maximale" est "Non limitée", l'épaisseur minimale indiquée dans la colonne la plus à droite doit être utilisée. Lorsque la longueur correspondante dans la colonne "Longueur maximale" est une valeur numérique et que la longueur mesurée de la paroi latérale ne dépasse pas cette valeur, l'épaisseur minimale indiquée dans la colonne la plus à droite doit être utilisée. Lorsque la longueur mesurée de la paroi latérale dépasse la valeur numérique, la ligne suivante dans le Tableau 20 et le Tableau 21 doit être utilisée.

Pour une surface sans châssis support, seules les dimensions du tableau qui comportent une exigence de longueur particulière sont appliquées. Les dimensions données dans une longueur "Non limitée" ne s'appliquent pas. Les bords avant des surfaces de gauche et de droite B ne comportent pas de châssis support constitué par une surface adjacente ou par une bride. Afin de déterminer l'épaisseur de métal exigée pour les surfaces sans châssis support, la longueur doit être mesurée et comparée à la valeur du tableau dans la colonne "Longueur maximale" qui n'est pas inférieure à la longueur mesurée, sans tenir compte des entrées "non limitées". Lorsque la largeur correspondante dans la colonne "Largeur maximale" n'est pas inférieure à la largeur mesurée, l'épaisseur minimale indiquée dans la colonne la plus à droite doit être utilisée. Lorsque la largeur mesurée de la surface dépasse la valeur dans la colonne "Largeur maximale", la ligne suivante dans le Tableau 20 et le Tableau 21 doit être utilisée.

IECNORM.COM : Click to buy the full document IEC 62477-1:2022

**Tableau 20 – Epaisseur des tôles d'enveloppes:
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 4.12.4.

^b La largeur représente la plus petite cote d'une pièce rectangulaire en tôle qui fait partie d'une *enveloppe*. Les surfaces adjacentes d'une *enveloppe* peuvent avoir des supports communs et n'être constituées que d'une seule feuille de tôle.

^c "Non limitée" ne s'applique que si la surface possède un bord tombé d'au moins 12,7 mm ou lorsqu'elle est fixée aux surfaces adjacentes qui ne sont normalement pas démontées en cours d'utilisation.

^d Il convient que l'épaisseur de la tôle d'une *enveloppe* destinée à un usage en extérieur ne soit pas inférieure à 0,86 mm.

**Tableau 21 – Epaisseur des tôles d'enveloppes:
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 4.12.4.

^b La largeur représente la plus petite cote d'une pièce rectangulaire en tôle qui fait partie d'une *enveloppe*. Les surfaces adjacentes d'une *enveloppe* peuvent avoir des supports communs et n'être constituées que d'une seule feuille de tôle.

^c "Non limitée" ne s'applique que si la surface possède un bord tombé d'au moins 12,7 mm ou lorsqu'elle est fixée aux surfaces adjacentes qui ne sont normalement pas démontées en cours d'utilisation.

^d Il convient que l'épaisseur des parois en aluminium, cuivre ou laiton d'une *enveloppe* destinée à un usage en extérieur ne soit pas inférieure à 0,74 mm.

4.12.5 Exigence de stabilité pour enveloppe

Dans les conditions d'utilisation prévues, les *PECS* à poser sur le sol sans fixation ou autres *PECS* ne doivent pas devenir mécaniquement instables au point d'être susceptibles de présenter un danger pendant la mise en service.

Lorsque des *PECS* sont prévus pour être attachés l'un à l'autre sur le site et non pour être utilisés individuellement, la stabilité des *PECS* individuels est exemptée des exigences du 4.12.5.

Les exigences du 4.12.5 ne s'appliquent pas lorsque la documentation spécifie que le *PECS* doit être fixé à la structure du bâtiment avant la mise en fonctionnement.

Lorsque des moyens de stabilisation sont nécessaires dans le cadre d'opérations réalisées par une *personne ordinaire*, ils doivent automatiquement fonctionner lors de l'ouverture des portes, des tiroirs, etc.

Pendant les interventions des *personnes qualifiées*, les moyens de stabilisation, s'ils sont nécessaires, doivent fonctionner automatiquement, ou alors un marquage doit être fourni pour indiquer à la *personne qualifiée* de déployer ces moyens de stabilisation.

La conformité est vérifiée par l'essai décrit en 5.2.2.5.

Pour le marquage, voir 6.3.4.

4.12.6 Support d'attache

Lorsqu'un câble ou cordon flexible externe est raccordé au *PECS*, un support d'attache doit être fourni pour protéger les conducteurs du cordon ou du câble des contraintes, y compris les torsions. Le support d'attache doit également protéger l'*isolation* des conducteurs de l'abrasion.

Le *conducteur de mise à la terre de protection*, le cas échéant, doit être la connexion la plus robuste et être le dernier à se détacher sous l'effet d'une déformation excessive.

Les supports d'attache doivent satisfaire aux exigences suivantes:

- a) le cordon ne doit pas être fixé par une vis qui exerce une pression directe sur le cordon;
- b) aucun nœud de cordon ne doit être utilisé comme support d'attache;
- c) le cordon ne doit pas être endommagé lorsqu'il est soumis à un couple correspondant à la valeur et à la durée indiquées dans le Tableau 25, le plus près possible de l'extrémité externe du support d'attache du cordon ou du manchon;
- d) les bords des étriers et guides fils, métalliques ou non, doivent être lisses et arrondis afin de prévenir toute défaillance de l'*isolation*;
- e) dans les *zones d'accès général*, il ne doit pas être possible de desserrer le support d'attache du cordon sans utiliser d'outil.

Un presse-étoupe ne doit pas être utilisé comme support d'attache, sauf si la spécification de son fabricant indique qu'il convient comme support d'attache.

La conformité est démontrée par *inspection visuelle* à 5.2.1 et par l'essai décrit en 5.2.2.8.

4.12.7 Relâchement des contraintes des enveloppes polymères

Les *enveloppes* réalisées en matières plastiques thermomoulées ou thermoformées doivent être construites de façon que toute contraction ou déformation du matériau due au relâchement des contraintes internes entraînées par les opérations de moulage ou de formage ne risque pas de provoquer l'exposition de parties dangereuses ou de réduire les *lignes de fuite* ou les *distances d'isolement* au-dessous des valeurs minimales exigées.

La conformité doit être vérifiée selon 5.2.2.4.5.

4.12.8 Résistance au rayonnement UV des enveloppes polymères

Les parties polymères d'une *enveloppe* extérieure exposée aux ultraviolets (UV) doivent être suffisamment résistantes à la dégradation par rayonnement UV.

La conformité est vérifiée par *inspection visuelle* à 5.2.1 de la construction et soit

- au moyen des données disponibles concernant les caractéristiques de résistance aux UV du matériau de l'*enveloppe* et de tout revêtement protecteur associé; soit
- par essai selon 5.2.5.9.

Pour le marquage, voir 6.3.3.

4.13 Composants

4.13.1 Généralités

En conditions normales de fonctionnement, les *composants* identifiés en 4.2 et en 4.4.7.1.8 doivent être utilisés selon leurs caractéristiques assignées spécifiées et être adaptés aux conditions environnementales et électriques lorsque le *composant* est situé dans le *PECS*, et

- a) être conformes à la norme de sécurité de *composant* applicable; ou
- b) en l'absence de norme de sécurité de *composant* applicable, doivent être soumis à toutes les exigences de conception applicables du présent document.

Toutes les exigences d'essais applicables du présent document s'appliquent.

Les *composants* évalués selon b) ci-dessus doivent être soumis à des *essais sur prélèvement* qui comprennent, entre autres, une inspection, des essais et un examen des matériaux afin de déterminer la conformité continue aux exigences de sécurité du présent document.

NOTE 1 Une norme de sécurité de *composant* n'est considérée comme applicable que si le *composant* en question relève du domaine d'application de la norme de sécurité de *composant*.

La norme de sécurité de *composant* applicable est considérée comme étant soit

- 1) la norme de sécurité de *composant* IEC applicable; soit
- 2) une norme de sécurité de *composant* non IEC publiée par un organisme national, international ou reconnu par l'industrie pour l'élaboration de normes.

NOTE 2 La Bibliographie fournit une liste informative de normes de sécurité de *composant* applicables.

La conformité est vérifiée par *inspection visuelle* à 5.2.1 et par des essais.

4.13.2 Thermistances à PTC

NOTE 1 Tiré des exigences de l'IEC 62368-1:2018.

Les thermistances à PTC utilisées pour des sources à puissance limitée selon 4.6.5 doivent être conformes à l'IEC 60730-1:2013 et agir conformément à l'IEC 60730-1:2013/AMD2:2020, Article 15, Article 17, Article J.15, Article J.17, Type 2.A.L.

Pour les thermistances à PTC dont la dissipation de puissance continue qui apparaît à la tension maximale et à une température ambiante de 25 °C ou d'une autre manière spécifiée par le fabricant pour l'état déclenché, déterminée selon 3.38 de l'IEC 60738-1:2009, dépasse 15 W et d'une taille de 1 750 mm³ ou plus, l'encapsulation ou la tuyauterie doit être réalisée dans un matériau de classe V-1 ou meilleure.

NOTE 2 L'état déclenché désigne l'état dans lequel les thermistances à PTC passent à une condition de résistance élevée à une température donnée.

4.13.3 Cordons d'alimentation réseau

Les exigences sont indiquées en 4.11.9.2.

4.13.4 Condensateurs et unités RC qui pontent l'isolation

Les condensateurs et unités RC destinés à supprimer les interférences électromagnétiques, qui servent d'*isolation (électrique)* et qui sont connectés au *réseau* ou à une *alimentation non raccordée directement au réseau* doivent être conformes à l'IEC 60384-14:2013.

Les unités RC et les filtres CEM peuvent être constitués de *composants* discrets. Voir l'IEC 60384-14:2013, Tableau 1 et Tableau 2, et l'IEC 60940:2015, 7.1, pour la substitution de condensateurs de classe Y.

Les condensateurs autres que ceux mentionnés ci-dessus doivent être conformes aux normes IEC applicables en fonction de la construction, du type de support diélectrique, de connexion et d'application.

Il n'est pas nécessaire que les condensateurs et unités RC utilisés pour ponter l'*isolation* fonctionnelle satisfassent aux exigences ci-dessus, lorsqu'ils sont évalués conformément au 4.2 pour des *conditions de premier défaut*.

4.13.5 Composants bobinés

L'*isolation* des fils au moyen d'émail ou de vernis ne doit pas être utilisée pour une *isolation principale*, une *isolation supplémentaire*, une *double isolation* ou une *isolation renforcée*.

Les *composants* bobinés doivent satisfaire aux exigences du 4.4.7.8.1, du 4.4.7.8.3 et du 4.4.7.10.

Un fil de bobinage isolé dont l'*isolation* peut être utilisée pour fournir une *isolation principale*, une *isolation supplémentaire*, une *double isolation* ou une *isolation renforcée* dans des *composants* bobinés doit être conforme aux exigences de l'IEC 61558-1:2017, 19.12.3, ou aux exigences de l'IEC 61204-7:2016, 4.4.7.8.5.100.

NOTE Pour la définition de "fil de bobinage isolé", voir l'IEC 61558-1:2017, 3.4.8.

4.13.6 Prises de courant

Les exigences sont indiquées en 4.11.7.

4.14 Protection contre les champs électromagnétiques

Pour plus d'informations, voir l'Annexe P.

5 Exigences d'essai

5.1 Généralités

5.1.1 Objectifs et classification des essais

Lorsque cela est exigé par l'Article 4, les essais définis dans le présent Article 5 sont nécessaires pour démontrer que le *PECS* est entièrement conforme aux exigences du présent document.

Les paragraphes du présent Article 5 décrivent les procédures à adopter pour les essais propres au *PECS*. Les essais sont classés comme suit:

- *essais de type*;
- *essais individuels de série*;
- *essais sur prélèvement*.

Les valeurs spécifiques spécifiées ailleurs dans le présent document sont des valeurs nominales.

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. Voir 5.1.5.3 pour les valeurs d'environnement d'essai générales.

AVERTISSEMENT – Ces essais peuvent créer des situations dangereuses. 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 peut ne pas être nécessaire de soumettre à l'essai tous les modèles de la gamme. Il convient d'effectuer chaque essai sur un ou plusieurs modèles, y compris les *accessoires* spécifiés, avec des caractéristiques mécaniques et électriques qui représentent de façon adéquate toute la gamme pour cet essai particulier.

NOTE Par exemple, les essais réalisés sur des *enveloppes* constituées du même matériau, mais de différentes tailles peuvent être représentés par une seule *enveloppe*, mais les essais réalisés sur des *composants* de puissance qui n'ont pas les mêmes caractéristiques assignées ne peuvent souvent pas être représentés par des essais sur un modèle 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 de *PECS*. Toutefois, les critères de réussite de certains essais exigent qu'ils soient suivis par un ou plusieurs essais supplémentaires.

5.1.4 Conditions de mise à la terre

Les exigences d'essai 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:

- phase reliée à la terre;
- neutre relié à la terre;
- neutre relié à la terre par une forte impédance; ou
- isolé (non mis à la terre).

5.1.5 Conditions générales d'essai

5.1.5.1 Application des essais

Sauf indication contraire, il n'est pas nécessaire que le *PECS* soit en état de fonctionner à l'issue des essais.

5.1.5.2 Échantillons d'essai

Sauf indication contraire, l'échantillon ou les échantillons à l'essai doivent être représentatifs du *PECS* reçu par l'utilisateur, ou doivent être le véritable *PECS* prêt à être expédié à l'utilisateur.

Comme variante à l'exécution des essais sur le *PECS* complet, des essais peuvent être effectués séparément sur des circuits, des *composants* ou des sous-ensembles à l'extérieur du *PECS*, à condition qu'une *inspection visuelle* à 5.2.1 du *PECS* et des dispositions des circuits montre que le résultat de tels essais sera représentatif des résultats de l'essai du *PECS* assemblé. Si l'un de ces essais montre qu'il y a une possibilité de non-conformité dans le *PECS* complet, l'essai doit être répété sur le *PECS* complet.

Dans le présent document, lorsque la conformité des matériaux, des *composants* ou des sous-ensembles est vérifiée par *inspection visuelle* à 5.2.1 ou par essai des propriétés, il est admis de confirmer la conformité par l'examen de toute donnée applicable ou des résultats de l'essai précédent disponibles, au lieu d'effectuer les *essais de type* spécifiés. Voir également 4.1.

5.1.5.3 Paramètres de fonctionnement pour les essais

Les conditions d'essai du Tableau 22 s'appliquent.

Tableau 22 – Conditions environnementales des essais

Température °C	Humidité relative %	Pression de l'air kPa
15 à 35	25 à 75	86 à 106
Source: IEC 60068-1:2013, Tableau 2.		
NOTE Si les conditions ci-dessus ne sont pas réalisables, les essais peuvent être effectués dans la plage assignée des conditions climatiques du <i>PECS</i> .		

A moins que des conditions particulières d'essai ne soient indiquées ailleurs dans le présent document, et lorsqu'il est clair que cela a un impact significatif sur les résultats de l'essai, les essais doivent être effectués suivant la combinaison la plus défavorable des paramètres suivants, dans les limites des spécifications de fonctionnement du fabricant:

- tension d'alimentation;
- fréquence d'alimentation;
- température de fonctionnement en tenant compte des caractéristiques de déclassement et de contrôle du refroidissement;
- emplacement physique du matériel et position des parties mobiles;
- mode de fonctionnement;
- conditions de charge;
- réglage des thermostats, des dispositifs de régulation ou des dispositifs de commande similaires situés dans des *zones d'accès limité*.

En déterminant la fréquence la plus défavorable pour l'alimentation d'un *PECS* à l'essai, différentes fréquences assignées à l'intérieur de la plage assignée de fréquences doivent être prises en compte (par exemple 50 Hz et 60 Hz), mais il n'est normalement pas nécessaire de prendre en considération la tolérance sur une fréquence assignée (par exemple 50 Hz $\pm$ 0,5 Hz).

5.1.5.4 Montage

Chaque *PECS* doit être monté, connecté et mis en service comme cela est décrit dans la documentation du fabricant. Lorsque la documentation spécifie plusieurs positions de montage, une analyse doit être réalisée pour déterminer la ou les positions de montage qui entraînent les conditions d'essai les plus défavorables.

5.1.5.5 Essais représentatifs

Une analyse peut être utilisée pour réduire le nombre d'essais s'il est démontré que les résultats d'une combinaison sont représentatifs des résultats d'une autre combinaison.

5.1.6 Conformité

La conformité au présent document doit être vérifiée en effectuant les essais appropriés spécifiés dans le présent Article 5. La conformité aux exigences de construction et aux informations qui doivent être fournies par le fabricant doit être vérifiée par un examen, une *inspection visuelle* à 5.2.1 et/ou des mesures appropriées.

La conformité ne peut être affirmée que lorsque tous les essais appropriés donnent des résultats satisfaisants.

Les instruments de mesure doivent avoir une influence négligeable sur les résultats d'essai.

NOTE Si la tension est vérifiée par essai, une impédance d'entrée supérieure ou égale à 100 MΩ, parallèlement à une capacité d'entrée inférieure ou égale à 25 pF est considérée comme appropriée.

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 convient d'identifier le produit modifié, par exemple en utilisant un code de date ou un numéro de série adapté, comme cela est décrit en 6.5.1.

5.1.7 Vue d'ensemble des essais

Tableau 23 donne une vue d'ensemble de l'*essai de type*, de l'*essai individuel de série* et de l'*essai sur prélèvement des composants* électroniques et des *PECS*.

Tableau 23 – Vue d'ensemble des essais

Essai	de type	individuel de série	sur prélèvement	Exigence(s)	Spécification
Inspection visuelle	X	X			5.2.1
Essais mécaniques					5.2.2
Essai des <i>distances d'isolement</i> et <i>lignes de fuite</i>	X			4.4.7.1, 4.4.7.5	5.2.2.1
Essai de non-accessibilité	X			4.4.3.3, 4.5.1.1, 4.6.3.3.2	5.2.2.2
Essai de protection contre la pénétration (classification IP)	X			4.12.1	5.2.2.3
Essai d'intégrité de l' <i>enveloppe</i>	X			4.12.1	5.2.2.4
Essai de flexion	X			4.4.7.4.5, 4.12.1	5.2.2.4.2
Essai de force constante, 30 N	X			4.4.7.4.5, 4.12.1	5.2.2.4.2.2
Essai de force constante, 250 N	X			4.4.7.4.5, 4.12.1	5.2.2.4.2.3
Essai de choc	X			4.12.1	5.2.2.4.3
Essai de chute	X			4.12.1	5.2.2.4.4
Essai de déformation par réduction des contraintes de moulage	X			4.12.7	5.2.2.4.5
Essai de stabilité	X			4.12.1	5.2.2.5
Essai des <i>PECS</i> fixés au mur ou au plafond	X			4.12.1	5.2.2.6
Essai de fixation des poignées et organes de contrôle manuels	X			4.12.2	5.2.2.7
Essai de relâchement des contraintes	X			4.12.6, 4.11.9.2.1.2	5.2.2.8
Essais électriques				4.4.7.10	5.2.3
Essai de <i>tension de tenue aux chocs</i>	X		X	4.4.3.2, 4.4.5.5, 4.4.7.1, 4.4.7.10.2, 4.4.7.10.3, 4.4.7.8.3	5.2.3.2
Essai de tension alternative ou continue	X	X		4.4.3.2, 4.4.5.5, 4.4.7.1, 4.4.7.10.2, 4.4.7.10.3, 4.4.7.8.4.3	5.2.3.4
Essai de décharge partielle	X		X	4.4.7.1, 4.4.7.10.3, 4.4.7.8.3	5.2.3.5

Essai	de type	individuel de série	sur prélèvement	Exigence(s)	Spécification
Essai d'impédance de protection	X	X		4.4.5.5	5.2.3.6
Essai de courant de contact	X			4.4.4.3.3.1	5.2.3.7.2
Essai de courant de fuite	X			4.4.4.3.3.4	5.2.3.7.3
Essai de décharge des condensateurs	X			4.4.9	5.2.3.8
Essai de source à puissance limitée	X			4.5.1.2, 4.6.5	5.2.3.9
Essai d'échauffement	X			4.6.4	5.2.3.10
Essai de liaison équipotentielle de protection	X	X		4.4.4.2.2	5.2.3.11
Essai d'entrée	X			6.2.1.3	5.2.3.12
Procédure d'essai normalisée pour matériaux pelliculés non séparables	X			4.4.7.8.3	5.2.3.13.2
Essai sur mandrin	X			4.4.7.8.3	5.2.3.13.3
Détermination de la tension de fonctionnement	X			4.4.7.1.2	5.2.3.14
Essai de surveillance des SPD internes	X			4.4.7.2.2	5.2.3.15
Champ électromagnétique	X			4.14	5.2.8
Essais de fonctionnement anormal				4.2	5.2.4
Essai de tenue au court-circuit de la liaison équipotentielle de protection	X			5.2.3.11.2.1	5.2.4.3
Essai de court-circuit en sortie	X			4.3	5.2.4.4
Essai de tenue au courant de courte durée admissible (I_{cw})	X			4.3.2.3	5.2.4.4.3.2
Essai de surcharge en sortie	X			4.3	5.2.4.5
Essai de défaillance de composants	X			4.2	5.2.4.6
Essai de court-circuit des matériaux	X			4.4.7.7	5.2.4.7
Essai de perte de phase	X			4.2	5.2.4.8
Essai de défaillance du système de refroidissement	X			4.2, 4.7.2.2.5	5.2.4.9
Essai de ventilateur inopérant	X			4.2	5.2.4.9.2
Essai de filtre colmaté	X			4.2	5.2.4.9.3
Essai de perte de liquide de refroidissement	X			4.7.2.2.5	5.2.4.9.4
Essai de couverture des ouvertures pour l'air de refroidissement	X			4.2	5.2.4.9.5
Essais des matériaux					5.2.5
Essai d'allumage d'un arc à forte intensité	X			4.4.7.8.2	5.2.5.2
Essai au fil incandescent	X			4.4.7.8.2	5.2.5.3
Essai d'inflammation au fil chaud	X			4.4.7.8.2	5.2.5.4
Essai d'inflammabilité	X			4.6.3	5.2.5.5

Essai	de type	individuel de série	sur prélèvement	Exigence(s)	Spécification
Essai à l'huile chaude enflammée	X			4.6.3.3.3	5.2.5.6
Essai des joints scellés	X			4.4.7.9	5.2.5.7
Essai de durabilité du marquage	X			6.4.3.1	5.2.5.8
Essai de résistance aux UV	X			4.12.8	5.2.5.9
Procédure d'essai pour matériau pelliculé	X			4.4.7.8.3	5.2.3.13
Conditionnement préalable du matériau	X			4.4.7.8.4.2, 4.4.7.8.4.3, 4.4.7.9	5.2.3.16
Essais d'environnement	X			4.9	5.2.6
Essai de chaleur sèche	X			4.9	5.2.6.3.1
Essai de chaleur humide	X			4.9	5.2.6.3.2
Essai de vibration	X			4.9	5.2.6.4
Essai au brouillard salin	X			4.9	5.2.6.5
Essai de poussière et de sable	X			4.9	5.2.6.6
Essai de pression hydrostatique	X	X		4.7.2.2.3	5.2.7

5.2 Spécifications des essais

5.2.1 Inspection visuelle (essai de type 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, et
- dans le cadre d'*essais de type*, afin de vérifier:
 - les mesures de conception et les fiches techniques appropriées spécifiées du 4.3 au 4.14;
 - les critères d'acceptation des essais individuels selon 5.2.2 à 5.2.7;
 - les exigences relatives aux informations et au marquage spécifiées du 6.2 au 6.5.

Les *inspections visuelles* individuelles de série peuvent faire partie du processus de production ou d'assemblage.

5.2.2 Essais mécaniques

5.2.2.1 Essai des *distances d'isolement* et *lignes de fuite* (essai de type)

La conformité des *distances d'isolement* et des *lignes de fuite* au 4.4.7.4 et au 4.4.7.5 doit être vérifiée par mesures ou *inspection visuelle* à 5.2.1. Voir l'Annexe D pour des exemples de mesures.

Dans les situations suivantes, l'essai de *tension de tenue aux chocs* décrit en 5.2.3.2 doit être effectué aussi près que possible de la distance à l'étude:

- lorsque ce mesurage ou cette *inspection visuelle* à 5.2.1 est impossible à réaliser, mais que la documentation de construction démontre la conformité aux exigences du 4.4.7.4 et du 4.4.7.5; et
- lorsque la *distance d'isolement* est prévue pour des conditions de champs homogènes conformément au 4.4.7.4.4.

5.2.2.2 Essai de non-accessibilité (*essai de type*)

Cet essai de non-accessibilité est destiné à montrer que les *parties actives dangereuses* ou les parties mobiles dangereuses (par exemple des pales de ventilateur) sont protégées par des *enveloppes* ou des barrières conformes au 4.4.3.3 et au 4.7.3.

Cet essai doit être effectué comme un *essai de type* de l'*enveloppe* d'un PECS, tel que spécifié dans l'IEC 60529 pour la classification de l'*enveloppe* dans le cadre d'une protection contre l'accès aux parties dangereuses, à l'exception de ce qui suit.

Essai 1 (protection contre un accès au doigt, IP2X, IPXXB):

Lorsque le doigt d'essai articulé selon la Figure M.2 est inséré dans une ouverture d'une *enveloppe* ou d'une barrière avec une force de $10\text{ N} \pm 10\%$ et plié dans une direction quelconque:

- le doigt d'essai ne doit pas toucher les parties mobiles dangereuses (voir 4.7.3.2);
- une distance adéquate doit être maintenue par rapport aux *parties actives dangereuses* (voir 4.4.3.3); et
- le doigt d'essai ne doit pas ponter les parties entre lesquelles il existe une énergie électrique dangereuse (voir 4.5.1).

Essai 2 (protection contre les corps étrangers solides, IP2X):

Lorsque le diamètre total de la sphère de 12,5 mm selon la Figure M.4 est inséré dans une ouverture avec une force de $30\text{ N} \pm 10\%$, le calibre ne doit pas traverser complètement les ouvertures (voir 4.4.3.3).

Essai 3 (Protection contre l'accès du dos de la main, IPXXA):

Lorsque le calibre d'essai de 50 mm selon la Figure M.1 est utilisé pour démontrer la protection contre le contact involontaire lorsque l'*enveloppe* est prévue pour être ouverte par des *personnes qualifiées* et que le PECS est sous tension pendant l'installation ou la maintenance,

- le calibre d'essai ne doit pas traverser complètement les ouvertures (voir 4.4.3.3),
- le calibre d'essai ne doit pas entrer en contact avec des parties mobiles dangereuses (voir 4.7.3.2), et
- une distance adéquate doit être maintenue par rapport aux *parties actives dangereuses* (voir 4.4.3.3).

Essai 4 (protection contre l'accès à des parties dangereuses avec un outil, IP3X, surface supérieure):

Lorsque la tige d'essai de 2,5 mm conformément à la Figure M.3 est insérée dans la surface supérieure d'une *enveloppe* ou d'une barrière dans le sens vertical, limité à $\pm 5^\circ$, avec une force de $3\text{ N} \pm 10\%$, une distance adéquate par rapport aux *parties actives dangereuses* doit être maintenue (voir 4.4.3.3 ou 4.6.3.3.2).

Pour la conformité, voir 5.2.2.1 et Tableau A.1 en tenant compte du calibre d'essai approprié.

Les calibres d'essai de l'IEC 61032:1997 doivent s'appliquer et sont reproduits à l'Annexe M.

5.2.2.3 Essai de protection contre la pénétration (classification IP) (*essai de type*)

5.2.2.3.1 Généralités

Comme cela est exigé en 4.12.1, la classification IP assignée de l'*enveloppe* doit être vérifiée. Cet essai doit être effectué comme un *essai de type de l'enveloppe* d'un PECS tel que spécifié dans l'IEC 60529:1989, l'IEC 60529:1989/AMD1:1999 et l'IEC 60529:1989/AMD2:2013 pour la classification de l'*enveloppe*.

Conjointement avec l'IEC 60529:1989, 11.2, les exigences suivantes s'appliquent.

- a) Un échantillon représentatif doit être soumis à l'essai.
- b) L'*enveloppe* doit être montée pour l'essai comme cela est indiqué en 5.1.5.4.
- c) Les essais peuvent être effectués avec une *enveloppe* vide ou une *enveloppe* qui ne contient pas toutes les parties incluses dans le produit complet s'il peut être prouvé que la suppression de ces parties n'a pas d'incidence sur les résultats de l'essai. Le fabricant est tenu de fournir la preuve que la pénétration d'eau ou de poussière ne constitue pas une violation des critères d'acceptation de l'essai de chiffre caractéristique IP pertinent.
- d) Pour les *enveloppes* de grande taille dont le volume est supérieur à 2 m³, si une *enveloppe* est constituée de plusieurs coutures identiques (un joint entre deux ou plusieurs parties) avec des motifs de fixation similaires, il est admis de soumettre à l'essai un seul joint représentatif. Cela comprendrait les portes, panneaux, éléments disjoints pour le transport, panneaux d'accès ou toute structure mécanique de l'*enveloppe* qui constitue un point de pénétration potentiel où la construction est dupliquée plusieurs fois dans la même *enveloppe*.
- e) Les *enveloppes* doivent être soumises à l'essai dans les conditions applicables:
 - sous tension;
 - hors tension;
 - parties mobiles en mouvement; et
 - parties mobiles immobiles.

Une analyse peut être utilisée pour démontrer qu'une ou plusieurs parties de ces exigences peuvent être omises si les conditions d'essai les plus défavorables sont atteintes sans ces conditions d'essai.

Une peinture ou une colle qui change de couleur lorsqu'elle est exposée à l'eau, permettant de suivre une voie d'eau ou d'installer des équipements vidéo à l'intérieur de l'*enveloppe*, est admise. Il peut exister d'autres méthodes acceptables qui ne sont pas mentionnées. Il incombe au fabricant de s'assurer que l'enlèvement de tout matériel d'essai satisfait aux exigences de conformité.

Les méthodes d'essai décrites dans l'IEC 60529:1989, Figure 4 et Figure 5, sont admises lors des essais IPX3 et IPX4, comme cela est indiqué en 14.2.3 et 14.2.4 de l'IEC 60529:1989.

Pour les critères d'acceptation, voir 5.2.2.3.4.

L'essai d'eau pulvérisée décrit en 5.2.2.3.2 peut être utilisé à la place d'un essai de poussière pour les classifications IP5X et IP6X si l'*enveloppe* est de catégorie 2 en 5.2.2.3.3, sauf pour les ouvertures de ventilation. Il n'est pas acceptable de soumettre à l'essai les ouvertures de ventilation avec la méthode alternative d'essai d'eau pulvérisée pour les premiers chiffres caractéristiques 5 et 6; toutefois, le joint entre l'ouverture de ventilation et l'enceinte peut être soumis à l'essai par cette méthode.

NOTE L'essai d'eau pulvérisée ne peut pas être utilisé pour déterminer la façon dont la poussière s'accumule à l'intérieur de l'*enveloppe*, ce qui pourrait entraîner des conditions dangereuses. Par conséquent, les exigences plus strictes de la classification IP6X sont imposées. Il est possible qu'avec l'inclusion de filtres, une classification IP5X soit nécessaire pour le matériel en fonction de la qualification du filtre. Voir 4.12.1 pour les exigences de la classification IP.

5.2.2.3.2 Essai d'eau pulvérisée (*essai de type*)

L'*enveloppe* équipée d'un joint doit être soumise à une pulvérisation d'eau à l'aide d'une buse à deux liquides qui produit un motif rond de 75 mm à 100 mm de diamètre mesuré à 300 mm de la buse. La pression de l'air doit être réglée à 200 kPa et le débit doit être réglé à 11,4 l/h.

NOTE 1 L'essai d'eau pulvérisée est extrait de la norme NEMA 250.

NOTE 2 L'essai d'eau pulvérisée peut être utilisé pour soumettre à l'essai l'*enveloppe* complète ou toute configuration qui implique un joint construit comme un sous-ensemble, le joint ne pouvant pas être validé sur le *PECS* final.

La buse doit être maintenue à une distance comprise entre 300 mm et 350 mm du joint de l'*enveloppe* et la pulvérisation de l'eau doit être dirigée une fois vers chacun des points de pénétration potentielle de poussière. Le mouvement le long des points de pénétration de poussière doit se produire à une vitesse approximative de 0,5 cm/s linéaire.

Pour les critères d'acceptation, l'essai doit être considéré comme ayant satisfait aux exigences IP5X ou IP6X si, à la fin de l'essai, il n'y a eu aucune pénétration d'eau dans l'*enveloppe*. Ceci est en conjonction avec 5.2.2.3.3.

Aucun vide n'est appliqué pour cet essai.

5.2.2.3.3 Essai de catégorie 1 ou 2 pour la classification IP5X de l'*enveloppe* (*essai de type*)

Pour prouver que l'*enveloppe* est de catégorie 1 ou 2, l'essai suivant doit être effectué. L'essai est effectué tout en mesurant la pression atmosphérique interne de l'*enveloppe* et la pression atmosphérique juste à l'extérieur de l'*enveloppe*, ainsi que tous les points de données thermiques exigés à l'intérieur de l'*enveloppe*:

- en commençant avec un état INACTIF et toutes les parties à température ambiante; puis
- en faisant fonctionner le *PECS* à pleine charge jusqu'à stabilisation de la température; puis
- en remettant le *PECS* à l'état INACTIF avec toutes les parties à température ambiante.

Pendant l'essai, les trous ou ouvertures doivent

- utiliser des filtres IP5X ou IP6X, ou
- être scellés.

Pendant l'essai, la pression interne de l'*enveloppe* ne doit à aucun moment diminuer à plus de 2 kPa au-dessous de la pression externe. Si ce résultat est atteint, le *PECS* est de catégorie 2 et le fabricant peut suivre les règles de l'IEC 60529:1989, l'IEC 60529:1989/AMD1:1999 et l'IEC 60529:1989/AMD2:2013 pour les *enveloppes* de catégorie 2 pour l'essai de poussière dans la classification IP5X uniquement.

Dans tous les autres cas, le *PECS* est considéré comme étant de catégorie 1 et les règles de l'IEC 60529:1989, l'IEC 60529:1989/AMD1:1999 et l'IEC 60529:1989/AMD2:2013 doivent être suivies pour la catégorie 1 en ce qui concerne l'essai de poussière. Il est dans ce cas nécessaire d'appliquer un vide sur l'*enveloppe* pendant l'essai de poussière.

Si cet essai prouve que le *PECS* est de catégorie 1, la valeur maximale mesurée sous pression par rapport à la pression atmosphérique peut être utilisée comme valeur maximale sous pression de vide pendant cet essai IP5X ou IP6X selon l'IEC 60529:1989, l'IEC 60529:1989/AMD1:1999 et l'IEC 60529:1989/AMD2:2013.

5.2.2.3.4 Critères d'acceptation

Le 5.2.2.3.4 est destiné à être utilisé conjointement avec les critères d'acceptation énumérés dans l'IEC 60529:1989, l'IEC 60529:1989/AMD1:1999 et l'IEC 60529:1989/AMD2:2013.

Pour les deuxièmes chiffres caractéristiques 1 à 6 définis dans l'IEC 60529:1989, IEC 60529:1989/AMD1:1999 et l'IEC 60529:1989/AMD2:2013, si de l'eau est entrée dans l'*enveloppe*, elle ne doit pas

- a) être en quantité suffisante pour gêner le bon fonctionnement du *PECS* ou compromettre la sécurité,
- b) se déposer sur les parties de l'*isolation* où elle pourrait cheminer le long des *lignes de fuite*,
- c) atteindre les *parties actives*,
- d) s'accumuler près de l'extrémité du câble ou pénétrer dans le câble, le cas échéant, et
- e) s'accumuler près de l'entrée ou de la sortie d'un câble.

Toutes les *distances d'isolement* et les *lignes de fuite* entre les *parties actives* et toute accumulation d'eau dans l'*enveloppe* doivent être conformes aux exigences du 4.4.7.4 et du 4.4.7.5.

5.2.2.4 Essai d'intégrité de l'*enveloppe* (essai de type)

5.2.2.4.1 Généralités

Les essais d'intégrité s'appliquent aux *PECS* ainsi qu'aux *PECS* destinés à fonctionner sans *enveloppe* supplémentaire dans des *zones d'accès limité*.

Les essais d'intégrité doivent être effectués sur le point le plus défavorable de la ou des *surfaces accessibles* représentatives de l'*enveloppe*.

A l'issue de l'essai d'intégrité, le *PECS* doit satisfaire aux essais électriques du 5.2.3.2 et du 5.2.3.4 et doit être examiné pour confirmer

- a) l'absence de dégradation de tout *composant* lié à la sécurité du *PECS*,
- b) que les *parties actives dangereuses* ne sont pas devenues *accessibles* (voir 4.4.3.3),
- c) que les *enveloppes* ne présentent pas de fissures ou d'ouvertures susceptibles d'entraîner un danger,
- d) que les *distances d'isolement* ne sont pas inférieures aux valeurs minimales autorisées et que les autres *isolations* sont intactes,
- e) que les *barrières* ne sont pas endommagées ou desserrées, et
- f) qu'aucune partie mobile susceptible d'entraîner un danger n'est exposée.

Il n'est pas nécessaire que le *PECS* soit opérationnel après les essais et l'*enveloppe* peut être tellement déformée que sa classification IP originale n'est pas maintenue.

5.2.2.4.2 Essai de déformation (essai de type)

5.2.2.4.2.1 Généralités

Si cela est exigé par 4.4.7.4.5 ou 4.12.1, l'essai décrit en 5.2.2.4.2.2 et en 5.2.2.4.2.3 s'applique, pour l'*enveloppe* métallique, selon le cas.

L'*enveloppe* doit être solidement maintenue contre un support rigide.

Les essais ne sont pas effectués sur les poignées, leviers, boutons ni sur les couvercles transparents ou translucides des dispositifs indicateurs ou des dispositifs de mesure, à moins

que des *parties actives dangereuses* ne soient *accessibles* au moyen du doigt d'essai de la Figure M.2 si la poignée, le levier, le bouton ou le couvercle est enlevé.

Pendant les essais du 5.2.2.4.2.2 et du 5.2.2.4.2.3, les *enveloppes* conductrices, mises ou non à la terre, doivent

- ne pas réduire la *distance d'isolement* (4.4.7.4) exigée pour l'*isolation principale*; ou
- résister à l'essai de *tension de tenue aux chocs* décrit en 5.2.3.2 pour l'*isolation principale*.

NOTE La déformation de l'*enveloppe* est considérée comme une *condition de premier défaut*.

Les dommages causés à la finition, les petites bosselures et les petits éclats qui n'affectent pas la protection contre les chocs électriques ou l'humidité peuvent être ignorés.

5.2.2.4.2.2 Essai de force constante, 30 N (essai de type)

Les parties d'une *enveloppe* située dans une *zone d'accès limité*, qui sont protégées par un couvercle ou une porte satisfaisant aux exigences du 5.2.2.4.2.3, sont soumises pendant une durée d'au moins 5 s à une force constante de $30\text{ N} \pm 3\text{ N}$, appliquée au moyen d'une version droite et sans articulation du doigt d'essai de la Figure M.2 à la partie sur ou dans le *PECS*.

Pour les critères d'acceptation, voir 5.2.2.4.1.

5.2.2.4.2.3 Essai de force constante, 250 N (essai de type)

Les *enveloppes* externes sont soumises pendant une durée d'au moins 5 s à une force constante de $250\text{ N} \pm 10\text{ N}$ appliquée tour à tour sur le dessus, le fond et les côtés de l'*enveloppe* fixée au *PECS*, au moyen d'un outil d'essai convenable qui assure un contact sur une surface plane circulaire de 30 mm de diamètre. Cependant, cet essai n'est pas applicable au fond d'une *enveloppe* des *PECS* de masse supérieure à 18 kg ou aux surfaces qui sont montées sur un mur.

Pour les surfaces qui ne sont ni horizontales ni verticales, l'essai doit être réalisé en inclinant de manière appropriée le *PECS* de sorte que la surface soit horizontale ou verticale.

Pour les critères d'acceptation, voir 5.2.2.4.1.

5.2.2.4.3 Essai de choc (essai de type)

Les surfaces extérieures polymères des *enveloppes* dont la défaillance est susceptible de donner accès à des parties dangereuses sont soumises à l'essai comme suit.

Un échantillon, constitué de l'*enveloppe* complète ou d'une partie de celle-ci qui représente la plus grande surface non renforcée, est fixé dans sa position normale. Une sphère massive d'acier poli, d'environ 50 mm de diamètre et d'une masse de $500\text{ g} \pm 25\text{ g}$, tombe librement sur l'échantillon d'une hauteur (H) de 1,3 m (voir Figure 15) en partant du repos. Les surfaces verticales sont exemptées de cet essai.

De plus, la sphère d'acier est suspendue par une corde et balancée comme un pendule qui tombe d'une distance verticale (H) de 1,3 m dans le but d'appliquer un choc horizontal (voir Figure 15). Les surfaces horizontales sont exemptées de cet essai.

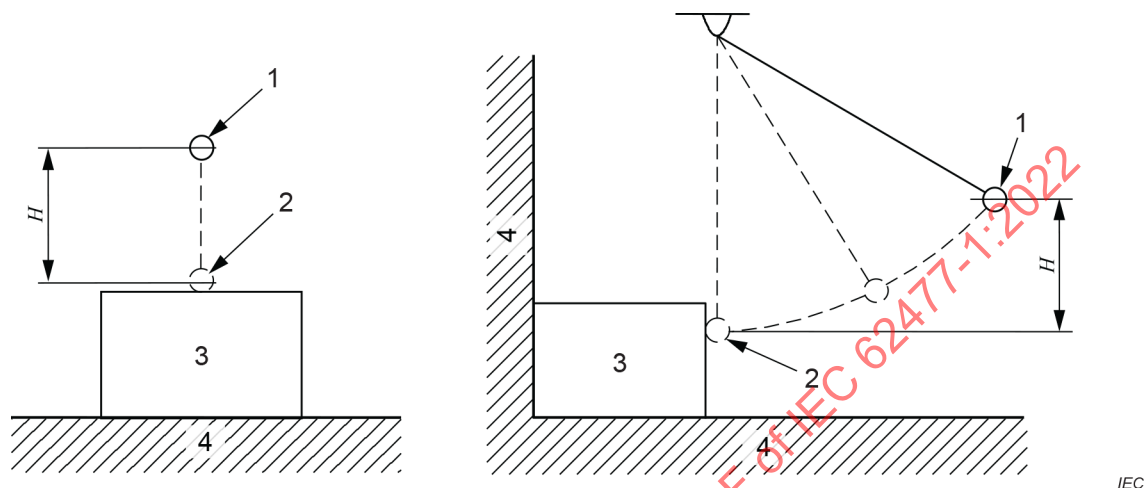
L'échantillon est préconditionné pendant une durée de 3 h à la température la plus basse spécifiée par le fabricant pour le fonctionnement, le stockage ou le transport.

Laisser ensuite l'échantillon atteindre la température de fonctionnement la plus basse spécifiée par le fabricant et maintenir cette température pendant une période de 3 h, puis le soumettre à l'essai immédiatement dans des conditions normales de laboratoire, comme cela est spécifié dans le Tableau 22.

En variante, à moins que l'analyse ne montre aucune influence, l'échantillon est tourné de 90° autour de chacun de ses axes horizontaux et la sphère est lâchée comme dans l'essai de choc vertical.

L'essai n'est pas appliqué aux moniteurs à écran plat ou à la glace du PECS.

Pour les critères d'acceptation, voir 5.2.2.4.1.



Légende

- 1 position de départ de la sphère d'acier
- 2 position d'impact de la sphère d'acier
- 3 échantillon d'essai
- 4 surface de support rigide

Figure 15 – Essai de choc en utilisant la sphère d'acier

5.2.2.4.4 Essai de chute (essai de type)

Un PECS conçu comme un *matériel portatif*, un *matériel enfichable directement* et un *matériel déplaçable* d'une masse égale ou inférieure à 18 kg et qui nécessitent un levage ou une manipulation par une *personne ordinaire* dans le cadre de leur utilisation prévue sont soumis à l'essai suivant.

Un échantillon du PECS complet est soumis à un choc sur chaque position de 3 coins, 3 arêtes et chaque face provoqué par une chute sur une surface horizontale suffisamment rigide.

Les éléments suivants sont considérés comme suffisamment rigides pour l'essai de chute:

- la surface horizontale est constituée d'un bois dur d'au moins 13 mm d'épaisseur, montée sur deux planches de contreplaqué de 19 mm à 20 mm chacune, le tout monté sur un sol en béton ou autre matériau non résilient; ou
- la surface horizontale est constituée d'une planche en bois dur de 50 mm d'épaisseur d'une densité de plus de 700 kg/m³ posée à plat sur une base rigide telle que du béton.

La hauteur de chute doit être de

- 1 000 mm pour le PECS conçu comme un *matériel portatif* et pour le *matériel enfichable directement*; ou
- 750 mm pour le PECS conçu comme un *matériel déplaçable*.

Pour les critères d'acceptation, voir 5.2.2.4.1.

NOTE Les exigences et la sévérité de l'essai sont alignées sur l'IEC 60068-2-31:2008, 5.2 (procédure de chute libre 1), compte tenu du produit non emballé.

5.2.2.4.5 Essai de déformation par réduction des contraintes de moulage (*essai de type*)

Lorsque le 4.12.7 l'exige, la conformité doit être vérifiée par la procédure d'essai décrite ci-dessous ou, le cas échéant, par *inspection visuelle* à 5.2.1 de la construction et des données disponibles.

Un échantillon constitué du *PECS* complet, ou de l'*enveloppe* complète avec toutes les structures de support, est soumis à l'essai pendant une durée de 7 h à une température supérieure de 10 K à la température maximale observée sur l'*enveloppe* pendant l'essai d'échauffement de 5.2.3.10, mais en aucun cas inférieure à 70 °C, puis laissé refroidir jusqu'à la température ambiante.

NOTE De plus amples informations peuvent être consultées dans l'IEC 60695-10-3:2016.

Pour les *PECS* dont l'encombrement rend impossible l'essai de l'*enveloppe* complète, il est admis d'utiliser la partie de l'*enveloppe* représentative de l'assemblage complet quant à l'épaisseur, à la forme et à la présence éventuelle de pièces mécaniques de support.

Pour les critères d'acceptation, voir 5.2.2.4.1.

5.2.2.5 Essai de stabilité (*essai de type*)

Lorsque le 4.12.5 l'exige, la stabilité doit être vérifiée par les essais suivants. Chaque essai est effectué individuellement.

Pendant les essais, les récipients, le cas échéant, doivent contenir la quantité de liquide, dans la limite de leur capacité assignée, qui produit les conditions les plus défavorables. Toutes les roulettes et tous les vérins, s'ils sont utilisés en conditions normales de fonctionnement, sont mis dans leur position la plus défavorable, avec les roues et les organes analogues fermés ou bloqués. Cependant, si les roulettes sont destinées uniquement au transport du *PECS* et s'il est exigé dans la documentation de baisser les vérins après l'installation, alors les vérins (et non les roulettes) sont utilisés dans cet essai; les vérins sont mis dans leur position la plus défavorable, compatible avec une mise à niveau raisonnable du *PECS*.

Un *PECS* d'une masse supérieure ou égale à 7 kg ne doit pas se renverser lorsqu'il est incliné de 10° par rapport à sa position verticale normale. Les portes, tiroirs, etc., sont fermés pendant cet essai. Un *PECS* dont les caractéristiques permettent des positions multiples doit être soumis à l'essai dans la position la plus défavorable possible selon la construction.

Un *PECS* à poser sur le sol, d'une masse au moins égale à 25 kg, ne doit pas se renverser lorsqu'une force égale à 20 % de son poids, mais qui ne dépasse pas 250 N, est appliquée dans n'importe quelle direction, sauf vers le haut, à une hauteur qui ne dépasse pas 2 m au-dessus du sol. Les portes, les tiroirs, etc., qui peuvent être déplacés pendant l'installation, les conditions normales de fonctionnement, la maintenance et l'entretien, sont placés dans la position la plus défavorable, compatible avec la documentation.

Un *PECS* à poser sur le sol ne doit pas se renverser lorsqu'une force constante de 800 N, dirigée vers le bas, est appliquée au point de moment maximal, sur n'importe quelle surface horizontale d'au moins 12,5 cm par au moins 20 cm, située à une hauteur jusqu'à 1 m au-dessus du sol. Les portes, tiroirs, etc., sont fermés pendant cet essai. La force de 800 N est appliquée avec un outil d'essai approprié qui a une surface plane d'environ 12,5 cm par 20 cm. La force dirigée vers le bas est appliquée avec la totalité de la surface plane de l'outil d'essai et en contact avec le *PECS* à l'essai; il n'est pas nécessaire que l'outil d'essai soit entièrement en contact avec des surfaces irrégulières (par exemple des surfaces ondulées ou courbes).

5.2.2.6 Essai des PECS fixés au mur ou au plafond (essai de type)

Lorsque le 4.12.1 l'exige, le PECS doit démontrer une résistance mécanique adéquate pour l'utilisation prévue, soit par l'essai du 5.2.2.6, soit par calcul ou simulation.

Le PECS est monté conformément à la documentation.

En plus de la masse du PECS, une force externe supplémentaire est appliquée vers le bas pendant 1 min à travers le centre de gravité du PECS (par le dessus ou par le dessous).

La force supplémentaire doit être égale à trois fois la masse du PECS et au moins égale à 50 N. Pendant l'essai, le PECS et ses moyens de fixation associés ne doivent pas se dissocier.

5.2.2.7 Essai de fixation des poignées et organes de contrôle manuels (essai de type)

Lorsque le 4.12.2 l'exige, les poignées et organes de contrôle manuels doivent être vérifiés par un essai à la main et en essayant d'enlever la poignée, le bouton, la manette ou le levier par application pendant 1 min d'une force axiale comme cela est indiqué dans le Tableau 24.

Tableau 24 – Valeurs de l'effort de traction pour la fixation des poignées et organes de contrôle manuels

	Effort de traction axial improbable			Effort de traction axial probable		
	N			N		
Destiné à être actionné par	Doigts	1 main	2 mains	Doigts	1 main	2 mains
Organes de manœuvre des <i>composants</i> ^a	15	100	200	30	150	300
Autre	20	150	300	50	200	450

^a Les poignées, boutons, leviers et organes analogues destinés à manœuvrer des *composants*, tels que des organes de commandes de valve, leviers de manœuvre électrique, etc.

Dans le cadre des essais du Tableau 24, les poignées, boutons, manettes, leviers et organes analogues doivent rester fixés au PECS comme prévu.

5.2.2.8 Essai de relâchement des contraintes (essai de type)

5.2.2.8.1 Exécution de l'essai

Chaque support d'attache décrit en 4.12.6 et chaque dispositif de maintien décrit en 4.11.9.2.1.2 d'un PECS doit être soumis à l'essai avec chaque combinaison de cordon et de manchon:

- le cordon est enfoncé une fois dans le PECS, autant que possible;
- le cordon est soumis 25 fois à un essai de traction constante de la valeur indiquée dans le Tableau 25, appliquée pendant 1 s à chaque fois, dans la direction la moins favorable; et
- le cordon est soumis pendant 1 min à un essai de couple de rotation à la valeur indiquée dans le Tableau 25, le plus près possible de l'extrémité externe du support d'attache du cordon ou du manchon.

Tableau 25 – Valeurs pour les essais physiques de relâchement des contraintes de l'enveloppe

Masse du PECS kg	Force de l'essai de traction constante N	Couple de l'essai de couple Nm
≤ 1	30	0,10
> 1 à ≤ 4	60	0,25
> 4	100	0,35

5.2.2.8.2 Critères d'acceptation

Tous les critères suivants doivent être remplis:

- 1) le cordon ne doit pas avoir été endommagé;
- 2) le cordon ne doit pas avoir été déplacé de plus de 2 mm dans le sens longitudinal;
- 3) il ne doit y avoir aucun signe de contrainte au point où le support d'attache bloque le cordon;
- 4) la *distance d'isolement* et les *lignes de fuite* ne doivent pas avoir été réduites au-dessous des valeurs applicables; et
- 5) le cordon doit réussir l'essai de tension alternative ou continue du 5.2.3.4 comme suit:
 - a) pour les PECS équipés d'un *conducteur de mise à la terre de protection*:
 - i) l'essai est réalisé entre le *conducteur de mise à la terre de protection* et les conducteurs de phase et de neutre réunis, avec la tension d'essai pour la *protection principale*; et
 - ii) la continuité entre les *parties conductrices accessibles* et le *conducteur de mise à la terre de protection* doit être soumise à l'essai selon 5.2.3.11.4;
 - b) pour les PECS sans *conducteur de mise à la terre de protection*, l'essai est réalisé entre les *parties accessibles* conductrices du PECS et les conducteurs de phase et de neutre réunis, avec la tension d'essai pour la *protection renforcée*.

5.2.3 Essais électriques

5.2.3.1 Généralités

Les essais électriques décrits du 5.2.3.2 au 5.2.3.5 s'appliquent à l'*isolation principale*, l'*isolation supplémentaire*, la *double isolation* et l'*isolation renforcée*, lorsque le 4.4.7.4 (*distance d'isolement*) et le 4.4.7.8 (*isolation solide*) l'exigent.

Avant d'effectuer ces essais en tant qu'*essais de type* ou qu'*essais sur prélèvement*, un conditionnement préalable selon 5.2.6.3.1 et 5.2.6.3.2 est exigé. Lorsque ces essais sont effectués en tant que critères d'acceptation, aucun conditionnement préalable aux essais n'est exigé.

Lors de la réalisation des essais électriques et de conditionnement préalable, la procédure privilégiée consiste à soumettre à l'essai le PECS complet; cependant, il est acceptable de soumettre à l'essai les *composants* ou sous-ensembles qui assurent l'*isolation principale* et l'*isolation renforcée*. Lorsque les *composants* ou sous-ensembles sont soumis à l'essai, les conditions d'essai doivent simuler les conditions les plus défavorables qui surviennent à l'intérieur du PECS sur le lieu de l'*installation*.

5.2.3.2 Essai de *tension de tenue aux chocs* (essai de type et essai sur prélèvement)

L'essai de *tension de tenue aux chocs* est réalisé avec une tension qui a une forme d'onde de 1,2/50 μ s (voir 7.1 et 7.2 de l'IEC 61180:2016) et il est destiné à simuler des surtensions d'origine atmosphérique. Il couvre également les surtensions dues aux commutations de *PECS*. Voir Tableau 26 pour les conditions de l'essai de *tension de tenue aux chocs*.

Les essais sur les *distances d'isolement* inférieures à celles exigées par 4.4.7.4 et 5.2.2.1 et l'essai sur l'*isolation solide* exigé par 4.4.7.8 sont effectués comme des *essais de type* en utilisant des tensions appropriées du Tableau 27.

Les essais sur les *composants* et dispositifs pour la *protection renforcée* sont effectués comme un *essai de type* et un *essai sur prélèvement* avant que lesdits *composants* et dispositifs ne soient intégrés au *PECS*, en utilisant les *tensions de tenue aux chocs* énumérées à la colonne 3 ou la colonne 5 du Tableau 27.

Afin de s'assurer que les *dispositifs de protection contre les surtensions* (voir 4.4.7.2.3, 4.4.7.2.4, 4.4.7.3) sont capables de réduire la surtension, les valeurs de la colonne 2 ou 4 du Tableau 27 sont appliquées au *PECS* comme *essai de type*. La tension de crête mesurée ne doit pas dépasser la valeur de la tension inférieure suivante de la même colonne du tableau.

S'il est nécessaire de soumettre à l'essai une *distance d'isolement* conçue selon 4.4.7.4.3 pour des altitudes comprises entre 2 000 m et 20 000 m (au moyen du Tableau A.2 de l'IEC 60664-1:2020, reproduit dans le Tableau E.1) ou de soumettre à l'essai une *distance d'isolement* conçue selon 4.4.7.4.3 pour des fréquences supérieures à 30 kHz, la tension d'essai appropriée peut être déterminée à partir de la *distance d'isolement*, en utilisant le Tableau E.2 à l'envers.

Voir 5.2.3.3 comme alternative à l'essai de *tension de tenue aux chocs*.

Tableau 26 – Procédure d'essai de *tension de tenue aux chocs*

Objet	Conditions d'essai	
Référence d'essai	IEC 61180:2016, 7.1 et 7.2; IEC 60664-1:2020, 6.2.2.1	
Référence des exigences	Selon 4.4.3.2, 4.4.5.5, 4.4.7, 5.2.2.1	
Essais	des <i>distances d'isolement</i> , de l' <i>isolation solide</i> , des <i>composants</i> et sous-ensembles	Réduction des surtensions transitoires
Conditionnement préalable	Pour l' <i>essai de type</i> et l' <i>essai sur prélèvement</i> , l' <i>isolation solide</i> et l' <i>isolation principale</i> , l' <i>isolation supplémentaire</i> , la <i>double isolation</i> ou l' <i>isolation renforcée</i> par pontage des <i>composants</i> doit être préconditionnée une fois selon 5.2.3.1. Aucun conditionnement préalable n'est exigé pour soumettre à l'essai la <i>distance d'isolement</i> .	Aucun
	Les <i>parties actives</i> qui appartiennent au même circuit doivent être reliées entre elles.	
La tension de choc doit être appliquée entre:	1) le circuit soumis à l'essai et l'environnement; et 2) les circuits à soumettre à l'essai.	Les parties pour lesquelles la réduction de la tension de choc due aux caractéristiques du circuit ou aux <i>SPD</i> doivent être vérifiées.
Mesure initiale	Aucune.	

Objet	Conditions d'essai		
Appareillage d'essai	Un générateur d'impulsions dont l'impédance de sortie n'est pas supérieure à 2 Ω doit être utilisé, avec l'impédance de sortie spécifiée en divisant la tension de sortie de crête du circuit ouvert par le courant de crête mesuré en courts-circuits, quelle que soit la forme d'onde du courant.		
Autres appareillages d'essai	Un générateur d'impulsions dont l'impédance de sortie n'est pas supérieure à 500 Ω peut être utilisé s'il est vérifié que la tension de choc montre la pleine valeur de crête au niveau de l'objet en essai.	Aucun	
Essai alternatif	5.2.3.3	Aucun	
Puissance	Non appliquée aux circuits en essai.	Peut être nécessaire.	
Type d'isolation	<i>Isolation principale/ isolation supplémentaire</i>	<i>Double isolation/ isolation renforcée</i>	--
Mesure et vérification	<i>Distances d'isolement</i> inférieures à celles exigées par le Tableau 8 et en cas de conditions de champs homogènes	<i>Isolation renforcée solide</i>	Tension de choc assignée réduite par les <i>dispositifs de protection contre les surtensions</i> ou par les caractéristiques du circuit
	<i>Isolation principale ou isolation supplémentaire solide</i>	<i>Composants et dispositifs de protection renforcée</i>	--
	<i>Isolation principale ou isolation supplémentaire des composants et sous-ensembles par pontage</i>	--	--
Quantité d'impulsions	Trois impulsions de chaque polarité avec un intervalle de ≥ 1 s, réglées à une tension de crête minimale en circuit ouvert selon:		
Tension d'essai appropriée	Colonne 2 ou colonne 4 du Tableau 27.	Colonne 3 ou colonne 5 du Tableau 27.	Colonne 2 ou colonne 4 du Tableau 27.
Correction d'altitude	Quand l'essai est réalisé sur une <i>distance d'isolement</i> à une altitude inférieure à 2 000 m, la tension d'essai doit être augmentée selon le Tableau F.6 de l'IEC 60664-1:2020, qui est reproduit comme Tableau E.2 du présent document.		
	Le facteur de correction d'altitude ne s'applique pas à l'essai de <i>tension de tenue aux chocs</i> sur l' <i>isolation solide</i> selon 6.4.4.1 de l'IEC 60664-1:2020.		

L'essai de *tension de tenue aux chocs* est satisfaisant si aucun claquage d'*isolation*, aucun contournement ni aucune décharge disruptive ne se produit. Concernant les *composants* et dispositifs qui utilisent une *isolation solide* pour la *protection renforcée*, un essai ultérieur de décharge partielle (voir 5.2.3.5) doit également être effectué avec succès lorsque le 4.4.7.10.3 l'exige.

Tableau 27 – Essai de tension de tenue aux chocs

Colonne 1		2	3	4	5
<i>Tension système</i> (voir 4.4.7.1.7)		<i>Tension de tenue aux chocs pour l'isolation entre les circuits connectés à une alimentation non raccordée directement au réseau et leur environnement selon la catégorie de surtension II</i>		<i>Tension de tenue aux chocs pour l'isolation entre les circuits connectés au réseau et leur environnement selon la catégorie de surtension III</i>	
		<i>Principale ou supplémentaire</i>	<i>Double ou renforcée</i>	<i>Principale ou supplémentaire</i>	<i>Double ou renforcée</i>
V continue	V alternative	V	V	V	V
≤ 50	≤ 75	500	800	800	1 500
100	150	800	1 500	1 500	2 500
150	225	1 500	2 500	2 500	4 000
300	450	2 500	4 000	4 000	6 000
600	900	4 000	6 000	6 000	8 000
1 000	1 250	6 000	8 000	8 000	12 000
--	1 500	8 000	10 000	10 000	15 000
-	-	Interpolation admise		Interpolation non admise	
NOTE 1 Les tensions d'essai pour les catégories de surtension I et III (colonnes 2 et 3) peuvent être déterminées de façon similaire à partir du Tableau 7.					
NOTE 2 Les tensions d'essai pour les catégories de surtension II et IV (colonnes 4 et 5) peuvent être déterminées de façon similaire à partir du Tableau 7.					

5.2.3.3 Variante à l'essai de tension de tenue aux chocs (essai de type, essai sur prélèvement)

Pour la vérification de la *distance d'isolement* et de l'*isolation solide*, un essai de tension alternative ou continue selon 5.2.3.4 avec les modifications suivantes peut être utilisé en variante de l'essai de *tension de tenue aux chocs* décrit en 5.2.3.2.

Pour un essai de tension alternative, la valeur de crête de la tension d'essai alternative doit être égale à la tension d'essai de choc du Tableau 27 et appliquée pendant trois cycles de la tension d'essai alternative.

Pour un essai de tension continue, la valeur moyenne de la tension d'essai continue doit être égale à la tension d'essai de choc du Tableau 27 et appliquée trois fois pendant 10 ms pour chaque polarité.

Pour le PECS, la tension peut être appliquée à l'aide d'une rampe d'une durée maximale de 1 s.

Voir l'IEC 60664-1:2020, 6.2.2.1.3, pour de plus amples informations.

5.2.3.4 Essai de tension en courant alternatif ou en courant continu (essai de type, essai individuel de série)

5.2.3.4.1 Objet de l'essai

L'*essai de type* sert à vérifier que les *distances d'isolement* et l'*isolation solide* des composants et des PECS assemblés présentent une rigidité diélectrique adéquate pour résister aux conditions de *surtension temporaire* et à vérifier la coordination de l'*isolation* entre les *circuits adjacents*.

Les *essais individuels de série* sont exécutés pour vérifier que les *distances d'isolement* n'ont pas été réduites pendant les opérations de fabrication.

5.2.3.4.2 Valeur et type de la tension d'essai

Les valeurs de la tension d'essai pour les circuits connectés au *réseau* sont déterminées dans la colonne 2 ou 3 du Tableau 28.

La tension d'essai de la colonne 2 est utilisée pour soumettre à l'essai les circuits qui ont une *isolation principale*.

La tension d'essai de la colonne 3 doit être appliquée entre les circuits avec *protection renforcée* (*double isolation* ou *isolation renforcée*) pour les *essais de type*.

Pour les *essais individuels de série* entre les circuits avec *protection renforcée*, les valeurs de la colonne 2 doivent être appliquées afin de prévenir tout endommagement de l'*isolation solide* par décharge partielle.

Les valeurs de la colonne 3 doivent s'appliquer au *PECS* avec *protection renforcée* selon 4.4.5.1.

Pour les circuits connectés à une *alimentation non raccordée directement au réseau*, la tension d'essai doit être comme suit:

- pour les *essais de type* des circuits avec *protection principale* et pour tous les *essais individuels de série*: la *surtension temporaire* (alternative efficace ou continue) déterminée en 4.4.7.2.4; et
- pour les *essais de type* des circuits avec *protection renforcée*, et entre les circuits et les *surfaces accessibles* (non conductrices ou conductrices, mais non raccordées à la terre de protection, *matériel de classe II* selon 4.4.6.3): 1,6 fois la *surtension temporaire* (alternative efficace ou continue) déterminée en 4.4.7.2.4.

L'essai est réalisé entre les circuits et les *surfaces accessibles* du *PECS*, qui sont non conductrices ou conductrices, mais non raccordées 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.

Dans le cas d'un circuit raccordé galvaniquement à la fois au *réseau* et à une *alimentation non raccordée directement au réseau*, les tensions d'essai sont déterminées en tenant compte du résultat le plus défavorable de l'utilisation de la *tension système* du *réseau* déterminée à partir de la colonne 2 ou 3 du Tableau 28, et du résultat de l'utilisation de la *tension de fonctionnement* de crête répétitive de l'*alimentation non raccordée directement au réseau* déterminée à partir du Tableau 29.

Tableau 28 – Tension d'essai alternative ou continue pour circuits raccordés directement au réseau

Colonne 1	2		3 ^b	
<i>Tension système</i> (voir 4.4.7.1.7)	Tension pour essais de type des circuits avec <i>protection principale</i> , et pour tous les essais individuels de série		Tension pour essais de type des circuits avec <i>protection renforcée</i> , et entre les circuits et les <i>surfaces accessibles</i> (non conductrices ou conductrices, mais non raccordées à la terre de protection, matériel de classe II selon 4.4.6.3)	
	Alternative efficace ^a	Continue	Alternative efficace	Continue
V	V	V	V	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
L'interpolation est 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 A selon l'Article 6 de l'IEC 61180:2016 est utilisée pour cet essai.				

Pour les circuits non connectés au *réseau*, et en l'absence de *surtensions temporaires*, les tensions d'essai sont déterminées à partir du Tableau 29, à partir de la *tension de fonctionnement*.

Tableau 29 – Tension d'essai alternative ou continue pour circuits connectés à une alimentation non raccordée directement au réseau sans surtensions temporaires

Colonne 1	2 ^a		3 ^a	
<i>Tension de fonctionnement</i> (crête répétitive) (voir 4.4.7.1.7.2)	Tension pour essais de type des circuits avec <i>protection principale</i> , et pour tous les essais individuels de série		Tension pour essais de type des circuits avec <i>protection renforcée</i> , et entre les circuits et les <i>surfaces accessibles</i> (non conductrices ou conductrices, mais non raccordées à la terre de protection, matériel de classe II selon 4.4.6.3)	
	Alternative efficace	Continue	Alternative efficace	Continue
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

Colonne 1	2 ^a		3 ^a	
<i>Tension de fonctionnement (crête répétitive) (voir 4.4.7.1.7.2)</i>	<i>Tension pour essais de type des circuits avec protection principale, et pour tous les essais individuels de série</i>		<i>Tension pour essais de type des circuits avec protection renforcée, et entre les circuits et les surfaces accessibles (non conductrices ou conductrices, mais non raccordées à la terre de protection, matériel de classe II selon 4.4.6.3)</i>	
V	Alternative efficace V	Continue V	Alternative efficace V	Continue V
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
L'interpolation est admise.				
NOTE Les tensions d'essai de ce tableau sont fondées sur 80 % de la tension de tenue pour la <i>distance d'isolement</i> correspondante du Tableau 9 comme cela est indiqué par le Tableau A.1 de l'IEC 60664-1:2020.				
^a Une source de tension avec un courant de court-circuit d'au moins 0,1 A selon 5.2 de l'IEC 61180:2016 est utilisée pour cet essai.				

5.2.3.4.3 Considérations d'essai supplémentaire

Les dispositifs de protection conçus pour réduire les tensions de choc sur les circuits soumis à des essais (voir 4.4.7.2.3 et 4.4.7.2.4), et les circuits qui appartiennent 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 assurer que la tension d'essai peut être appliquée sans fausse indication de défaut.

Dans tous les cas réalisables, il convient que les *composants* individuels qui font partie intégrante de l'*isolation* soumise à l'essai, par exemple les condensateurs de suppression d'interférences, ne soient pas déconnectés ou pontés avant l'essai. Dans ce cas, il est recommandé d'utiliser la tension d'essai en courant continu selon 5.2.3.4.2.

Lorsque des essais ne sont pas possibles dans le *PECS* assemblé en raison d'une faible impédance du *SPD* non conçu pour supporter la tension d'essai pendant la durée de l'essai, le *SPD* doit être déconnecté avant l'essai. Dans ce cas, la connexion doit être restaurée avec soin après l'essai de tension.

Les *impédances de protection* selon 4.4.5.5 doivent être incluses dans les essais, ou la partie séparée et protégée du circuit doit être déconnectée avant de procéder aux essais. Dans ce cas, la connexion doit être restaurée avec soin après l'essai de tension.

5.2.3.4.4 Exécution de l'essai de tension

L'essai doit être appliqué comme suit, selon la Figure 16.

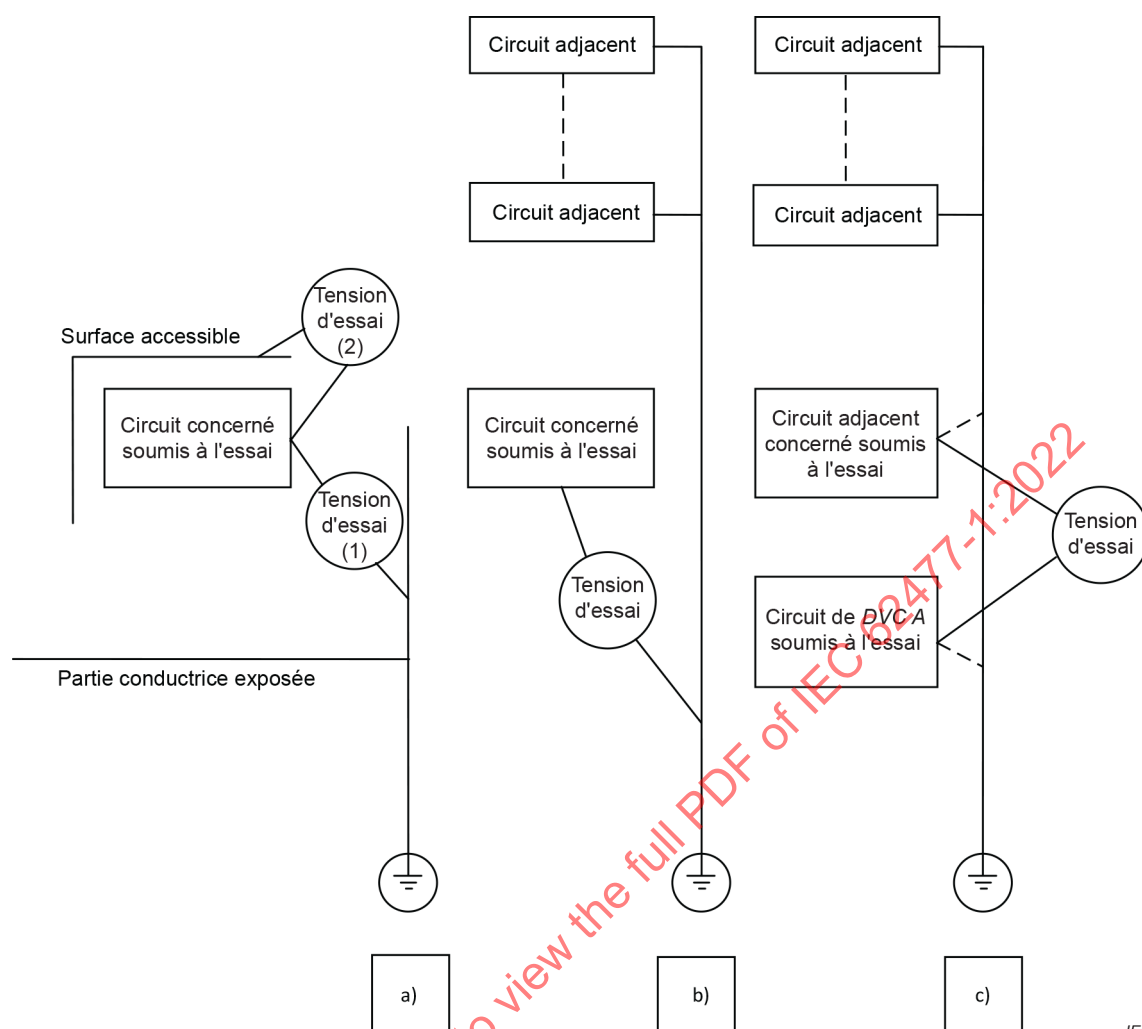
- a) Essai (1) entre la *partie accessible* conductrice (reliée à la terre) et chaque circuit de manière séquentielle (excepté les circuits de *DVC As*). La tension d'essai est conforme au Tableau 28 ou au Tableau 29, colonne 2, et correspond à la tension du circuit concerné soumis à l'essai.

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 de *DVC As*). La tension d'essai est conforme au Tableau 28 ou au Tableau 29, 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.

- b) Essai entre chaque circuit concerné de manière séquentielle et les autres *circuits adjacents* reliés entre eux. La tension d'essai est conforme au Tableau 28 ou au Tableau 29, colonne 2, et correspond à la tension du circuit concerné soumis à l'essai.
- c) Essai entre un circuit de *DVC As* et chaque *circuit adjacent* de manière séquentielle. La tension d'essai est conforme au Tableau 28 ou au Tableau 29, colonne 3 (pour les *essais de type*) ou colonne 2 (pour les *essais individuels de série*), et correspond au circuit qui a la plus forte tension. Le *circuit adjacent* ou le circuit de *DVC As* peut être relié à la terre pour cet essai. Il est nécessaire de soumettre à l'essai l'*isolation principale* entre les *circuits DVC As*, mais il n'est pas nécessaire de soumettre à l'essai l'*isolation fonctionnelle* entre les *circuits DVC As adjacents*.

Comme les circuits de *DVC As* et les circuits de *DVC C* sont généralement séparés du châssis (terre) par l'*isolation principale*, il est généralement impossible de soumettre à l'essai la *double isolation* ou l'*isolation renforcée* qui sépare les circuits basse tension des circuits haute tension dans un *PECS* entièrement assemblé sans surcharger l'*isolation principale*. De ce fait, il peut être nécessaire de démonter le *PECS*, ou il peut être impossible d'effectuer des *essais de type* sur l'*isolation* de protection à des tensions conformes à la colonne 3 du Tableau 28 ou du Tableau 29. Dans ces cas, l'*essai de type* de l'*isolation* utilisée pour la *protection renforcée* doit être effectué à des tensions conformes à la colonne 2 du tableau approprié.

NOTE L'essai de la *double isolation* ou de l'*isolation renforcée* est effectué séparément sur le *composant*.



IEC

Figure 16 – Procédures d'essai de tension

Les essais doivent être effectués avec les portes de l'*enveloppe* fermées et tous les couvercles de l'*enveloppe* en place.

Lorsque le circuit est connecté électriquement aux *parties accessibles* conductrices, l'essai de tension n'est pas pertinent et peut être omis.

Pour créer un circuit continu pour la tension d'essai sur le *PECS*, les bornes, les contacts ouverts de commutateurs ainsi que les dispositifs à semiconducteurs, etc. doivent être pontés si nécessaire. Avant de procéder à l'essai, les dispositifs à semiconducteurs 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.

Lorsque le *PECS* 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'*isolation* 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*.

Si le *PECS* ne présente pas d'ouverture qui permet l'accès aux raccordements électriques, l'*essai individuel de série* peut être effectué avec la porte ouverte ou un couvercle enlevé.

La tension d'essai appliquée doit être mesurée et contrôlée tout au long de l'essai.

Les écrans de protection selon 4.4.4.7 doivent rester reliés aux *parties accessibles* conductrices pendant l'essai de tension.

L'essai individuel de série du PECS assemblé n'est pas nécessaire si:

- l'essai individuel de série pour tous les sous-ensembles liés au système d'isolation du PECS est réalisé;
- il peut être démontré que l'assemblage final ne compromet pas le système d'isolation; et
- les essais de type de tout le PECS assemblé ont été effectués avec succès.

5.2.3.4.5 Durée de l'essai de tension en courant alternatif ou en courant continu

La tension d'essai peut être appliquée avec une rampe de tension croissante et/ou décroissante, mais la tension maximale doit être maintenue pendant au moins 60 s et 1 s respectivement pour les essais de type et individuels de série.

5.2.3.4.6 Vérification de l'essai de tension en courant alternatif ou en courant continu

L'essai est satisfaisant si aucun *claquage électrique* n'intervient pendant l'essai.

5.2.3.5 Essai de décharge partielle (essai de type, essai sur prélèvement)

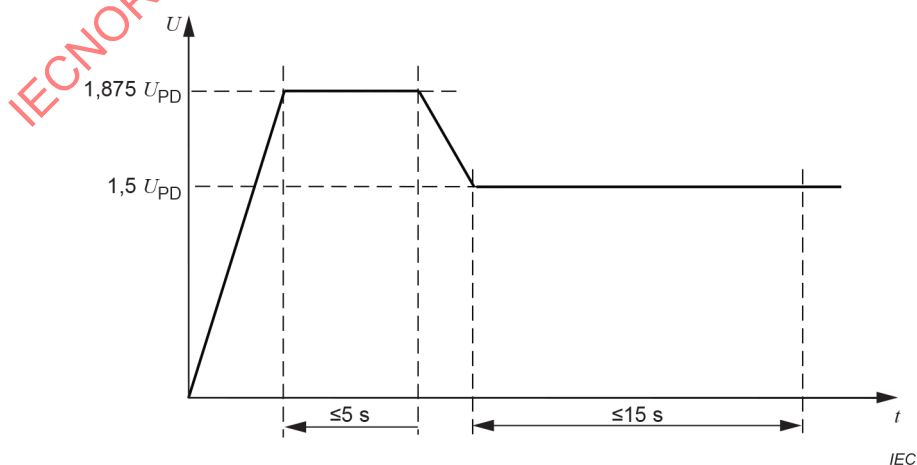
L'essai de décharge partielle doit confirmer que l'*isolation solide* (voir 4.4.7.8.2) utilisée dans les *composants* et les sous-ensembles pour la *protection renforcée* des circuits électriques demeure exempte de toute décharge partielle dans la plage de tensions spécifiée (voir Tableau 30).

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 de seuil et d'extinction de décharge partielle sont influencées par les facteurs climatiques (par exemple température et humidité), l'autoéchauffement des matériels et la tolérance de fabrication. Ces variables d'influence peuvent être importantes dans certaines conditions et doivent par conséquent être prises en compte au cours des *essais de type*.

Tableau 30 – Essai de décharge partielle

Objet	Conditions d'essai
Référence d'essai	IEC 60664-1:2020, 6.4.6
Référence des exigences	4.4.7.8.1
Conditionnement préalable	<i>Condition préalable</i> selon 5.2.3.1 Les <i>parties actives</i> qui appartiennent au même circuit doivent être reliées entre elles. Il est recommandé d'effectuer l'essai de décharge partielle après l'essai de <i>tension de tenue aux chocs</i> (voir 5.2.3.1) afin que tout dommage dû à l'essai de <i>tension de tenue aux chocs</i> soit visible. Il est conseillé de réaliser l'essai de décharge partielle avant d'intégrer les <i>composants</i> ou les dispositifs au <i>PECS</i>, du fait que l'essai de décharge partielle n'est normalement pas possible lorsque le matériel est assemblé.
Mesure initiale	Selon spécification du <i>composant</i> 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	IEC 60664-1:2020, Article C.1.
Tension d'essai	La valeur crête de la tension alternative 50 Hz ou 60 Hz.
Méthode d'essai	IEC 60664-1:2020, 6.4.6.1: $F_1 = 1,2$; $F_2, F_3 = 1,25$. Procédure d'essai de l'IEC 60664-1:2020, 6.4.6.3.
Etalonnage de l'appareillage d'essai	IEC 60664-1:2020, Article C.4.
Mesure	En commençant avec une valeur inférieure à la tension de décharge assignée 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 (voir Figure 17). 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 la décharge partielle est mesurée.
Vérification	L'essai doit être considéré comme réussi si la décharge partielle est inférieure à 10 pC pendant la période de mesure.
NOTE Les essais de décharge partielle de l'<i>isolation solide</i> avec une <i>tension de fonctionnement</i> continue selon A.5.4 peuvent être omis. ^a La tension d'essai de décharge partielle assignée U_{PD} est la <i>tension de fonctionnement</i> (crête répétitive) dans chacun des circuits séparés par l'<i>isolation</i>.	

**Figure 17 – Procédure d'essai de décharge partielle**

NOTE Des valeurs inférieures à 10 pC sont exigées pour un *système d'isolation* qui, par sa construction, peut être endommagé par un vide d'air lors de son exposition à la contrainte de tension (par exemple, résine moulée, remplissage, moulage, fil triple isolé, etc.).

Les décharges par effet couronne dans l'air n'ont pas de critères d'acceptation définis.

5.2.3.6 Essai d'impédance de protection (essai de type, essai individuel de série)

Un *essai de type* doit être effectué pour vérifier que le courant qui circule dans une *impédance de protection* dans des conditions normales de fonctionnement ou des *conditions de premier défaut* ne dépasse pas les valeurs indiquées en 4.4.5.5.

L'essai doit être effectué à l'aide du circuit de la Figure 4 de l'IEC 60990:2016 (voir Figure L.1) ou en mesurant le courant à travers l'*impédance de protection* vers la *terre de protection*.

NOTE L'IEC 60990:2016 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 par un *essai individuel de série*.

5.2.3.7 Essai de courant de contact et essai de courant de fuite

5.2.3.7.1 Généralités

Pour un *PECS* destiné à être connecté à un *système* de mise à la terre de l'alimentation spécifique (voir 4.4.7.1.5), ce *système* doit être utilisé pendant l'essai comme prévu.

Si un *PECS* est destiné à être connecté à plusieurs *systèmes* de mise à la terre de l'alimentation (voir 4.4.7.1.5), chacun de ces *systèmes* différents (ou le cas le plus défavorable, si cela peut être déterminé) doit être utilisé pour mesurer le *courant de contact* et le courant de fuite. La valeur la plus élevée du courant mesuré considérée comme le résultat définitif.

- Pour un *PECS* à relier à un *système* avec neutre mis à la terre, le neutre du *réseau* ou de l'*alimentation non raccordée directement au réseau* du site d'essai doit être directement relié au *conducteur de mise à la terre de protection*.
- Pour un *PECS* à relier à un *système* isolé ou à un *système* à impédance, le neutre doit être relié par une résistance de 1 kΩ 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 est considérée comme le résultat définitif.
- Pour un *PECS* qui doit être relié à un *système* "corner-earthed" ou "high-leg delta", 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.

Le *PECS* doit être isolé sans aucune connexion à la terre et doit être utilisé à la tension assignée.

5.2.3.7.2 Essai du courant de contact (essai de type)

L'essai du *courant de contact* doit être effectué comme un *essai de type* pour déterminer si les moyens du 4.4.4.3.3 sont applicables. 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 circuit d'essai de la Figure 4 de l'IEC 60990:2016 (voir Figure L.1).

Pour les *PECS* qui peuvent être alimentés par plusieurs sources d'alimentation, les limites de *courant de contact* indiquées en 4.4.4.3.3 s'appliquent à toutes les configurations possibles prévues de l'*installation* et combinaisons de sources qui peuvent être mises sous tension simultanément, à moins d'appliquer l'un des moyens indiqués en 4.4.4.3.3.3 a) ou 4.4.4.3.3.3 b).

5.2.3.7.3 Essai du courant de fuite (*essai de type*)

L'essai du courant de fuite doit être effectué comme un *essai de type* avec le *PECS* en conditions normales de fonctionnement pour déterminer si les moyens du 4.4.4.3.3 sont applicables.

Le *PECS* doit être isolé avec un dispositif de mesure du courant d'impédance négligeable (inférieure à 0,5 Ω) inséré entre les dispositifs de raccordement du *conducteur de mise à la terre de protection* et le *conducteur de mise à la terre de protection* lui-même.

5.2.3.8 Essai de décharge de condensateurs (*essai de type*)

La vérification du temps de décharge des condensateurs exigé en 4.4.9 et 4.5.1.2 doit être effectuée par un *essai de type* et/ou par calcul en tenant compte des tolérances applicables.

L'essai est réussi si les critères de conformité du 4.4.9 et du 4.5.1.2 sont respectés.

5.2.3.9 Essai de source à puissance limitée (*essai de type*)

Lorsque le 4.6.5 l'exige, le circuit de puissance limitée doit être soumis à l'essai comme cela est indiqué ci-dessous, avec le *PECS* fonctionnant dans des conditions normales de fonctionnement.

Lorsque l'exigence de source à puissance limitée dépend d'un ou de plusieurs *dispositifs de protection contre les surintensités*, le ou les dispositifs doivent être court-circuités.

Les *conditions de premier défaut* sont appliquées dans un réseau régulé conforme au 4.2 dans les conditions de fonctionnement suivantes.

La tension de sortie du circuit ouvert ne doit pas dépasser la valeur pertinente du Tableau 16 ou du Tableau 17, selon le cas.

Le *PECS* étant dans les conditions normales de fonctionnement, une charge résistive variable est connectée entre les parties à l'étude. La charge résistive est réglée pour obtenir la limite de courant ou de puissance apparente indiquée dans le Tableau 16 ou le Tableau 17. Un réglage ultérieur est réalisé, si nécessaire, pour maintenir la limite de puissance apparente ou de courant pendant la durée indiquée dans le Tableau 16 ou le Tableau 17.

L'essai est satisfaisant si, à l'issue de la durée de l'essai, la puissance apparente ou le courant disponible ne dépasse pas les limites indiquées dans le Tableau 16 ou le Tableau 17.

Lorsque l'exigence de source à puissance limitée dépend du ou des *dispositifs de protection contre les surintensités*, la caractéristique assignée de courant d'au moins un des dispositifs de protection dans le chemin de courant ne doit pas dépasser la limite indiquée dans le Tableau 17.

5.2.3.10 Essai d'échauffement (*essai de type*)

L'essai est destiné à s'assurer que les parties et les *surfaces accessibles* du *PECS* ne dépassent pas les limites de température spécifiées en 4.6.4 ni les limites de température du fabricant des parties liées à la sécurité du *composant*.

Si possible, le *PECS* doit être soumis à l'essai dans les conditions les plus défavorables de puissance assignée et de courant de sortie du *PECS*, en tenant compte des caractéristiques de déclassement et de contrôle du refroidissement.

Pour les *PECS* dans lesquels l'échauffement ou le refroidissement est conçu pour dépendre de la température (par exemple, le *PECS* comporte un ventilateur dont la vitesse est plus élevée à haute température), la mesure de la température doit être effectuée à la température ambiante la plus défavorable dans la plage de fonctionnement spécifiée par le fabricant.

Si cela n'est pas possible, il est admis de simuler l'échauffement, si la validité de la simulation peut être démontrée par des essais à des niveaux de puissance inférieurs.

Le *PECS* doit être soumis à l'essai avec au moins 1,2 m de fil électrique relié à chaque *borne de câblage sur site*. Le fil doit avoir le plus petit calibre destiné à être relié au *PECS*, comme cela est spécifié par le fabricant pour l'*installation*. Lorsqu'il est prévu uniquement la connexion de jeux de barres au *PECS*, celles-ci doivent être du calibre minimal destiné à être relié au *PECS*, comme cela est spécifié par le fabricant, et leur longueur doit être au moins égale à 1,2 m.

L'essai doit être maintenu jusqu'à ce que la stabilisation thermique soit atteinte, c'est-à-dire lorsque trois lectures successives, prises à intervalles de 10 % de la durée précédemment écoulée de l'essai et non inférieures à 10 min, n'indiquent aucun changement de température, soit ± 1 °C entre les trois lectures successives par rapport à la température ambiante.

La température de l'*isolation électrique* (non pas celle des enroulements), dont la défaillance est susceptible d'entraîner un danger, est mesurée à la surface de l'*isolation* en un point proche de la source de chaleur. Si les températures des enroulements sont mesurées par la méthode de thermocouple, le thermocouple doit être placé sur la surface de l'enroulement qui présente la partie la plus chaude du fait des *composants* environnants qui émettent de la chaleur. Voir également les notes de bas de tableau du Tableau 14.

La température maximale atteinte doit être corrigée à la température ambiante assignée du *PECS* en ajoutant la différence entre la température ambiante au cours de l'essai et la température ambiante assignée maximale.

Pour la conformité,

- aucune température corrigée ne doit dépasser la température assignée du matériau ou du *composant* mesuré; et
- le coupe-circuit thermique et les fonctions et dispositifs de protection contre les surcharges ne doivent pas s'activer pendant l'essai.

5.2.3.11 Essais de la liaison équipotentielle de protection (essais de type, essai individuel de série)

5.2.3.11.1 Généralités

Chaque *partie accessible* conductrice à l'étude doit être soumise à l'essai séparément afin de déterminer si le chemin de la *liaison équipotentielle de protection* pour cette partie est susceptible de supporter le courant d'essai auquel la liaison peut être soumise dans des *conditions de premier défaut*.

La *partie accessible* conductrice à l'étude doit être sélectionnée parmi les circuits adjacents à la *partie accessible* à l'étude et non séparée d'elle par une *isolation renforcée*.

Tous ces circuits sélectionnés doivent être analysés en ce qui concerne le *courant de court-circuit présumé* et l'élément ou les éléments de protection associés.

- Si le circuit considéré ne satisfait pas à l'exigence du temps de déconnexion de 5 s de l'IEC 60364-4-41:2005 et de l'IEC 60364-4-41:2005/AMD1:2017, l'essai d'impédance de la *liaison équipotentielle de protection* de 5.2.3.11.2 et l'essai de court-circuit de la *liaison équipotentielle de protection* de 5.2.3.11.3 doivent être réalisés.

NOTE 1 Exemples de circuits à temps de déconnexion supérieurs à 5 s: circuits reliés à une *alimentation non raccordée directement au réseau* dans lesquels le courant de court-circuit est limité par des impédances internes, par des limiteurs de courant ou par des caractéristiques de charge tels que des panneaux solaires.

- Si le circuit considéré satisfait à l'exigence du temps de déconnexion de 5 s de l'IEC 60364-4-41:2005 et de l'IEC 60364-4-41:2005/AMD1:2017, l'essai de court-circuit de la *liaison équipotentielle de protection* de 5.2.3.11.3 doit être réalisé.

NOTE 2 Exemples de circuits à temps de déconnexion ne dépassant pas 5 s: circuits *réseau* dans lesquels le *courant de court-circuit présumé* est limité par l'impédance du *réseau*.

- Si le circuit à l'étude satisfait à l'exigence de temps de déconnexion de l'IEC 60364-4-41:2005 et de l'IEC 60364-4-41:2005/AMD1:2017, Tableau 41.1, selon le cas, en fonction du *système* de mise à la terre de l'*installation*, aucun *essai de type* n'est exigé.
- Pour un *PECS* conçu comme un *équipement enfichable de type A* uniquement, l'essai d'impédance de la *liaison équipotentielle de protection* de 5.2.3.11.2 doit être réalisé.

NOTE 3 Voir l'Annexe Q pour plus d'informations sur l'IEC 60364-4-41:2005 et l'IEC 60364-4-41:2005/AMD1:2017, Tableau 41.1.

L'essai doit inclure un essai individuel du chemin de la *liaison équipotentielle de protection* pour chacune des *parties accessibles* conductrices, à moins qu'une analyse ne démontre que les résultats sur une combinaison sont représentatifs des autres combinaisons.

5.2.3.11.2 Essai d'impédance de la *liaison équipotentielle de protection* (essai de type)

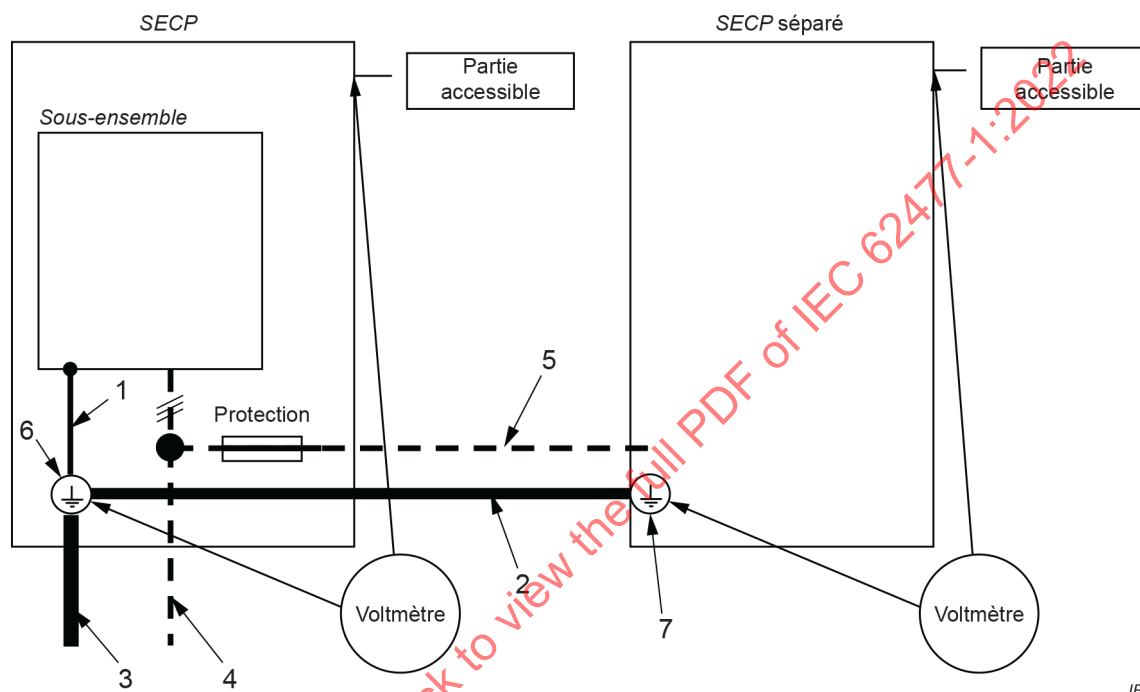
5.2.3.11.2.1 Conditions d'essai

Lorsque cela est exigé par 4.4.4.2.2 et 5.2.3.11.1, l'impédance du circuit de *liaison équipotentielle de protection* doit être vérifiée en faisant circuler un courant d'essai par la liaison pendant une certaine durée. Le courant d'essai est fondé sur la caractéristique assignée du *dispositif de protection contre les surintensités* du *PECS* ou de la partie du *PECS* à l'étude, comme suit:

- pour un *PECS* conçu comme un *équipement enfichable de type A*, le *dispositif de protection contre les surintensités* est celui fourni à l'extérieur du *PECS* (par exemple dans le câblage du bâtiment, dans la fiche *réseau* ou dans un rack du matériel);
- pour un *PECS* conçu comme un *équipement enfichable de type B* et comme un *équipement relié en permanence*, la valeur assignée maximale du *dispositif de protection contre les surintensités* externe au *PECS* spécifiée dans la documentation; ou
- la caractéristique assignée du *dispositif de protection contre les surintensités* d'un circuit ou d'une partie du *PECS* pour lequel ou laquelle un *dispositif de protection contre les surintensités* est fourni comme partie du *PECS*.

Les tensions sont mesurées entre la borne de terre de protection et tous les points appropriés de chaque circuit de *liaison équipotentielle de protection*. L'impédance du *conducteur de mise à la terre de protection* n'est pas incluse dans la mesure. Cependant, si le *conducteur de mise à la terre de protection* est fourni avec le *PECS*, il est admis de l'inclure dans le circuit d'essai, mais la mesure de la chute de tension est effectuée uniquement entre la borne principale de terre de protection et la *partie accessible* qu'il est exigé de mettre à la terre.

Dans un PECS où la liaison de terre de protection à un sous-ensemble ou à un PECS séparé est réalisée au moyen d'un câble qui assure également l'alimentation de ce sous-ensemble ou de ce PECS, la résistance du conducteur de *liaison équipotentielle de protection* dans ce câble n'est pas comprise dans la mesure de l'impédance de la *liaison équipotentielle de protection* pour le sous-ensemble ou le PECS séparé, comme cela est représenté à la Figure 18. Cependant, cette option est seulement admise si le câble est protégé par un dispositif de protection aux caractéristiques assignées appropriées qui tient compte de la taille du conducteur. Sinon, l'impédance du conducteur de *liaison équipotentielle de protection* entre les PECS séparés doit être incluse, en mesurant à la borne de terre de protection le point où la source de puissance pénètre dans le premier PECS du système, comme cela est représenté à la Figure 19.

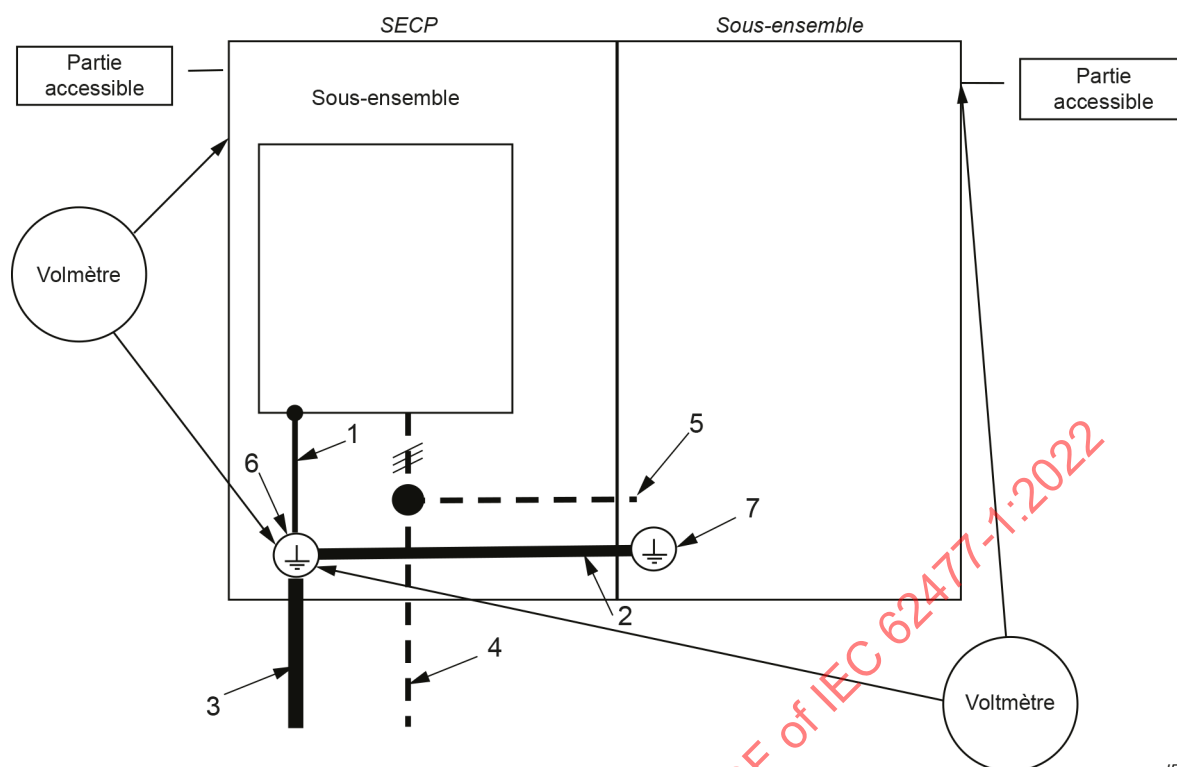


IEC

Légende

- 1 *liaison équipotentielle de protection*
- 2 *conducteur de mise à la terre de protection pour le PECS séparé*
- 3 *conducteur de mise à la terre de protection pour le PECS*
- 4 *alimentation en énergie depuis le réseau*
- 5 *alimentation en énergie du PECS au PECS séparé*
- 6 *termination du conducteur de mise à la terre de protection externe*
- 7 *termination du conducteur de mise à la terre de protection pour le PECS séparé*

Figure 18 – Essai d'impédance de la *liaison équipotentielle de protection* pour PECS séparé alimenté par le PECS avec protection du câble d'alimentation



IEC

Légende

- 1 liaison équipotentielle de protection
- 2 liaison équipotentielle de protection pour le sous-ensemble
- 3 conducteur de mise à la terre de protection pour le PECS
- 4 alimentation en énergie depuis le *réseau*
- 5 alimentation en énergie du PECS au sous-ensemble
- 6 terminaison du conducteur de mise à la terre de protection externe
- 7 point de raccordement de la liaison au sous-ensemble (peut être supérieur à 1)

Figure 19 – Essai d'impédance de la *liaison équipotentielle de protection* pour sous-ensemble avec *parties accessibles* et alimenté par le *PECS*

Le courant d'essai est issu d'une source d'alimentation en courant alternatif ou en courant continu, dont la sortie n'est pas mise à la terre.

Pour la protection de la personne qui réalise l'essai, la source doit avoir une tension à vide maximale inférieure aux limites de la *DVC* As.

5.2.3.11.2.2 Courant d'essai, durée de l'essai et critères d'acceptation

Le courant d'essai, la durée de l'essai et les critères d'acceptation sont les suivants et tels qu'indiqués dans le Tableau 31.

Tableau 31 – Durée de l'essai de *liaison équipotentielle de protection*

Caractéristiques assignées du <i>dispositif de protection contre les surintensités</i>	Durée de l'essai
A	min
Jusqu'à 32	2
33 à 63	4
64 à 100	6
101 à 200	8
201 à 460	10

- a) Pour un *PECS* dont la caractéristique assignée du *dispositif de protection contre les surintensités* est inférieure ou égale à 16 A, cet essai peut être omis s'il peut être démontré que l'impédance ne dépasse pas 0,1 Ω .
- b) Comme variante au Tableau 31, lorsque la caractéristique de temps/courant du *dispositif de protection contre les surintensités* qui limite le courant de défaut dans le dispositif de *liaison équipotentielle de protection* est connue car le dispositif est soit prévu à l'intérieur du *PECS* soit entièrement spécifié dans la documentation, la durée de l'essai peut dépendre de la caractéristique de temps/courant du dispositif particulier. Les essais sont réalisés pendant une durée qui correspond à 200 % de la caractéristique temps/courant.
- c) Pour un *PECS* dont la caractéristique assignée du *dispositif de protection contre les surintensités* dépasse 460 A, le calcul ou la simulation conformément à l'IEC 60949:1988 et l'IEC 60949:1988/AMD1:2008 doit être utilisé(e) pour démontrer l'aptitude du *courant de court-circuit présumé* à satisfaire aux exigences. L'essai individuel de série de continuité de la *liaison équipotentielle de protection* décrit en 5.2.3.11.4 doit être réalisé pour démontrer que l'impédance du dispositif de *liaison équipotentielle de protection* pendant et à la fin de l'essai ne doit pas dépasser la valeur prévue.

Les critères sont les suivants.

Le courant d'essai est égal à 200 % de la valeur de la caractéristique assignée du *dispositif de protection contre les surintensités* et la durée de l'essai est telle qu'indiquée dans le Tableau 31. La chute de tension dans le circuit de *liaison équipotentielle de protection*, pendant et à la fin de l'essai, ne doit pas dépasser les limites de la Figure 7 par rapport à la surface accessible de l'*enveloppe*.

A l'issue des essais, l'*inspection visuelle* à 5.2.1 doit révéler l'absence de détérioration du dispositif de *liaison équipotentielle de protection*.

5.2.3.11.3 Essai de tenue au court-circuit de la *liaison équipotentielle de protection* (essai de type)

Comme cela est exigé en 5.2.3.11.1, l'essai de tenue au court-circuit du 5.2.4.3 doit être réalisé pour s'assurer que la *liaison équipotentielle de protection* a la capacité de supporter le *courant de court-circuit présumé* auquel elle peut être soumise en *conditions de premier défaut*.

L'essai doit inclure un essai individuel du chemin de *liaison équipotentielle de protection* pour chacune des *parties accessibles* conductrices à moins qu'une analyse ne démontre que la capacité de tenue au court-circuit du chemin est suffisante, ou que les résultats sur une combinaison d'équipement sont représentatifs des résultats estimés sur une autre combinaison d'équipement.

5.2.3.11.4 Essai de continuité de la *liaison équipotentielle de protection* (essai de type, essai individuel de série)

L'*essai individuel de série* de continuité de la *liaison équipotentielle de protection* doit être réalisé lorsque

- la continuité de la *liaison équipotentielle de protection* est obtenue par un seul moyen (par exemple, un seul conducteur ou une seule attache),
- le PECS est assemblé à l'emplacement de l'*installation*, ou
- cela est exigé selon 5.2.3.11.2.2 c).

Le courant d'essai peut avoir toute valeur appropriée et suffisante pour permettre les mesures ou le calcul de la résistance du dispositif de *liaison équipotentielle de protection*.

NOTE L'utilisation de courants plus importants pour l'essai de continuité augmente la précision du résultat d'essai, notamment avec de faibles valeurs d'impédance, c'est-à-dire des sections plus grandes et/ou une longueur plus faible du conducteur. En général, une valeur de 25 A est considérée comme suffisante pour la plupart des produits.

La valeur prévue de la résistance est le résultat du calcul ou de la simulation selon 5.2.3.11.2.2 tenant compte de la longueur, de la section et du matériau du ou des conducteurs de liaison de protection associés.

Pour les critères d'acceptation, la résistance mesurée doit être comprise entre 90 % et 110 % de la valeur prévue.

5.2.3.12 Essai d'entrée (essai de type)

L'essai d'entrée doit être effectué pour déterminer le courant d'entrée maximal et la puissance d'entrée maximale, par essai, par calcul ou par simulation, conformément aux conditions les plus défavorables, notamment, entre autres,

- la plage de tensions d'entrée assignée,
- la plage de caractéristiques de la source de puissance,
- la puissance de sortie assignée maximale,
- le courant de sortie maximal,
- les caractéristiques de déclassement,
- le mode de fonctionnement, et
- les caractéristiques du contrôle du refroidissement.

L'essai doit être effectué pour chaque accès d'entrée d'alimentation.

Ces valeurs les plus défavorables du courant d'entrée maximal ou de la puissance d'entrée maximale de tous les accès d'entrée d'alimentation sont utilisées pour l'essai d'échauffement décrit en 5.2.3.10 et spécifiées selon 6.2.1.3.

Les normes de produits (voir Annexe S) peuvent spécifier des conditions d'essai plus précises, le cas échéant.

5.2.3.13 Essai des matériaux pelliculés (essai de type)

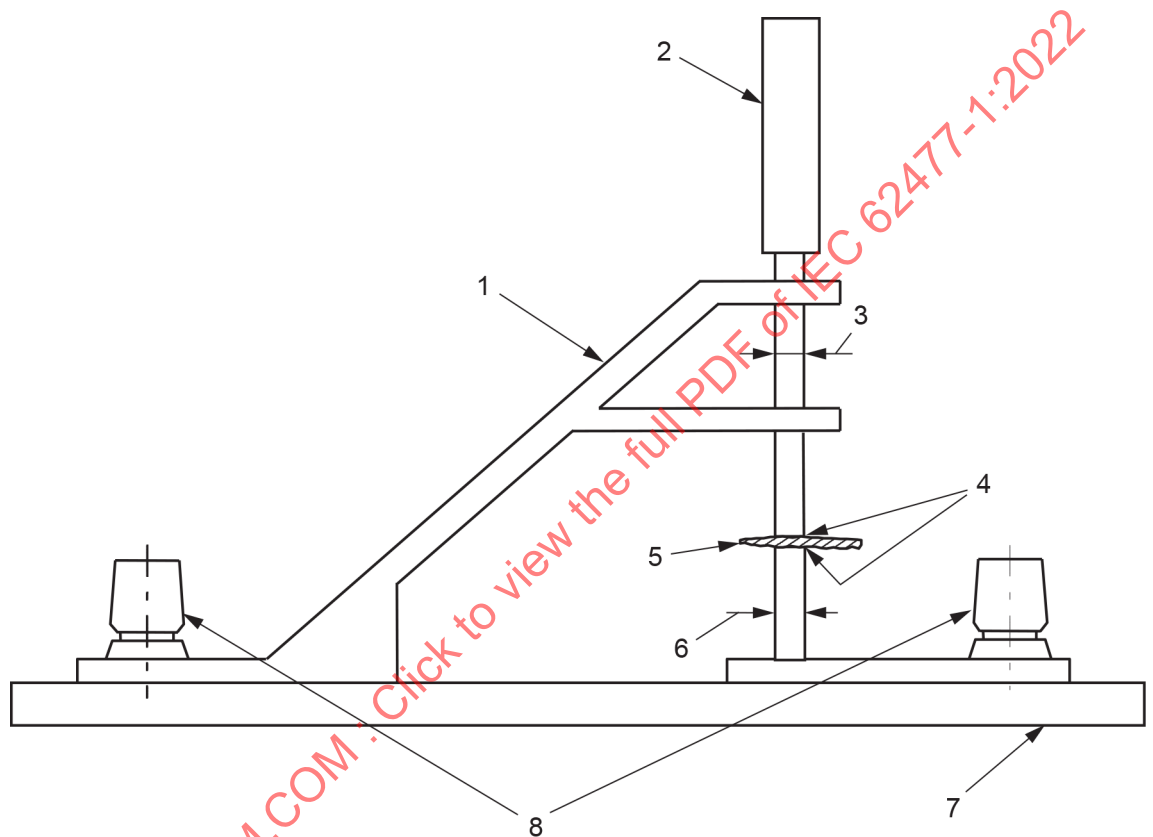
5.2.3.13.1 Généralités

Le 5.2.3.13 fournit des exigences pour les essais des matériaux pelliculés selon 4.4.7.8.3.

5.2.3.13.2 Procédure d'essai normalisée pour matériaux pelliculés non séparables (essai de type)

Une couche du matériau est placée dans l'instrument d'essai de rigidité électrique, comme cela est indiqué à la Figure 20, et les tensions d'essai conformes aux exigences du Tableau 11 s'appliquent. Afin d'éviter un claquage électrique autour des bords de la couche de matériau isolant, l'échantillon à l'essai doit être de dimensions suffisantes pour que ses bords soient maintenus à distance des tiges d'essai verticales.

Cet essai peut être ignoré pour les matériaux non séparables constitués de trois couches ou plus utilisés pour l'*isolation renforcée*, auquel cas l'essai sur mandrin décrit en 5.2.3.13.3 s'applique.



Légende

1	châssis métallique qui maintient la broche supérieure en position verticale et lui permet de se déplacer de haut en bas	5	échantillon soumis à l'essai
2	broche métallique d'une masse de 100 g	6	Ø 5 mm ± 0,1
3	Ø 5 mm ± 0,1	7	base isolante
4	bords de la broche d'essai arrondis suivant un rayon de 0,5 mm	8	bornes de tension d'essai

Figure 20 – Instrument d'essai de rigidité électrique

5.2.3.13.3 Essai sur mandrin (essai de type)

Les essais sur mandrin ont pour objet de s'assurer que le matériau présente une résistance mécanique adéquate pour résister aux dommages lorsqu'ils sont dissimulés dans les couches intérieures de l'*isolation*.

Les exigences d'essai pour l'*isolation renforcée* en matériau non séparable composé de trois couches ou plus sont spécifiées ci-dessous.

NOTE Cet essai est fondé sur l'IEC 61558-1:2017 et donne les mêmes résultats.

Trois échantillons d'essais sont utilisés. L'essai est répété sur chaque échantillon.

Chaque échantillon est fixé au mandrin du montage d'essai représenté à la Figure 21. Le montage doit être réalisé comme cela est indiqué à la Figure 22.

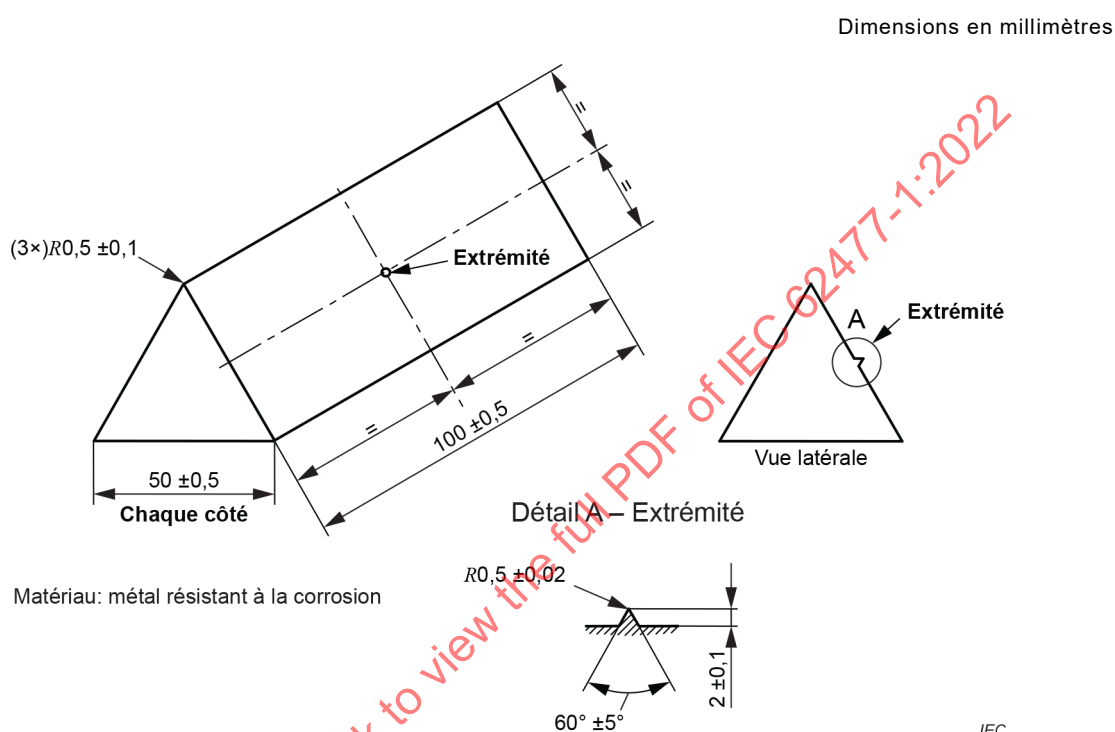
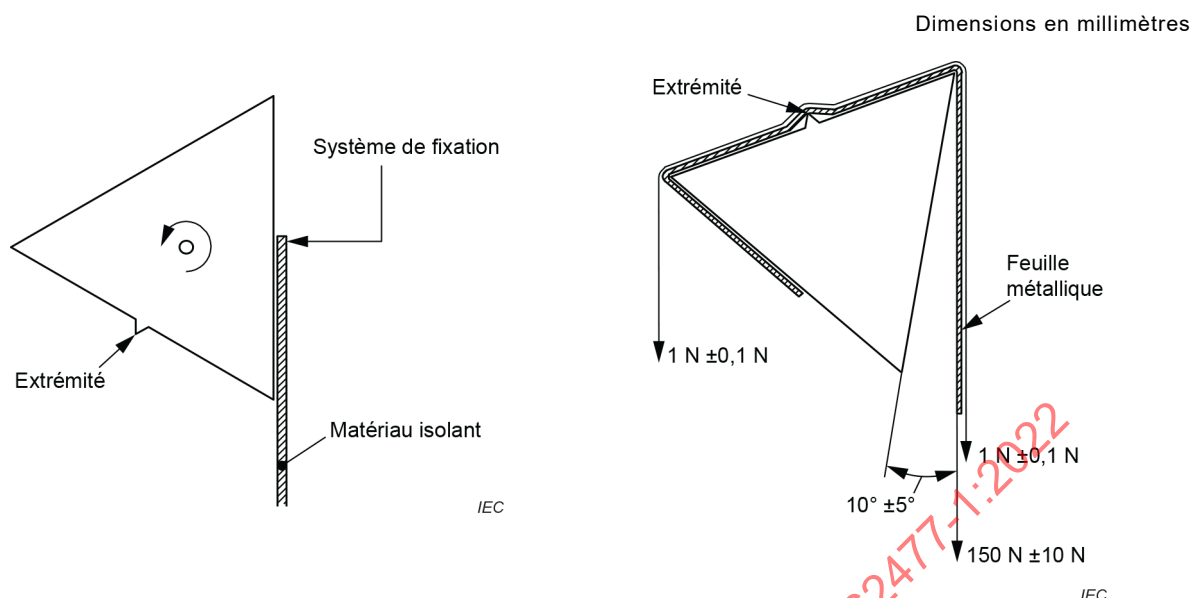


Figure 21 – Mandrin



La position finale du mandrin correspond à une rotation de $230^\circ \pm 5^\circ$ par rapport à la position initiale.

Figure 22 – Position initiale du mandrin

Figure 23 – Position finale du mandrin

Une force de traction est appliquée à l'extrémité libre de l'échantillon à l'aide d'un dispositif de serrage approprié. Le mandrin pivote

- de la position initiale (Figure 22) à la position finale (Figure 23) puis inversement, et
- une deuxième fois de la position initiale à la position finale.

Le fait qu'un échantillon se rompe pendant la rotation à l'endroit où il est fixé au mandrin ou au dispositif de serrage ne constitue pas une défaillance. Le fait qu'un échantillon se rompe à tout autre endroit constitue un échec de l'essai.

A l'issue de l'essai ci-dessus, une feuille de papier métallique d'une épaisseur de $0,035 \text{ mm} \pm 0,005 \text{ mm}$ et d'une longueur d'au moins 200 mm est placée le long de la surface de l'échantillon, suspendue de chaque côté du mandrin (voir Figure 23). La surface de la feuille en contact avec l'échantillon doit être conductrice, non oxydée ou autrement isolée. La feuille est positionnée de telle sorte que ses bords ne se trouvent pas à moins de 20 mm des bords de l'échantillon (voir Figure 24). La feuille est ensuite serrée par deux poids égaux, un à chaque extrémité, maintenus à l'aide des dispositifs de serrage appropriés.

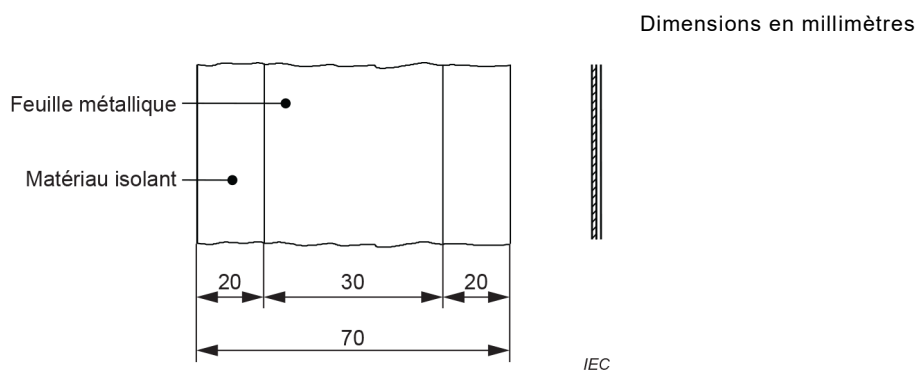


Figure 24 – Position de la feuille métallique sur le matériau isolant

Alors que le mandrin est dans sa position finale et dans les 60 s suivant le positionnement final, des essais de rigidité électrique sont appliqués entre le mandrin et la feuille métallique selon 4.4.7.10.

Pour une *isolation renforcée*, la tension d'essai U_{test} est égale à

- 100 % de la tension d'essai spécifiée pour l'essai de *tension de tenue aux chocs* du 4.4.7.10, et
- 150 % de la tension d'essai spécifiée pour l'essai de tension alternative ou continue du 4.4.7.10.

Lorsque la tension de crête de 150 % de U_{test} est inférieure à 7,1 kV, l'essai de *tension de tenue aux chocs* et l'essai de tension en courant alternatif ou en courant continu doivent être remplacés par un essai de tension en courant alternatif de 5 kV efficace.

5.2.3.14 Détermination de la *tension de fonctionnement* (essai de type)

Lorsque le 4.4.7.1.2 l'exige, la *tension de fonctionnement* doit être déterminée

- à l'intérieur des circuits,
- par rapport aux *circuits adjacents*, et
- par rapport à la *mise à la terre de protection*.

Voir A.5.1, A.5.3, A.5.4 et A.5.5 pour des recommandations concernant l'évaluation des formes d'onde de tension.

5.2.3.15 Essai de surveillance du SPD interne (essais de type)

Un PECS équipé d'un SPD interne avec un circuit de surveillance tel que décrit en 4.4.7.2.2 doit être soumis à cet essai. Chaque SPD d'un échantillon du PECS doit être mis à tour de rôle en court-circuit ou en circuit ouvert, si ce dernier constitue le cas le plus défavorable. Le PECS doit être relié à sa source d'alimentation nominale. Le PECS doit être surveillé afin de déterminer s'il détecte et indique la défaillance du SPD.

5.2.3.16 Conditionnement préalable du matériau (essai de type)

Lorsque le 4.4.7.8.4.2, le 4.4.7.8.4.3 ou le 4.4.7.9 l'exige, le conditionnement préalable suivant, conformément au 5.7 de l'IEC 60664-3:2016, doit être effectué avant de procéder aux *essais de type* sur le même échantillon. Le nombre exigé d'échantillons est indiqué au 4.4.7.8.4.2, 4.4.7.8.4.3 ou 4.4.7.9 applicable:

- 1) l'essai de chaleur sèche selon 5.2.6.3.1; suivi de
- 2) l'essai de changement rapide de température de -25 °C à +125 °C pendant 50 cycles selon l'IEC 60664-3:2016, 5.7.4 (essai Na de l'IEC 60068-2-14); suivi de
- 3) l'essai de chaleur humide selon 5.2.6.3.2.

5.2.4 Essais de *fonctionnement anormal* et de défauts simulés

5.2.4.1 Généralités

La protection contre les risques de dangers thermiques, liés à l'énergie et de chocs électriques en cas de *condition anormale de fonctionnement* ou de *condition de premier défaut* d'un PECS selon 4.2 et 4.3, combiné avec son *installation*, doit être évaluée par

- a) les essais définis en 5.2.4, ou
- b) un calcul ou une simulation fondé(e) sur des essais tels que définis en 5.2.4.4 et 5.2.4.6 sur un modèle représentatif de PECS, où aucun dommage autre que l'ouverture des *dispositifs de protection contre les surintensités* ou du *dispositif de protection contre les courts-circuits* ne s'est produit sur l'échantillon d'essai.

NOTE Un modèle représentatif contient un *PECS* avec des éléments de puissance similaires (par exemple des *semiconducteurs 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 du *PECS* à l'étude.

Avant de réaliser l'ensemble des essais de *fonctionnement anormal*, l'échantillon d'essai doit être monté, raccordé et mis en fonctionnement comme cela est décrit dans l'essai d'échauffement (voir 5.2.3.10).

Les défauts simulés ou les *conditions anormales de fonctionnement* doivent être appliqués un par un et l'un après l'autre. Les défauts qui sont la conséquence directe d'un défaut simulé ou de *conditions anormales de fonctionnement* sont considérés comme une partie de ce défaut simulé ou de la *condition anormale de fonctionnement*.

Pour le cas d'un *PECS* livré sans *enveloppe*, une cage en treillis métallique d'une fois et demie les dimensions linéaires de la partie du *PECS* à l'étude doit être utilisée pour simuler l'*enveloppe* prévue.

Le *PECS* et la cage en treillis métallique (s'il y a lieu) doivent être mis à la terre conformément aux exigences du 4.4.4.2.2.

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* et de la cage en treillis métallique (s'il y a lieu), de manière à ne pas affecter sensiblement le refroidissement.

Lorsque le *PECS* soumis à l'essai fait état, dans sa documentation, d'exigences de moyens externes de protection contre les défauts, ces moyens spécifiques doivent être fournis pour l'essai.

Les tensions des *circuits accessibles* de *DVC As*, ainsi que des *parties accessibles* conductrices mises à la terre et non mises à la terre doivent être surveillées.

L'alimentation doit être capable de fournir le *courant de court-circuit présumé* spécifié (voir 4.3.1) la borne de station d'essai à laquelle le *PECS* est raccordé, sauf si l'analyse en 4.2 montre qu'une valeur inférieure peut être utilisée.

La longueur totale du câble (aller et retour) ne doit pas dépasser 2 m. Cette longueur peut être dépassée, auquel cas le *courant de court-circuit présumé* spécifié doit être étalonné aux bornes du *PECS*.

Les essais individuels doivent être réalisés jusqu'à l'activation d'un dispositif ou mécanisme de protection (interne ou externe), la défaillance d'un *composant* qui interrompt la condition de défaut ou la stabilisation des températures.

5.2.4.2 Critères d'acceptation

A la suite du défaut simulé des essais de *fonctionnement anormal*, le *PECS* doit satisfaire aux conditions suivantes:

- a) il ne doit y avoir aucune émission de flamme, de particules incandescentes ou de métal fondu;
- b) l'indicateur en coton hydrophile ne doit pas s'être enflammé;
- c) le raccordement à la terre et la *liaison équipotentielle de protection* du *PECS* ne doivent pas être ouverts;
- d) les portes et capots de protection doivent rester en place;

e) les *circuits accessibles* de DVC As

- 1) ne doivent pas présenter, pendant l'essai, de tensions supérieures aux tensions à dépendance temporelle du Tableau 2, de la Figure 5, de la Figure 6 et de la Figure 7, selon le cas, ou
 - 2) doivent permettre de démontrer qu'ils sont restés séparés des *parties actives dangereuses* en effectuant l'essai de tension en courant alternatif ou en courant continu selon 5.2.3.4 pour la *protection principale* après l'essai;
- f) pendant et après l'essai, les *parties actives dangereuses* ne doivent pas être *accessibles*;
- g) aucun conducteur considéré comme une *partie active dangereuse* ne doit être extrait de sa borne d'extrémité;
- h) aucune partie ne doit être éjectée.

Le PECS doit satisfaire à l'essai de tension en courant alternatif ou en courant continu selon 5.2.3.4 à la suite des essais de *fonctionnement anormal* selon 5.2.4.7, 5.2.4.8 et 5.2.4.9 pour la *protection principale*. Un seul échantillon peut être utilisé pour plusieurs essais; dans ce cas, l'essai de tension en courant alternatif ou en courant continu peut être effectué après chaque essai ou après l'essai final de la séquence.

Il n'est pas nécessaire que le PECS fonctionne après les essais et il est possible que l'*enveloppe* puisse se déformer. Le *dispositif de protection contre les surintensités* intégré au PECS, ou qu'il est exigé d'utiliser avec le PECS, peut être ouvert.

5.2.4.3 Essai de la *liaison équipotentielle de protection* (essai de type)

5.2.4.3.1 Généralités

Lorsque cela est exigé en 5.2.3.11.1, un chemin de *liaison équipotentielle de protection* doit être soumis à l'essai de tenue aux courts-circuits suivant.

5.2.4.3.2 Conditions d'essai

Le PECS à l'essai doit être alimenté en puissance et l'accès de sortie doit fonctionner comme prévu en 5.2.4.1 avant de fermer le dispositif de coupure qui établit le court-circuit, à moins que la mise sous tension du PECS avec le court-circuit déjà établi ne représente une condition plus sévère.

L'essai de court-circuit de la *liaison équipotentielle de protection* doit être réalisé avec le PECS fonctionnant à faible charge, à moins qu'une analyse ne démontre qu'un courant de court-circuit plus important apparaît lorsque les conditions de charge sont plus importantes.

Le PECS peut être soumis à l'essai hors tension et ne fonctionnant pas comme prévu avant l'essai de *liaison équipotentielle de protection*, sauf si une analyse démontre que le résultat de l'essai est affecté.

Un nouvel échantillon peut être utilisé pour chaque essai de court-circuit.

5.2.4.3.3 Méthode d'essai de court-circuit de la *liaison équipotentielle de protection*

Le courant d'essai est appliqué en raccordant la *partie accessible* à l'étude à un des conducteurs du circuit de la source d'essai par l'intermédiaire d'un dispositif de coupure qui ne limite pas la valeur du courant de court-circuit. Le commutateur doit être inséré de telle sorte que la source soit mise en court-circuit à travers la *partie accessible* et son chemin de *liaison équipotentielle de protection* à la borne de *terre de protection* du circuit source concerné. Le raccordement du commutateur de court-circuitage doit se faire avec des câbles de la section spécifiée pour le *conducteur de mise à la terre de protection* de l'*installation*, et la longueur des câbles doit être limitée à 2 m. Si la dimension du PECS nécessite une longueur plus grande, la longueur doit être aussi courte que possible pour permettre de réaliser l'essai et le courant de court-circuit doit être étalonné à l'entrée du produit.

5.2.4.3.4 Critères d'acceptation

A la fin de l'essai, en plus des critères d'acceptation du 5.2.4.2, il ne doit y avoir aucun dommage sur les dispositifs de *liaison équipotentielle de protection* en essai. La conformité doit être vérifiée par *inspection visuelle* à 5.2.1, et si nécessaire, par l'essai de continuité de la *liaison équipotentielle de protection (essai individuel de série)* selon 5.2.3.11.4.

5.2.4.4 Essai de court-circuit en sortie (essai de type)

5.2.4.4.1 Conditions de charge

Lorsque le 4.3.2.2 l'exige, l'essai de court-circuit doit être effectué avec le *PECS* à pleine charge ou à une charge plus faible, en retenant le cas qui génère la condition la plus sévère.

5.2.4.4.2 Méthode d'essai de court-circuit

Les bornes d'accès de sortie de puissance doivent être équipées d'un câble d'une section spécifiée pour l'*installation* raccordé à un dispositif de coupure approprié qui ne limite pas le courant de court-circuit. La longueur de chaque boucle doit être d'environ 2 m, à moins que la dimension du *PECS* ne nécessite une longueur supérieure, auquel cas la longueur doit être aussi courte que possible pour réaliser l'essai.

Le *PECS* à l'essai doit être alimenté en puissance et l'accès de sortie doit fonctionner comme prévu avant de fermer le dispositif de coupure qui établit le court-circuit, à moins que la mise sous tension du *PECS* avec le court-circuit déjà établi ne représente une condition plus sévère.

Les essais doivent comprendre des essais individuels de chaque accès de sortie lorsque des combinaisons d'au moins deux bornes, y compris la terre, sur chaque accès individuel sont soumises aux essais de court-circuit sur les bornes concernées.

Un nouvel échantillon peut être utilisé pour chaque essai de court-circuit.

En complément à la détermination de la conformité avec les critères du 5.2.4.2, cet essai est utilisé pour déterminer la caractéristique assignée du *courant de court-circuit en sortie* de l'accès à l'étude, selon 4.3.2.4. Un oscilloscope ou autre instrument approprié doit être utilisé pour mesurer le courant de crête pendant l'essai, et pour mesurer ou calculer la valeur efficace du courant.

La ou les valeurs à consigner et à fournir avec la documentation, selon 6.2, sont le courant de crête et la valeur la plus élevée des valeurs efficaces du courant mesurées ou calculées pendant une durée donnée, comme suit:

- a) pour les signaux en courant alternatif, trois cycles de la fréquence nominale en courant alternatif pour l'accès à l'étude, auquel cas la valeur doit être spécifiée comme la valeur efficace de trois cycles;
- b) pour tous les signaux, la durée du court-circuit entre le moment où le court-circuit est appliqué et celui où il est interrompu par un dispositif de protection ou autre mécanisme, auquel cas la valeur spécifiée doit comprendre la valeur efficace et la durée en secondes; et
- c) pour les essais de court-circuit qui donnent lieu à une valeur continue non nulle, la valeur efficace en régime permanent, auquel cas la valeur doit être spécifiée comme une valeur efficace continue.

Pour le *PECS* à protection contre le court-circuit interne selon 4.3.2.4, qui protège l'accès de sortie dans un délai de quelques μ s, les exigences spécifiées en a), b) et c) ci-dessus ne s'appliquent pas.

Le *PECS* doit satisfaire aux critères d'acceptation du 5.2.4.2.

5.2.4.4.3 Essai de tenue au *courant de courte durée admissible* (I_{cw}) (essai de type)

5.2.4.4.3.1 Généralités

Selon les exigences du 4.3, l'essai de tenue au *courant de courte durée admissible* doit être réalisé comme un *essai de type* afin de vérifier la sécurité du *PECS*.

Les courts-circuits sont appliqués dans le *PECS* à des emplacements spécifiés dans l'évaluation du 4.2 de manière à exposer les bornes et autres parties situées dans le chemin de courant de défaut au courant de court-circuit.

5.2.4.4.3.2 Méthode d'essai de tenue au *courant de courte durée admissible*

Les bornes d'accès d'entrée du *réseau* doivent être équipées d'un câble avec une section spécifiée pour l'*installation*.

Si un dispositif de coupure est utilisé pour initier le court-circuit ou mettre sous tension le *PECS*, il ne doit pas limiter le courant d'essai.

Les essais doivent comprendre des essais individuels pour chaque accès d'entrée du *réseau*. La combinaison de bornes la plus défavorable (y compris le neutre et la terre) doit être soumise à un essai de court-circuit.

Le *PECS* peut être soumis à l'essai hors tension et ne fonctionnant pas comme prévu avant l'essai de tenue au court-circuit, s'il peut être démontré que le résultat de l'essai n'a pas été affecté.

Un nouvel échantillon peut être utilisé pour chaque essai de court-circuit.

Le Tableau 32 donne la méthode d'essai en courant alternatif comme exigence minimale pour le *PECS*. Les exigences relatives au courant continu sont à l'étude.

Si la valeur I_{cp} spécifiée est supérieure à celle indiquée dans le Tableau 32, les courants d'essai recommandés sont: 16 kA, 20 kA, 25 kA, 35 kA, 50 kA, 65 kA, 85 kA, 100 kA.

En fonction des caractéristiques du *PECS*, les valeurs réelles observées au cours de l'essai peuvent être différentes de celles présentées dans le Tableau 32, auquel cas les valeurs observées doivent être utilisées pour la déclaration de I_{cw} .

Tableau 32 – Essai de tenue au courant alternatif de courte durée admissible, exigences minimales applicables au PECS

Courant d'entrée assigné du PECS I (valeur efficace) A	Courant d'essai présumé ^a		Rapport de courant de crête asymétrique initial ^e (I_{pk} / I_{cw})	Durée minimale du courant d'essai présumé ^{f, g} ms
	I_{cp} (valeur efficace) A ^b	Facteur de puissance type ^e		
$I \leq 16$	1 000 ^{c d}	0,95	1,42	100
	3 000	0,9		
$16 < I \leq 75$	6 000	0,7	1,53	100
$75 < I \leq 400$	10 000	0,5	1,70	100
$400 < I \leq 500$	10 000	0,5	1,70	100
$500 < I$	$20 \times I$ ou 50 kA si cette dernière valeur est plus faible	$0,5 - 0,3 \times (I_{cp} / 20 - 500) / 2\,000$ ou 0,2, si cette dernière valeur est plus élevée	$(0,5 I_{cp} / 20 + 3\,150) / 2\,000$ ou 2,2, si cette dernière valeur est plus faible	100

^a Le courant d'essai présumé, dans le contexte du présent document, doit être compris comme le *courant de court-circuit présumé* (I_{cp}); voir 3.58.

^b Valeurs compatibles avec le Tableau 6 de l'IEC 60947-6-1:2021.

^c PECS enfichable seulement.

^d Le courant de défaut type des réseaux d'alimentation publics de courant assigné inférieur ou égal à 75 A et destinés à alimenter des matériels de courant assigné inférieur ou égal à 16 A peut être calculé à partir des impédances de référence données dans l'IEC TR 60725:2012: conducteur de phase $0,24 + j0,15 \, \Omega$ et conducteur de neutre $0,16 + j0,10 \, \Omega$. Pour une alimentation de 230 V/400 V, cela entraîne des courants de défaut types de 0,5 kA (230 V) et 0,7 kA (400 V).

^e D'après le Tableau 16 de l'IEC 60947-1:2020.

^f Si une durée plus courte est souhaitée, la valeur I_{cc} définie selon 4.3.2.2 peut être spécifiée.

^g Pour assurer la compatibilité totale avec le DPCC externe afin d'éliminer le défaut pendant la durée spécifiée, il convient de prendre en considération une durée minimale plus longue et de spécifier le cas dans lequel la durée spécifiée doit être utilisée pour l'essai. Voir également IEC 61439-1:2020, 5.3.4.

5.2.4.4.3 Critères d'acceptation

A l'issue de l'essai de tenue au *courant de courte durée admissible* (I_{cw}), le PECS doit satisfaire aux critères d'acceptation du 5.2.4.2.

5.2.4.5 Essai de surcharge en sortie (essai de type)

L'essai de surcharge doit être effectué après le conditionnement préalable du PECS en le faisant fonctionner à la charge assignée jusqu'à obtention d'une stabilisation thermique. Chaque accès de sortie du PECS et chaque section d'une sortie à prises doivent être surchargés tour à tour, un à la fois. Les autres accès de sorties et enroulements sont chargés ou non, si cette dernière condition de charge est la plus défavorable en usage prévu.

La surcharge est réalisée en raccordant une charge variable à l'accès de sortie ou à l'enroulement. La charge est ajustée aussi rapidement que possible, et réajustée, si nécessaire, 1 min après pour maintenir la surcharge applicable. Aucun réajustement ultérieur n'est ensuite autorisé.

Si une protection contre les surintensités est assurée par un dispositif ou circuit sensible au courant, le courant d'essai de surcharge est le courant maximal que le *dispositif de protection contre les surintensités* est en mesure de faire passer pendant 1 h. Avant de procéder à l'essai, le *dispositif de protection contre les surintensités* est rendu inopérant ou remplacé par une liaison d'impédance négligeable. L'essai doit être arrêté après 1 h.

Pour le *PECS* dont la tension de sortie est conçue pour chuter lorsqu'un courant de surcharge spécifié est atteint, la surcharge est lentement augmentée jusqu'au point de puissance de sortie maximale avant le point à l'origine de la chute de la tension de sortie.

Dans tous les autres cas, la charge est la valeur maximale de la sortie de puissance qu'il est possible d'obtenir de l'accès de sortie.

Le *PECS* doit satisfaire aux critères d'acceptation du 5.2.4.2.

5.2.4.6 Essai de défaillance de composants (essai de type)

5.2.4.6.1 Conditions de charge

La défaillance d'un *composant*, identifiée à la suite de l'analyse du 4.2, doit être soumise à l'essai avec le *PECS* à pleine charge ou plus faible, si cette dernière valeur génère la condition la plus sévère.

5.2.4.6.2 Application d'un court-circuit ou d'un circuit ouvert

Le court-circuit doit être appliqué à l'aide d'un câble d'une section appropriée au courant qui circule normalement dans le *composant*, sans toutefois être inférieure à 2,5 mm². La longueur de la boucle doit être aussi courte que possible pour réaliser l'essai. Les courts-circuits et circuits ouverts sont appliqués avec un dispositif de coupure approprié.

Chaque *composant* identifié ne doit être soumis qu'à un seul essai de défaillance de *composants*, à moins que les modes de défaillance en circuit ouvert et de défaillance en court-circuit soient probables dans le *composant* concerné.

5.2.4.6.3 Séquence des essais

Pour l'essai de défaillance de *composants*, les *composants* identifiés doivent être mis en court-circuit ou en circuit ouvert, selon ce qui génère le danger le plus important, l'un après l'autre.

Le *PECS* doit satisfaire aux critères d'acceptation du 5.2.4.2.

5.2.4.7 Essai de court-circuit des matériaux (essai de type)

Une *isolation fonctionnelle* fournie par des *distances d'isolement* et des *lignes de fuite* plus faibles que celles spécifiées dans le Tableau 8 et le Tableau 9 doit être soumise à l'essai de *type* décrit ci-dessous.

Les *distances d'isolement* et *lignes de fuite* réduites doivent être court-circuitées une par une, sur des échantillons représentatifs, et le court-circuit doit être maintenu jusqu'à ce que plus aucun autre dommage ne survienne.

Le *PECS* doit satisfaire aux critères d'acceptation du 5.2.4.2.

5.2.4.8 Essai de perte de phase (*essai de type*)

Un *PECS* multiphase doit fonctionner avec chacune des phases (y compris la ligne neutre, si elle est utilisée) déconnectées à tour de rôle à l'entrée. L'essai doit être effectué en déconnectant une phase, le *PECS* fonctionnant à la charge normale maximale, et doit être répété à la mise sous tension initiale du *PECS* avec un conducteur débranché.

S'il peut être déterminé de façon décisive que la déconnexion d'une seule phase entraîne une condition plus sévère, par exemple la déconnexion de la phase avec le dispositif de protection le moins susceptible de répondre à la perte de phase, alors l'essai peut être effectué en déconnectant seulement cette phase au lieu de chaque phase à tour de rôle.

L'essai doit se poursuivre jusqu'à l'activation d'un mécanisme de protection, une défaillance de *composant* ou la stabilisation de la température.

La conformité peut être simulée pour un *PECS* avec un courant d'entrée assigné supérieur à 500 A.

Le *PECS* doit satisfaire aux critères d'acceptation du 5.2.4.2.

NOTE Si des fusibles sont utilisés, une tension peut subsister au niveau de la phase ouverte, causée par des impédances internes dans le *PECS* raccordé entre les phases.

5.2.4.9 Essais de défaillance du système de refroidissement (*essais de type*)

5.2.4.9.1 Généralités et critères d'acceptation

Pour un *PECS* qui associe plusieurs mécanismes de refroidissement, tous les essais appropriés doivent être effectués. Il n'est pas nécessaire d'effectuer les essais simultanément.

L'essai doit se poursuivre jusqu'à

- stabilisation de la température, auquel cas les limites de température du 4.6.4.3 s'appliquent, ou
- activation d'un mécanisme de protection ou une défaillance de *composant*, auquel cas les limites de température des *parties accessibles* du 4.6.4.3 ne peuvent être dépassées de plus de 5 °C. Si cela n'est pas réalisable, un avertissement doit être mentionné dans la documentation.

NOTE L'augmentation de température de 5 °C pour ce qui concerne les limites en régime permanent reflète la répartition du seuil de brûlure donné dans le Guide 117:2010 de l'IEC.

Le *PECS* doit satisfaire aux critères d'acceptation du 5.2.4.2.

5.2.4.9.2 Essai de moteur de ventilateur inopérant (*essais de type*)

Un *PECS* qui dispose d'une ventilation forcée doit être utilisé à la charge assignée avec un ou plusieurs moteurs de ventilateur rendus inopérants en empêchant physiquement leur rotation. En présence de plusieurs moteurs de ventilateur, l'analyse selon 4.2 doit démontrer s'ils doivent être bloqués l'un après l'autre ou plusieurs en même temps, compte tenu d'une *condition de premier défaut*.

NOTE Afin d'éviter les dangers pendant cet essai, la prévention physique de la rotation peut être effectuée avant la mise sous tension du moteur de ventilateur.

Le *PECS* doit satisfaire aux critères d'acceptation du 5.2.4.2.

5.2.4.9.3 Essai de filtre colmaté (*essais de type*)

Les *PECS* sous enveloppe qui disposent d'ouvertures de ventilation filtrées doivent être utilisés à la charge assignée avec leurs ouvertures fermées afin de simuler des filtres colmatés.

L'essai doit d'abord être effectué avec les ouvertures de ventilation fermées à 50 %. L'essai doit être répété avec les ouvertures de ventilation fermées à 100 %.

Le *PECS* doit satisfaire aux critères d'acceptation du 5.2.4.2.

5.2.4.9.4 Essai de perte de liquide de refroidissement (essai de type)

Un *PECS* à refroidissement liquide doit fonctionner à la charge assignée. La perte du liquide de refroidissement doit être simulée en vidangeant le liquide de refroidissement, en bloquant le flux ou en désactivant la pompe du liquide de refroidissement du *système*.

Si le *PECS* est arrêté par suite du fonctionnement d'un dispositif thermique de mesure de la température du liquide de refroidissement, l'essai doit alors être répété après avoir purgé le liquide de refroidissement du *système*.

NOTE Il est admis par hypothèse que le dispositif thermique n'est pas en mesure de fonctionner si le circuit de liquide de refroidissement n'est pas purgé.

Le *PECS* doit satisfaire aux critères d'acceptation du 5.2.4.2.

5.2.4.9.5 Essai de couverture des ouvertures pour l'air de refroidissement (essai de type)

Si les surfaces supérieure, latérales, inférieure et arrière du *PECS* sous enveloppe sont équipées d'ouvertures pour le refroidissement, celles-ci doivent être recouvertes une par une.

Toutes les ouvertures d'un *PECS* conçu comme un *matériel déplaçable* sont couvertes simultanément.

Les ouvertures au-dessus de 1,8 m n'ont pas besoin d'être bloquées.

Le *PECS* doit satisfaire aux critères d'acceptation du 5.2.4.2.

5.2.5 Essais des matériaux

5.2.5.1 Généralités

Si le 4.4.7.8.2 l'exige, les propriétés d'inflammabilité des matériaux utilisés à des fins isolantes doivent être soumises à l'essai, comme cela est défini en 5.2.5.2, en 5.2.5.3 et en 5.2.5.4.

Lorsque le 4.6.3.2 l'exige, les propriétés d'inflammabilité des matériaux utilisés pour l'*enveloppe contre le feu* doivent être soumises à l'essai, comme cela est défini en 5.2.5.5.

5.2.5.2 Essai d'inflammation par formation d'arc sous courant électrique élevé (essai de type)

Cinq échantillons de chaque matériau isolant (voir Figure 25) à soumettre à l'essai sont utilisés. Les échantillons doivent avoir une longueur minimale de 130 mm, une largeur de 13 mm et une épaisseur uniforme qui représente la section la plus mince de la partie. Les arêtes doivent être exemptes de toutes bavures, ailettes, etc.

Chaque essai est effectué avec une paire d'électrodes et une charge à impédance inductive variable reliée en série à une source de courant de 220 V à 240 V en courant alternatif, 50 Hz ou 60 Hz (voir Figure 25).

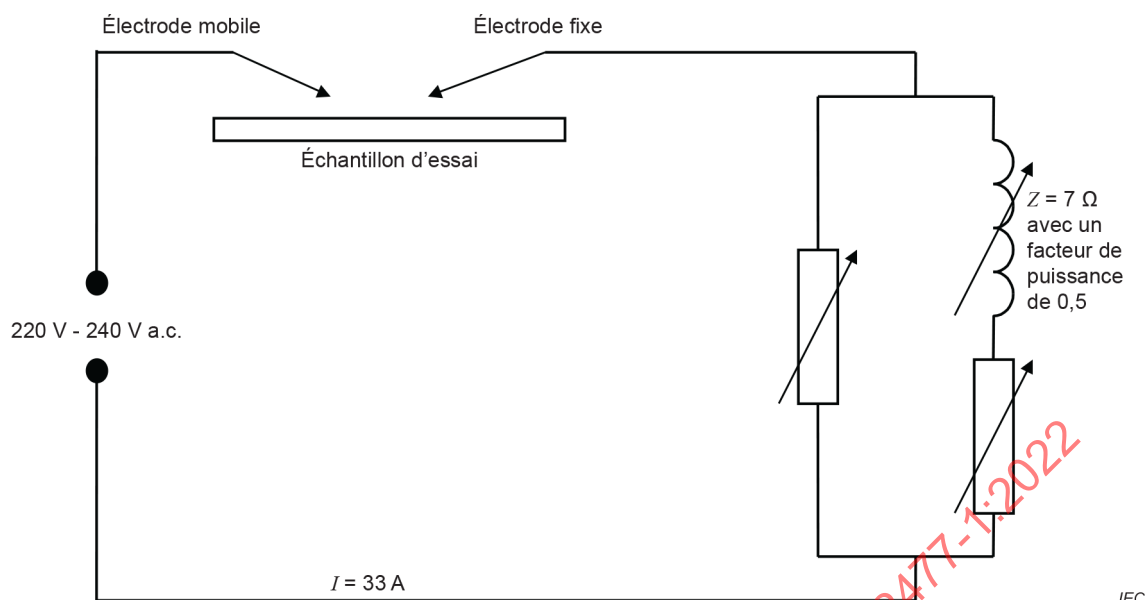


Figure 25 – Circuit pour essai de formation d'arc à courant élevé

Il est admis d'utiliser un circuit équivalent.

Une électrode est fixe et l'autre est mobile. L'électrode fixe se compose d'un conducteur en cuivre massif d'un diamètre de 3,5 mm avec une pointe qui forme un angle de 30° . L'électrode mobile est une tige d'acier inoxydable de 3 mm de diamètre avec une pointe conique symétrique qui a un angle total de 60° et qui peut être déplacée le long de son axe. Le rayon de courbure des extrémités des électrodes ne dépasse pas 0,1 mm au début d'un essai donné. Les électrodes sont disposées l'une en face de l'autre, dans le même plan, à un angle de 45° par rapport à l'horizontale. Avec les électrodes en court-circuit, l'impédance inductive variable est réglée jusqu'à ce que le courant soit de 33 A avec un facteur de puissance de 0,5.

L'échantillon soumis à l'essai repose sur un plan horizontal à l'air libre ou sur une surface non conductrice de sorte que les électrodes, lorsque l'une touche l'autre, sont en contact avec la surface de l'échantillon. L'électrode mobile est commandée de façon manuelle ou par tout autre moyen de sorte qu'elle puisse être désolidarisée de l'électrode fixe pour rompre le circuit, et abaissée pour le rétablir, afin que se produise une série d'arcs à un rythme d'environ 40 arcs/min, avec une vitesse de séparation de $250 \text{ mm/s} \pm 25 \text{ mm/s}$.

L'essai se poursuit jusqu'à ce que l'échantillon s'enflamme, qu'un trou se forme dans l'échantillon ou qu'un nombre total de 200 arcs ait eu lieu.

Le nombre moyen d'arcs nécessaires à l'inflammation des échantillons soumis à l'essai ne doit pas être inférieur à 15 pour les matériaux de classe V-0 et à 30 pour les autres matériaux.

5.2.5.3 Essai au fil incandescent (essai de type)

L'essai au fil incandescent doit être effectué selon l'IEC 60695-2-10:2013, l'IEC 60695-2-13:2010 et l'IEC 60695-2-13:2010/AMD1:2014 aux conditions spécifiées en 4.4.7.8.2.

Si l'essai doit être réalisé à plus d'un endroit sur le même échantillon, il convient de s'assurer que toute déformation causée par des essais précédents n'affecte pas l'essai à réaliser.

NOTE Selon la classification d'utilisation du PECS, l'essai au fil incandescent est effectué à une température d'essai inférieure selon le Tableau 1 de l'IEC 60695-2-11:2021, mais d'au moins 550°C , ou à la température applicable de 850°C . La température de l'essai est issue de l'Annexe A de l'IEC 60695-2-11:2021 pour un matériel utilisé sans surveillance et chargé en continu.

5.2.5.4 Essai d'inflammation au fil chaud (*essai de type*)

L'essai d'inflammation au fil chaud est une alternative à l'essai au fil incandescent.

Cinq échantillons de chaque matériau isolant (voir Figure 26) sont soumis à l'essai. Les échantillons doivent avoir une longueur minimale de 130 mm, une largeur de 13 mm et une épaisseur uniforme qui représente la section la plus mince de la partie. Les arêtes doivent être exemptes de toutes bavures, ailettes, etc.

Un fil de nichrome d'une longueur de $250 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ (composition nominale de 80 % de nickel, 20 % de chrome, sans fer), d'un diamètre d'environ 0,5 mm et avec une résistance à froid proche de $5 \Omega/\text{m}$ est utilisé. Le fil est relié sur toute sa longueur à une source de puissance variable qui est réglée afin de générer une puissance de $0,25 \text{ W/mm} \pm 0,01 \text{ W/mm}$ dans le fil pendant une durée de 8 s à 12 s. Après refroidissement, le fil est enroulé autour d'un échantillon afin de constituer cinq tours complets séparés de 6 mm.

L'échantillon enroulé repose sur un plan horizontal (voir Figure 26 et les extrémités du fil sont reliées à la source de puissance variable, qui fait de nouveau l'objet d'un réglage pour générer une puissance de $0,25 \text{ W/mm} \pm 0,01 \text{ W/mm}$ dans le fil.

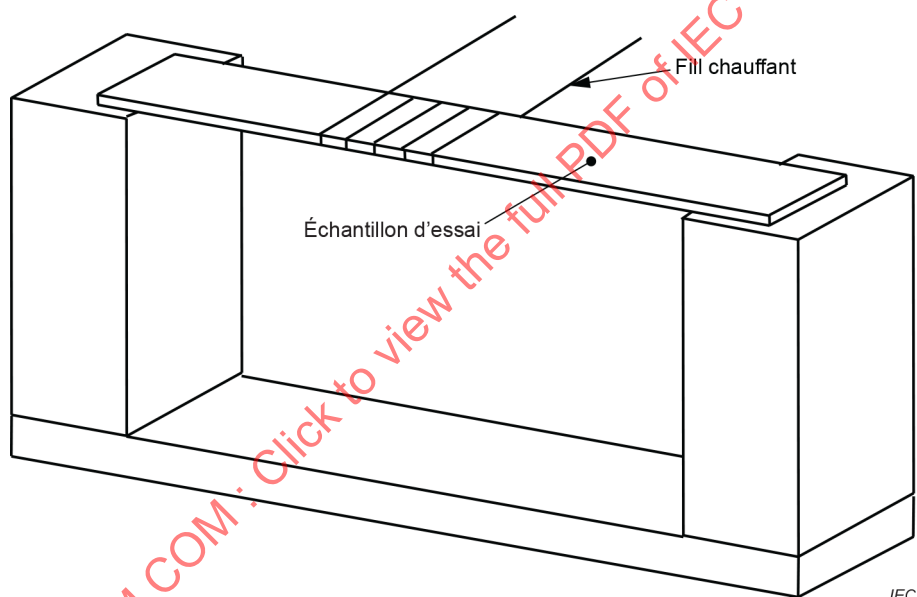


Figure 26 – Montage pour essai d'inflammation au fil chaud

L'essai se poursuit jusqu'à ce que l'échantillon s'enflamme ou que 120 s se soient écoulées. Lorsque l'inflammation se produit ou que 120 s se sont écoulées, l'essai est interrompu et la durée de l'essai est consignée. Pour les échantillons qui fondent sous le fil sans s'enflammer, l'essai est interrompu lorsque l'échantillon n'est plus entièrement en contact avec l'ensemble des cinq tours de fil chauffant.

L'essai est répété avec les échantillons restants.

Le temps d'inflammation moyen des échantillons soumis à l'essai ne doit pas être inférieur à 15 s.

5.2.5.5 Essai d'inflammabilité (*essai de type*)

Lorsque le 4.6.3.2 l'exige, la conformité est vérifiée par l'essai d'inflammabilité comme suit.

Trois échantillons du *PECS* complet ou trois échantillons d'essai de son *enveloppe* constitutive (voir 4.6.3) doivent être soumis à cet essai. Les *composants* et autres parties susceptibles d'exercer une influence sur les performances du matériel doivent être laissés en place. Les échantillons d'essai doivent être conditionnés dans un four à circulation d'air entièrement ventilé pendant sept jours à une température supérieure de 10 °C à la température d'utilisation maximale, comme cela est déterminé par l'essai d'échauffement en 5.2.3.10, mais en aucun cas inférieure à 70 °C. Avant l'essai, les échantillons doivent être conditionnés pendant une durée minimale de 4 h à une température de 23 °C ± 2 °C et à une humidité relative de 45 % à 55 %. La flamme doit être appliquée sur une surface interne de l'échantillon en un point jugé susceptible de s'enflammer du fait de sa proximité immédiate avec une source d'inflammation, y compris les surfaces qui comportent des orifices d'aération. Lorsque plusieurs parties se trouvent à proximité immédiate d'une source d'inflammation, chaque échantillon doit être soumis à l'essai en appliquant la flamme en un point différent.

Les trois échantillons d'essai doivent présenter les performances acceptables décrites ci-dessous. En cas de non-conformité de l'un des échantillons, l'essai doit être répété sur un ensemble de trois nouveaux échantillons, la flamme étant appliquée dans les mêmes conditions que celles utilisées pour l'échantillon qui n'a pas satisfait à l'essai. Le matériau est déclaré acceptable si tous les nouveaux échantillons sont conformes aux exigences décrites ci-dessous.

Le brûleur de laboratoire, le réglage et l'étalonnage doivent être identiques à ceux décrits dans l'IEC 60695-11-20:2015.

Lorsqu'une *enveloppe* complète est utilisée pour réaliser l'essai à la flamme, l'échantillon doit être monté tel que prévu lors de son utilisation, dans la mesure où cela n'affecte pas l'essai à la flamme, à savoir dans une enceinte ou une *enveloppe* d'essai, voire une hotte de laboratoire, non ventilée. Une couche de coton hydrophile pur doit être placée à une distance de 305 mm en dessous du point d'application de la flamme d'essai. La flamme de 127 mm doit être appliquée en tout point de la surface interne de la partie jugée susceptible de s'enflammer (du fait de sa proximité immédiate avec des parties actives ou qui participent à la formation de l'arc, des bobines, des câblages et éléments similaires) à un angle, dans la mesure du possible, d'environ 20° par rapport à la verticale de façon à ce que la pointe du dard bleu touche l'échantillon. La flamme d'essai doit être appliquée en trois points différents sur chacun des trois échantillons soumis à l'essai. Un dispositif d'alimentation en gaz méthane de qualité technique doit être utilisé en association avec un régulateur et un compteur permettant d'assurer un débit de gaz uniforme. Il s'est avéré qu'un gaz naturel dont l'enthalpie est approximativement de 37 MJ/m³ à une température de 23 °C fournit des résultats similaires et peut être utilisé.

La durée d'application et la durée de retrait de la flamme doivent être de 5 s. L'opération doit être répétée jusqu'à ce que l'échantillon ait été soumis à cinq applications de la flamme d'essai.

Les conditions suivantes doivent être remplies à l'issue de cet essai:

- la combustion du matériau ne doit pas se poursuivre au-delà de 1 min au terme de la cinquième application d'une durée de 5 s de la flamme d'essai, avec un intervalle de 5 s entre chaque application de la flamme;
- l'échantillon ne doit émettre, pendant toute la durée de l'essai, aucune goutte ni particule enflammée ou incandescente qui enflamme le coton hydrophile situé 305 mm en dessous.

Après l'essai, le *PECS* doit satisfaire aux exigences relatives à la *protection principale* au moyen d'*enveloppes* ou de barrières spécifiées en 4.4.3.3.

5.2.5.6 Essai à l'huile chaude enflammée (*essai de type*)

Lorsque le 4.6.3.3.3 l'exige, la conformité est vérifiée par l'essai à l'huile chaude enflammée comme suit.

Un échantillon du fond de l'*enveloppe contre le feu* complet et apprêté est disposé sur un support sur lequel il est solidement fixé, dans une position horizontale. De l'étamine blanchie d'environ 40 g/m² est tendue en une seule épaisseur au-dessus d'un bac peu profond à fond plat, placé à environ 50 mm au-dessous de l'échantillon; elle a des dimensions suffisantes pour recouvrir complètement l'ensemble des ouvertures dans l'échantillon, sans être toutefois suffisamment large pour recueillir une portion quelconque de l'huile qui déborde de l'échantillon ou ne passe pas par les ouvertures.

Il est recommandé d'entourer la zone d'essai d'un écran métallique ou d'une séparation en verre armé.

Une petite louche métallique (de préférence pas plus de 65 mm de diamètre) équipée d'un bec verseur et d'une longue poignée dont l'axe longitudinal reste à l'horizontale durant le déversement est remplie partiellement avec 10 ml de mazout distillé, c'est-à-dire d'un distillat semi volatil qui a une masse volumique comprise entre 0,845 g/ml et 0,865 g/ml, un point d'éclair compris entre 43,5 °C et 93,5 °C, et une valeur calorifique moyenne de 38 MJ/l. La louche qui contient l'huile est chauffée; enflammer l'huile et la laisser brûler pendant 1 min, puis déverser toute l'huile chaude enflammée, à un débit constant d'environ 1 ml/s, sur le centre géométrique de l'ensemble des ouvertures à partir d'une position située à environ 100 mm au-dessus de celles-ci.

L'essai est répété deux fois à 5 min d'intervalle, en utilisant de l'étamine propre.

Au cours de l'essai, l'étamine ne doit pas s'enflammer.

5.2.5.7 Essai des joints scellés (*essai de type*)

Lorsque le 4.4.7.9 l'exige, des échantillons représentatifs de joints scellés qui assurent une protection de type 1 ou de type 2, comme cela est défini dans l'IEC 60664-3:2016, doivent être soumis à l'essai comme *essai de type* comme suit.

Les échantillons doivent être soumis à la procédure de conditionnement spécifiée en 5.2.3.16.

Après le conditionnement, les échantillons doivent satisfaire aux essais suivants réalisés dans l'ordre spécifié.

- a) La résistance mécanique du joint doit être évaluée par chargement du joint avec les forces prévisibles en conditions normales. Aucune séparation des parties ne doit se produire.
- b) La résistance d'*isolation* entre les parties conductrices séparées par le joint doit être d'au moins 100 MΩ, mesurée selon l'IEC 60664-3:2016, 5.8.3.
- c) Les joints scellés doivent être traités comme un matériau pelliculé et doivent être soumis à l'essai selon 4.4.7.8.3.
- d) Le sectionnement du joint ne doit présenter aucune fissure, aucun vide ni aucune séparation. Le joint doit être examiné visuellement conformément à l'IEC 61189-3:2007, 6.2 (essai 3V02).

5.2.5.8 Essai de durabilité, lisibilité et de permanence du marquage (*essai de type*)

Comme cela est exigé en 6.4.3.1, la conformité est vérifiée par *inspection visuelle* à 5.2.1. La permanence est déterminée par l'*essai de type* a) ou b).

Chaque marquage imprimé ou sérigraphié exigé doit être soumis à l'essai. Toutefois, si la fiche technique d'une étiquette confirme la conformité aux exigences d'essai, il n'est pas nécessaire de réaliser l'essai.

L'essai est réalisé de la manière suivante:

- a) en frottant le marquage à la main sans force significative pendant 15 s avec un morceau de tissu imbibé d'eau et à un autre endroit ou sur un autre échantillon pendant 15 s avec un morceau de tissu imbibé d'essence minérale; ou

NOTE L'essence minérale est un hexane de qualité "réactif" avec un minimum de 85 % de n-hexane. La désignation "n-hexane" est une nomenclature chimique qui désigne un hydrocarbure "normal" ou à chaîne droite (non dérivé d'un hydrocarbure de référence). Cette essence minérale est également identifiée comme un hexane de qualité "réactif" certifié ACS (American Chemical Society).

- b) les marquages sont frottés à la main, sans pression excessive, pendant 30 s avec un chiffon imbibé de chaque agent de nettoyage spécifié ou, en l'absence de spécification, avec un chiffon imbibé d'alcool isopropylique à 70 %.

Pour plus d'informations, voir l'IEC 62368-1:2018, F.3.9 et F.3.10, ou l'IEC 61010-1:2010, 5.3.

Pour les critères d'acceptation, le marquage doit rester lisible après chaque essai. Si le marquage se trouve sur une étiquette séparable, celle-ci ne doit présenter aucun gondolage et ne doit pas pouvoir être enlevée à la main.

5.2.5.9 Essai de résistance au rayonnement UV (essai de type)

Si le 4.12.8 l'exige, des *essais de type* doivent être effectués pour démontrer une résistance suffisante à l'exposition au rayonnement UV.

Les échantillons prélevés sur les parties ou constitués de matériaux identiques sont préparés conformément à la norme pour l'essai à effectuer. Ils sont ensuite conditionnés aux UV selon l'IEC 62109-1:2010, Annexe J.

Après conditionnement, les échantillons ne doivent présenter aucun signe de détérioration significative comme des craquelures ou des fissures. Ils sont ensuite maintenus dans les conditions ambiantes pendant au moins 16 h et au plus 96 h, après quoi ils sont soumis à l'essai conformément à la norme pour l'essai pertinent.

Afin d'évaluer le pourcentage de rétention des propriétés après essai, les échantillons qui n'ont pas été conditionnés conformément à l'Annexe J de l'IEC 62109-1:2010 sont soumis à l'essai en même temps que les échantillons conditionnés.

Sauf pour la classification d'inflammabilité (voir 4.6), utiliser le Tableau 27 de l'IEC 62109-1:2010 pour les limites minimales de rétention des propriétés après essai.

5.2.6 Essais d'environnement (essais de type)

5.2.6.1 Généralités

Des essais d'environnement sont exigés pour établir la sécurité des *PECS* aux extrêmes de la classification environnementale à laquelle ils seront soumis selon 4.9.

Si des considérations de taille ou de puissance entravent les performances de ces essais sur le *PECS* complet, des essais sur les parties individuelles liées à la sécurité du *PECS* sont autorisés.

Lors des essais des *composants* ou sous-ensembles réalisés séparément, la température pendant l'essai de chaleur sèche doit être choisie de manière à simuler l'utilisation réelle dans le produit fini. Le *composant* ou sous-ensemble doit être mis sous tension en simulant les mêmes conditions que celles applicables au produit fini.

Le Tableau 33 indique les essais type à réaliser pour les différentes conditions environnementales.

La conformité est démontrée en réalisant les essais décrits en 5.2.6.3, 5.2.6.4, 5.2.6.5 et 5.2.6.6 selon le Tableau 33 en fonction des conditions environnementales spécifiées par le fabricant.

Tableau 33 – Essais d'environnement

Condition d'essai	A l'intérieur avec condition IEC 60721-3-3	A l'intérieur sans condition IEC 60721-3-3	A l'extérieur sans condition IEC 60721-3-4
Climatique	Chaleur sèche (voir 5.2.6.3.1) Chaleur humide (voir 5.2.6.3.2)	Chaleur sèche (voir 5.2.6.3.1) Chaleur humide (voir 5.2.6.3.2)	Chaleur sèche (voir 5.2.6.3.1) Chaleur humide (voir 5.2.6.3.2)
Substances chimiquement actives	Aucune exigence d'essai	Aucune exigence d'essai	Essai Kb de l'IEC 60068-2-52:2017 Brouillard salin ^a (voir 5.2.6.5)
Substances mécaniquement actives	Aucune exigence d'essai	Aucune exigence d'essai	Essai Lc de l'IEC 60068-2-68:1994 Poussière et sable (voir 5.2.6.6)
Mécanique	Essai Fc de l'IEC 60068-2-6:2007 Vibration (voir 5.2.6.4)	Essai Fc de l'IEC 60068-2-6:2007 Vibration (voir 5.2.6.4)	Essai Fc de l'IEC 60068-2-6:2007 Vibration (voir 5.2.6.4)
Biologique	Aucune exigence d'essai	Aucune exigence d'essai	Aucune exigence d'essai
Résistance au rayonnement UV	Aucune exigence d'essai	Aucune exigence d'essai	5.2.5.9
^a Se reporter à la Note de bas de tableau "a" du Tableau 18.			

Lorsque des conditions environnementales particulières sont spécifiées, des essais supplémentaires (par exemple pour les substances chimiquement actives) doivent être pris en compte.

5.2.6.2 Critères d'acceptation

Les critères d'acceptation suivants doivent être remplis:

- aucune dégradation de *composant* lié à la sécurité du *PECS*;
- aucun comportement potentiellement dangereux du *PECS* pendant l'essai;
- aucun signe de surchauffe des *composants*;
- aucune *partie active dangereuse* ne doit devenir *accessible*;
- aucune fissure dans l'*enveloppe* et aucun isolant endommagé ou desserré;
- réussite de l'essai de tension en courant alternatif ou en courant continu décrit en 5.2.3.4;
- réussite de l'essai d'impédance de la *liaison équipotentielle de protection* décrit en 5.2.3.11.2;
- aucun comportement potentiellement dangereux lors de l'utilisation du *PECS* après l'essai.