

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Adjustable speed electrical power drive systems –
Part 5-1: Safety requirements – Electrical, thermal and energy**

**Entraînements électriques de puissance à vitesse variable –
Partie 5-1: Exigences de sécurité – Électrique, thermique et énergétique**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 13.110; 29.130.99; 29.200

ISBN 978-2-8322-4155-4

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

CONTENTS

FOREWORD.....	15
INTRODUCTION.....	17
0.1 General.....	17
0.2 Feedback from industry and national committees.....	19
0.3 Requirement covered by other relevant parts of the IEC 61800 series	19
1 Scope.....	20
2 Normative references	20
3 Terms and definitions	24
4 Protection against hazards	40
4.1 General.....	40
4.2 <i>Single-fault conditions</i> and <i>abnormal operating conditions</i>	41
4.3 Short-circuit and overload protection.....	42
4.3.1 General	42
4.3.2 Input short-circuit rating and available <i>output short-circuit current</i>	43
4.3.3 Short-circuit coordination (upstream protection).....	44
4.3.4 Protection by several devices	44
4.3.5 Motor overload and overtemperature protection	45
4.3.6 <i>BDM/CDM</i> providing current limiting control.....	46
4.4 Protection against electric shock.....	46
4.4.1 General	46
4.4.2 <i>Decisive voltage class (DVC)</i>	46
4.4.3 Provision for <i>basic protection</i>	53
4.4.4 Provision for <i>fault protection</i>	56
4.4.5 Provisions for <i>enhanced protection</i>	64
4.4.6 Protective measures	65
4.4.7 <i>Insulation</i>	67
4.4.8 Compatibility with residual current-operated protective devices (RCD).....	88
4.4.9 Capacitor discharge.....	89
4.4.10 Access conditions for high-voltage sections of <i>BDM/CDM/PDS</i> (<i>interlock</i>)	89
4.5 Protection against electrical energy hazards	91
4.5.1 General	91
4.5.2 Determination of hazardous electrical energy level	92
4.5.3 Limited power sources	92
4.6 Protection against fire and thermal hazards	94
4.6.1 General	94
4.6.2 Circuits and <i>components</i> representing a fire hazard	94
4.6.3 Selection of <i>components</i> to mitigate the risk of a fire hazard	94
4.6.4 Fire protection provided by <i>enclosures</i>	95
4.6.5 Temperature limits.....	96
4.7 Protection against mechanical hazards	98
4.7.1 General	98
4.7.2 Critical torsional speed	99
4.7.3 Transient torque analysis.....	99
4.7.4 Specific requirements for liquid cooled <i>BDM/CDM/PDS</i>	99
4.7.5 Mechanical hazards from rotating parts	101
4.7.6 Sharp edges	102

4.8	<i>BDM/CDM/PDS</i> with multiple sources of supply	102
4.8.1	General	102
4.8.2	<i>Low-voltage</i> DC link sharing	103
4.9	Protection against environmental stresses	103
4.9.1	General	103
4.9.2	Protection against corrosion	105
4.10	Protection against excessive acoustic noise hazards	105
4.10.1	General	105
4.10.2	Acoustic noise level	105
4.11	Wiring and connections	106
4.11.1	General	106
4.11.2	<i>Insulation</i> of conductors	107
4.11.3	Stranded wire	109
4.11.4	Routing and clamping	109
4.11.5	Identification of conductors and terminals of <i>mains supply</i> and <i>non-mains supply</i>	109
4.11.6	Splices and connections	110
4.11.7	Accessible connections	110
4.11.8	Interconnections between parts of the <i>PDS</i>	111
4.11.9	Supply connections for <i>permanently connected BDM/CDM/PDS</i>	111
4.11.10	Supply connections for pluggable <i>BDM/CDM/PDS</i>	111
4.11.11	Terminals	113
4.11.12	Provisions for connecting the shield of shielded wire or cable	116
4.12	Mechanical requirements for <i>enclosures</i>	117
4.12.1	General	117
4.12.2	Handles and manual controls	117
4.12.3	Cast metal <i>enclosure</i>	118
4.12.4	Sheet metal <i>enclosure</i>	118
4.12.5	Stability for floor-standing <i>BDM/CDM/PDS</i>	121
4.12.6	Wiring strain relief	121
4.12.7	Polymeric <i>enclosure</i> stress relief	122
4.12.8	Internal condensation or accumulation of water	122
4.12.9	Polymeric outdoor <i>enclosure</i> ultra-violet (UV) resistance	122
4.13	<i>Components</i>	123
4.13.1	<i>Components</i> general	123
4.13.2	<i>Components</i> representing a fire hazard	123
4.13.3	<i>Components</i> being part of an <i>enclosure</i>	123
4.13.4	<i>Components</i> representing a mechanical hazard	124
4.13.5	Wound <i>components</i>	124
4.13.6	Protective devices	124
4.14	Protection against electromagnetic fields	124
5	Test requirements	124
5.1	General	124
5.1.1	Test objectives and classification	124
5.1.2	Selection of test samples	125
5.1.3	Sequence of tests	125
5.1.4	Earthing conditions	125
5.1.5	General conditions for tests	125
5.1.6	Compliance	126

5.1.7	Test overview	126
5.2	Test specifications	129
5.2.1	<i>Visual inspections (type test, routine test and sample test)</i>	129
5.2.2	Mechanical tests	129
5.2.3	Electrical tests	138
5.2.4	<i>Abnormal operation and simulated faults tests</i>	157
5.2.5	Material tests	170
5.2.6	Environmental tests (<i>type tests</i>)	174
5.2.7	Hydrostatic pressure test (<i>type test, routine test</i>)	180
5.2.8	Electromagnetic fields (EMF) test (<i>type test</i>)	181
6	Information and marking requirements	181
6.1	General	181
6.1.1	Overview	181
6.1.2	Documentation in electronic form	184
6.1.3	Installation Instructions	185
6.2	Information for selection	185
6.2.1	General	185
6.2.2	Instructions and markings pertaining to <i>accessories</i>	187
6.3	Information for installation and commissioning	187
6.3.1	General	187
6.3.2	Mechanical considerations	187
6.3.3	Environment	187
6.3.4	Handling and mounting	188
6.3.5	<i>Enclosure</i> temperature	188
6.3.6	Open type <i>BDM/CDM</i>	188
6.3.7	Connections	189
6.3.8	Commissioning	191
6.3.9	Protection requirements	191
6.3.10	Motor and driven equipment	195
6.3.11	Field installed <i>components</i>	196
6.4	Information for intended use	196
6.4.1	General	196
6.4.2	Adjustment	196
6.4.3	Labels, signs, symbols and signals	196
6.4.4	Hot surface	198
6.4.5	Control and device marking	198
6.4.6	Stability for floor-standing <i>BDM/CDM/PDS</i>	199
6.5	Supplementary information	199
6.5.1	General	199
6.5.2	Capacitor discharge	199
6.5.3	Special operation mode – Auto restart/bypass connection	200
6.5.4	Other hazards	200
6.5.5	<i>BDM/CDM/PDS</i> with multiple sources of supply	200
6.5.6	PT/CT connection	200
6.5.7	Access conditions for <i>high-voltage BDM/CDM/PDS</i> during maintenance	200
Annex A (normative)	Additional information for protection against electric shock	202
A.1	General	202
A.2	Protection by means of <i>DVC As</i>	202
A.3	Protection by means of <i>protective impedance</i>	203

A.4	Protection by using limited voltages	204
A.5	Evaluation of the <i>working voltage</i> of circuits.....	204
A.5.1	General	204
A.5.2	Classification of the <i>working voltage</i>	205
A.5.3	AC <i>working voltage</i>	205
A.5.4	DC <i>working voltage</i>	206
A.5.5	Pulsating <i>working voltage</i>	207
A.6	The concept of protective measures according to 4.4.....	208
A.6.1	General	208
A.6.2	General concept of protection against electric shock	209
A.6.3	Examples of the use of elements of protective measures.....	210
Annex B (informative)	Considerations for the reduction of the pollution degree	215
B.1	General.....	215
B.2	Factors influencing the pollution degree	215
B.3	Reduction of influencing factors	215
Annex C (informative)	Symbols referred.....	216
C.1	Symbols used	216
C.2	Determination of contrast.....	218
Annex D (normative)	Evaluation of <i>clearance</i> and <i>creepage distances</i>	219
D.1	Measurement.....	219
D.2	Relationship of measurement to pollution degree	219
D.3	Examples.....	219
Annex E (normative)	Altitude correction for <i>clearances</i>	226
E.1	Correction factor for <i>clearances</i> at altitudes above 2 000 m	226
E.2	Test voltages for verifying <i>clearances</i> at different altitudes	226
Annex F (normative)	<i>Clearance</i> and <i>creepage distance</i> determination for frequencies greater than 30 kHz	228
F.1	General influence of the frequency on the withstand characteristics.....	228
F.2	<i>Clearance</i>	228
F.2.1	General	228
F.2.2	<i>Clearance</i> for inhomogenous fields	229
F.2.3	<i>Clearance</i> for approximately homogenous fields	230
F.3	<i>Creepage distance</i>	231
F.4	<i>Solid insulation</i>	232
F.4.1	General	232
F.4.2	Approximately uniform field distribution without air gaps or voids.....	232
F.4.3	Other cases	233
Annex G (informative)	Cross-sections of round conductors	234
Annex H (informative)	Guidelines for RCD compatibility.....	235
H.1	Selection of RCD type.....	235
H.2	Fault current waveforms.....	236
Annex I (informative)	Examples of overvoltage category reduction.....	240
I.1	General.....	240
I.2	Protection to the <i>surroundings</i> (see 4.4.7.2).....	240
I.2.1	Circuits connected directly to <i>mains supply</i> (see 4.4.7.2.3).....	240
I.2.2	Circuits connected to the <i>non-mains supply</i> (see 4.4.7.2.4)	243
I.2.3	<i>Insulation</i> between circuits (see 4.4.7.2.5).....	243
I.3	<i>Functional insulation</i> (see 4.4.7.3)	244

I.4	Further examples	244
Annex J (informative)	Burn thresholds for touchable surfaces	246
J.1	General.....	246
J.2	Burn thresholds	246
Annex K (informative)	Table of electrochemical potentials	249
Annex L (informative)	Measuring instrument for touch current measurements	250
L.1	Measuring test circuit.....	250
L.2	Requirements for measuring instruments	250
Annex M (normative)	Test probes for determining access	251
Annex N (informative)	Guidance regarding short-circuit current	254
Annex O (informative)	Guidance for determination of <i>clearance</i> and <i>creepage distance</i>	255
O.1	Guideline for determination of <i>clearance</i>	255
O.2	Guideline for determination of <i>creepage distance</i>	256
O.3	Minimum <i>clearance</i> and <i>creepage distances</i> for material	257
Annex P (normative)	Protection of persons against electromagnetic fields for frequencies from 0 Hz up to 300 GHz	258
P.1	General influence of electromagnetic fields to persons.....	258
P.1.1	General	258
P.1.2	Low-frequency electric field effects (1 Hz to 100 kHz).....	258
P.1.3	Low-frequency magnetic field effects (1 Hz to 100 kHz).....	258
P.1.4	Low-frequency electric and magnetic field effects	258
P.1.5	High-frequency electromagnetic field effects (100 kHz to 300 GHz)	258
P.1.6	Current knowledge on low-level effects.....	259
P.1.7	Biological effects versus adverse health effects	259
P.1.8	Influence of EMF on passive and active medical implants.....	259
P.2	Recommendations from ICNIRP Guidelines against exposure to EMF.....	259
P.2.1	Adoption of exposure limits from ICNIRP	259
P.2.2	Limits of EMF exposure for transportation and storage	261
P.3	Protection of persons against exposure of EMF	261
P.3.1	General	261
P.3.2	EMF requirements for general public access areas.....	262
P.3.3	EMF requirements for <i>general-access areas</i> , <i>service-access areas</i> and <i>restricted-access areas</i>	262
P.3.4	EMF requirements for transportation and storage	262
P.4	Electromagnetic fields (EMF) test (<i>type test</i>).....	263
P.4.1	General test set up for EMF	263
P.4.2	EMF test.....	263
P.5	Electromagnetic fields (EMF) marking	263
Annex Q (informative)	Automatic disconnection of supply	264
Q.1	Maximum disconnection times	264
Q.2	Supplementary <i>protective equipotential bonding</i>	265
Annex R (informative)	Risk assessment according to IEC Guide 116	266
R.1	General.....	266
R.2	Risk assessment.....	266
Annex S (informative)	In-some-country requirements – United States of America voltages less than 1,5 kV AC or DC	268
S.0	General.....	268
S.1	Scope	268

S.2	Normative references.....	268
S.3	Terms and definitions.....	268
S.4	Protection against hazards.....	269
S.4.1	General	269
S.4.2	<i>Single-fault conditions and abnormal operating condition</i>	269
S.4.3	Short-circuit and overload protection	269
S.4.4	Protection against electric shock	271
S.4.5	Protection against electrical energy hazards.....	281
S.4.6	Protection against fire and thermal hazards.....	281
S.4.7	Protection against mechanical hazards.....	282
S.4.8	<i>BDM/CDM/PDS with multiple sources of supply</i>	284
S.4.9	Protection against environmental stresses.....	284
S.4.10	Protection against excessive acoustic noise hazards	284
S.4.11	Wiring and connections	284
S.4.12	Mechanical requirements for <i>enclosures</i>	294
S.4.200	Auxiliary device	306
S.4.201	<i>Accessories</i>	306
S.4.202	Provisions for mounting	306
S.4.203	Capacitors	306
S.5	Test requirements.....	307
S.5.1	General	307
S.5.2	Test specifications.....	308
S.6	Information and marking requirements	328
S.6.1	General	328
S.6.2	Information for selection	328
S.6.3	Information for installation and commissioning.....	329
S.6.4	Information for intended use	333
S.6.5	Supplementary information	333
S.200	Evaluation of clearance and <i>creepage distances</i>	334
S.200.1	<i>Clearance and creepage distances</i>	335
S.201	Normative references and component standards.....	337
S.202	IEC to USA standard references	340
S.203	Isolated secondary circuits and circuits supplied by battery	343
S.203.1	Isolated secondary circuits	343
S.203.2	Secondary circuits test	349
S.203.3	Circuits supplied by a battery.....	351
S.204	Full-load motor-running currents	351
Annex T (informative)	In-some-country requirements – Canada voltages up to 34,5 kV.....	354
T.0	General.....	354
T.1	Scope	354
T.2	Normative references.....	354
T.3	Terms and definitions.....	356
T.4	Protection against hazards.....	357
T.4.1	General	357
T.4.2	<i>Single-fault conditions and abnormal operating condition</i>	357
T.4.3	Short-circuit and overload protection	357
T.4.4	Protection against electric shock	358
T.4.5	Protection against electrical energy hazards.....	367
T.4.6	Protection against fire and thermal hazards.....	368

T.4.7	Protection against mechanical hazards	369
T.4.8	<i>BDM/CDM/PDS</i> with multiple sources of supply	369
T.4.9	Protection against environmental stresses	369
T.4.10	Protection against excessive acoustic noise hazards	369
T.4.11	Wiring and connections	369
T.4.12	Mechanical requirements for <i>enclosures</i>	382
T.4.13	<i>Components</i>	386
T.4.14	Protection against electromagnetic fields	391
T.5	Test requirements	391
T.5.1	General	391
T.5.2	Test specifications	391
T.6	Information and marking requirements	416
T.6.1	General	416
T.6.2	Information for selection	418
T.6.3	Information for installation and commissioning	419
T.6.4	Information for intended use	421
T.6.5	Supplementary information	423
T.200	IEC normative references replaced by CSA standards	423
	Bibliography	426
	Figure 1 – <i>PDS</i> hardware configuration within an <i>installation</i>	35
	Figure 2 – Time-voltage zones for <i>DVC A</i> s and <i>DVC B</i> circuits – DC	50
	Figure 3 – Time-voltage zones for <i>DVC A</i> s and <i>DVC B</i> circuits – AC peak	51
	Figure 4 – Time-voltage zones for conductive <i>accessible parts</i>	52
	Figure 5 – Example of a <i>protective class I BDM/CDM</i> arrangement and its associated <i>protective equipotential bonding</i>	58
	Figure 6 – Example of a <i>protective class I BDM/CDM</i> arrangement and its associated <i>protective equipotential bonding</i> through direct metallic contact	59
	Figure 7 – Example for interconnections within <i>BDM/CDM</i> and between parts of the <i>PDS</i>	106
	Figure 8 – Example for interconnections between parts of the <i>PDS</i> (<i>BDM/CDM</i> parts separated by field wiring)	107
	Figure 9 – Example arrangement of insulated conductors in a cable	108
	Figure 10 – Detachable <i>mains supply</i> cords and connections	112
	Figure 11 – Wire bending space	116
	Figure 12 – Supported and unsupported <i>enclosure</i> parts	119
	Figure 13 – Impact test using a steel ball	135
	Figure 14 – Voltage test procedures	146
	Figure 15 – Partial discharge test procedure	148
	Figure 16 – Electric strength test instrument	154
	Figure 17 – Mandrel	155
	Figure 18 – Initial position of mandrel	155
	Figure 19 – Final position of mandrel	155
	Figure 20 – Position of metal foil on insulating material	156
	Figure 21 – <i>Protective equipotential bonding</i> test set up	160
	Figure 22 – Example of short-circuit test between <i>BDM/CDM</i> motor power <i>port</i> and <i>protective earth</i> (motor separately earthed)	162

Figure 23 – Example of short-circuit test between <i>BDM/CDM</i> motor power <i>port</i> and <i>protective earth</i> (motor earthed through <i>BDM/CDM</i>).....	162
Figure 24 – Example of short-circuit test between <i>BDM/CDM</i> DC link power <i>port</i> and <i>protective earth</i>	163
Figure 25 – Interpolated values for Table 37	165
Figure 26 – Circuit for high-current arcing test	171
Figure 27 – Test fixture for hot-wire ignition test	172
Figure A.1 – Protection by <i>DVC As</i> with <i>enhanced protection</i>	202
Figure A.2 – Protection by means of <i>protective impedance</i>	203
Figure A.3 – Protection by using limited voltages	204
Figure A.4 – Typical waveform for AC <i>working voltage</i>	205
Figure A.5 – Typical waveform for DC <i>working voltage</i>	206
Figure A.6 – Typical waveform for pulsating <i>working voltage</i>	207
Figure A.7 – Protective measures according to 4.4.1 to 4.4.5 for protection against electric shock considering <i>protective class I</i> and <i>protective class II BDM/CDM/PDS</i>	209
Figure A.8 – Protective measures according to 4.4.1 to 4.4.5 for protection against electric shock considering <i>protective class III BDM/CDM/PDS</i> and <i>DVC As</i> circuits	210
Figure D.1 – Example of measurements including a groove	220
Figure D.2 – Example of measurements including a groove	220
Figure D.3 – Example of measurements including a groove	220
Figure D.4 – Example of measurements including a rib.....	220
Figure D.5 – Example of measurements providing protection of type 2.....	221
Figure D.6 – Example of measurements providing protection of type 1.....	221
Figure D.7 – Example of measurements providing protection of type 1.....	221
Figure D.8 – Example of measurements providing protection of type 1.....	222
Figure D.9 – Example of measurements including a barrier (cemented joint).....	222
Figure D.10 – Example of measurements including a barrier.....	222
Figure D.11 – Example of measurements including a gap	223
Figure D.12 – Example of measurements including a gap	223
Figure D.13 – Example of measurements including an floating conductive part.....	224
Figure D.14 – Example of measurements in inner layer of PWB.....	224
Figure D.15 – Example of measurements in an <i>enclosure</i> of insulating material.....	225
Figure F.1 – Diagram for dimensioning of <i>clearances</i> above 30 kHz	229
Figure F.2 – Diagram for dimensioning of <i>creepage distances</i> above 30 kHz	231
Figure F.3 – Permissible field strength for dimensioning of <i>solid insulation</i> according to Formula (F.1).....	233
Figure H.1 – Flow chart leading to selection of the RCD type upstream of a <i>PDS</i>	235
Figure H.2 – Symbols for marking depending on the type of RCD	236
Figure H.3 – Fault current waveforms in connections with <i>BDM/CDM/PDS</i>	239
Figure I.1 – <i>Basic protection</i> evaluation for circuits connected to the origin of the <i>installation mains supply</i>	240
Figure I.2 – <i>Basic protection</i> evaluation for circuits connected to the <i>mains supply</i>	241
Figure I.3 – <i>Basic protection</i> evaluation for single and three phase <i>BDM/CDM/PDS</i> not <i>permanently connected</i> to the <i>mains supply</i>	241
Figure I.4 – <i>Basic protection</i> evaluation for circuits connected to the origin of the <i>installation mains supply</i> where internal SPDs are used.....	241

Figure I.5 – <i>Basic protection</i> evaluation for circuits connected to the <i>mains supply</i> where internal SPDs are used.....	242
Figure I.6 – Example of <i>enhanced protection</i> evaluation for circuits connected to the <i>mains supply</i> where internal SPDs are used	242
Figure I.7 – Example of <i>enhanced protection</i> evaluation for circuits connected to the <i>mains supply</i> where internal SPDs are used	242
Figure I.8 – Example of <i>enhanced protection</i> evaluation for circuits connected to the <i>mains supply</i> where internal SPDs are used	243
Figure I.9 – <i>Basic protection</i> evaluation for circuits connected to the <i>non-mains supply</i>	243
Figure I.10 – <i>Basic protection</i> evaluation for circuits connected to the origin of the <i>installation non-mains supply</i>	243
Figure I.11 – <i>Functional insulation</i> evaluation within circuits affected by external transients.....	244
Figure I.12 – <i>Basic protection</i> evaluation for circuits connected to the <i>mains supply</i> and a non-mains circuit	244
Figure I.13 – <i>Insulation</i> evaluation for <i>accessible circuit</i> of <i>DVC As</i>	245
Figure J.1 – Burn threshold spread when the skin is in contact with a hot smooth surface made of bare (uncoated) metal.....	246
Figure J.2 – Rise in the burn threshold spread from Figure J.1 for metals which are coated by shellac varnish of a thickness of 50 µm, 100 µm and 150 µm.....	247
Figure J.3 – Rise in the burn threshold spread from Figure J.1 for metals coated with the specific materials	247
Figure J.4 – Burn threshold spread when the skin is in contact with a hot smooth surface made of ceramics, glass and stone materials	248
Figure J.5 – Burn threshold spread when the skin is in contact with a hot smooth surface made of plastics	248
Figure L.1 – Measuring test circuit	250
Figure M.1 – Sphere 50 mm probe according to IEC 61032:1997, test probe A.....	251
Figure M.2 – Jointed test finger according to IEC 61032:1997, test probe B.....	252
Figure M.3 – Test rod 2,5 mm according to IEC 61032:1997, test probe C	253
Figure M.4 – Sphere 12,5 mm test probe according to IEC 61032:1997, test probe 2.....	253
Figure O.1 – Flowchart <i>clearance</i>	255
Figure O.2 – Flowchart <i>creepage distance</i>	256
Figure S.1 – Articulate probe with web stop	298
Figure S.2 – Determination of current for circuits of 10 000 A and less	318
Figure S.3 – Peak let-through current	322
Figure S.4 – Application of Simpson's rule to fuse current oscillogram to obtain let-through I^2t	323
Figure S.5 – Clamped joint.....	334
Figure T.1 – Routing conductors through a metal barrier.....	376
Figure T.2 – Wire bending space	381
Figure T.3 – Test circuit using Formula T.1	400
Figure T.4 – Test circuit using Formula T.2	401
Figure T.5 – Test circuit using Formula T.3.....	401
Figure T.6 – Test circuit using Formula T.4	402
Figure T.7 – Typical test set sensitivity	403
Figure T.8 – Determination of current and power factor for circuits of 10 000 A and less.....	412

Table 1 – Alphabetical list of terms	25
Table 2 – Voltage limits for the <i>decisive voltage classes</i>	49
Table 3 – Protection requirements for circuits under consideration	53
Table 4 – <i>PE conductor</i> cross-section	60
Table 5 – Definitions of pollution degrees	68
Table 6 – <i>Impulse withstand voltage</i> and <i>temporary overvoltage</i> versus <i>system voltage</i> for <i>low-voltage</i> circuits	71
Table 7 – <i>Impulse withstand voltage</i> and <i>temporary overvoltage</i> versus <i>system voltage</i> for high-voltage circuits	71
Table 8 – <i>Clearance</i> for <i>functional insulation</i> , <i>basic insulation</i> or <i>supplementary insulation</i>	76
Table 9 – Insulating materials classification	79
Table 10 – <i>Creepage distances</i>	80
Table 11 – <i>Insulation</i> material requirements	83
Table 12 – Distance to uninsulated <i>live parts</i> for consideration of HWI, HAI and CTI	83
Table 13 – Generic materials for <i>insulation</i> material	84
Table 14 – Requirements based on thin sheet material thickness	85
Table 15 – Limits for power sources without an <i>overcurrent</i> protective device	93
Table 16 – Limits for power sources with an <i>overcurrent</i> protective device	93
Table 17 – Maximum measured temperatures for internal materials and <i>components</i>	96
Table 18 – Maximum measured temperatures for <i>accessible parts</i> of <i>BDM/CDM/PDS</i>	98
Table 19 – Minimum tubing wall thickness	100
Table 20 – Environmental service conditions	104
Table 21 – Wire bending space from terminals to <i>enclosure</i>	115
Table 22 – Thickness of sheet metal for <i>enclosures</i> : carbon steel or stainless steel	120
Table 23 – Thickness of sheet metal for <i>enclosures</i> : aluminium, copper or brass	121
Table 24 – Environmental conditions for tests	126
Table 25 – Test overview	127
Table 26 – Pull values for handles and manual control securement	136
Table 27 – Values for physical tests on strain relief of <i>enclosure</i>	137
Table 28 – <i>Impulse withstand voltage</i> test	139
Table 29 – <i>Impulse withstand voltage</i> test voltage for <i>low-voltage BDM/CDM/PDS</i>	140
Table 30 – <i>Impulse withstand voltage</i> test voltage for <i>high-voltage BDM/CDM/PDS</i>	141
Table 31 – AC or DC test voltage for circuits connected directly to <i>low-voltage mains supply</i>	142
Table 32 – AC or DC test voltage for circuits connected directly to <i>high-voltage mains supply</i>	143
Table 33 – AC or DC test voltage for circuits connected to <i>non-mains supply</i> without <i>temporary overvoltages</i>	144
Table 34 – Parameter for <i>BDM/CDM/PDS</i> AC or DC voltage test	147
Table 35 – Partial discharge test	148
Table 36 – <i>Prospective short-circuit current</i> for test vs <i>BDM/CDM</i> rated input current	158
Table 37 – Maximum tripping time for <i>electronic motor overload protection</i> test	164
Table 38 – Environmental tests	175

Table 39 – Preconditioning or recovery procedure for climatic tests (<i>type test</i>)	176
Table 40 – Dry heat test (steady state) (<i>type test</i>).....	176
Table 41 – Cold test (<i>type test</i>).....	177
Table 42 – Damp heat test (steady state) (<i>type test</i>).....	177
Table 43 – Damp heat test (cyclic) (<i>type test</i>).....	178
Table 44 – Vibration test.....	179
Table 45 – Salt mist test.....	179
Table 46 – Dust test.....	180
Table 47 – Sand test.....	180
Table 48 – Marking location.....	182
Table A.1 – Configurations for protection against electric shock.....	212
Table C.1 – Symbols used.....	216
Table D.1 – Width of grooves by pollution degree.....	219
Table E.1 – Correction factor for <i>clearances</i> at altitudes between 2 000 m and 20 000 m.....	226
Table E.2 – Test voltages for verifying <i>clearances</i> at different altitudes.....	227
Table F.1 – Minimum values of <i>clearances</i> in air at atmospheric pressure for inhomogeneous field conditions.....	230
Table F.2 – Multiplication factors for <i>clearances</i> in air at atmospheric pressure for approximately homogeneous field conditions.....	230
Table F.3 – Minimum values of <i>creepage distances</i> for different frequency ranges.....	232
Table G.1 – Standard cross-sections of round conductors.....	234
Table K.1 – Table of electrochemical potentials.....	249
Table O.1 – Minimum <i>clearance</i> and <i>creepage distances</i> for material.....	257
Table P.1 – Limits of EMF for general public exposure.....	260
Table P.2 – Limits of EMF for occupational exposure.....	261
Table P.3 – Limits for magnetic flux density of static magnetic fields.....	261
Table P.4 – EMF test overview.....	263
Table 41.1 – Maximum disconnection times.....	264
Table R.1 – Risk assessment.....	266
Table S.1 – Size of bonding conductor.....	273
Table S.2 – Duration of current flow for bonding-conductor test.....	273
Table S.3 – Bonding conductor short-circuit test capacity.....	273
Table S.4 – Maximum rating of <i>overcurrent</i> device.....	275
Table S.5 – Dimensions of bushings.....	277
Table S.6 – <i>BDM/CDM/PDS</i> intended for installation in a feeder circuit.....	277
Table S.7 – <i>Generic materials for barriers</i>	279
Table S.8 – Tubing wall thickness.....	283
Table S.9 – Ampacity of flexible cord.....	286
Table S.10 – Ampacities of insulated conductors.....	289
Table S.11 – Wire bending space at the terminals of enclosed power conversion equipment.....	291
Table S.12 – <i>Overcurrent</i> protective device.....	292
Table S.13 – Branch-circuit <i>short-circuit protective device</i>	293

Table S.14 – Openings in <i>enclosures</i>	299
Table S.15 – Addition to Table 3 of UL 50:2015: Thickness of sheet metal for <i>enclosures</i> – Carbon steel or stainless steel	301
Table S.16 – Addition to Table 4 of UL 50:2015: Thickness of sheet metal for <i>enclosures</i> – Aluminum, copper or brass.....	301
Table S.17 – Dimensions of knockout	304
Table S.18 – Values of voltage for tests.....	307
Table S.19 – AC or DC voltage test voltages	310
Table S.20 – Width of copper bus bars	311
Table S.21 – Production-line test conditions	312
Table S.22 – Power factor of test circuits for devices rated 600 V or less.....	326
Table S.23 – Minimum <i>clearances</i> and <i>creepage distances</i> at <i>field wiring terminals</i> up to 600 V.....	335
Table S.24 – Minimum <i>clearances</i> and <i>creepage distances</i> for <i>field wiring terminals</i> over 600 V.....	336
Table S.25 – <i>Clearances</i> and <i>creepage distances</i> at <i>field wiring terminals</i> for pollution degree 2 environments	337
Table S.26 – IEC normative reference standards that do not apply	341
Table S.27 – IEC normative references replaced by USA standards	342
Table S.28 – Secondary circuits, differences in evaluation.....	344
Table S.29 – Full-load motor-running currents in amperes corresponding to various AC horsepower ratings	352
Table S.30 – Full-load motor-running currents in amperes corresponding to various DC horsepower ratings	353
Table T.1 – Size and number of bonding conductors per termination	359
Table T.2 – Size of bonding conductor	359
Table T.3 – Minimum <i>clearance</i> and <i>creepage distances</i> on <i>field wiring terminals</i>	361
Table T.4 – Dimensions of bushings	362
Table T.5 – Test voltages for verifying <i>clearances</i>	365
Table T.6 – Test voltages for verifying <i>clearances</i> using AC RMS.....	365
Table T.7 – Generic material acceptable as a barrier	366
Table T.8 – Allowable ampacities of insulated copper conductors inside industrial control equipment <i>enclosures</i> (based on a <i>ambient temperature</i> of 40 °C).....	370
Table T.9 – Ampacity correction factors for multiple conductor groupings	370
Table T.10 – Wiring space	371
Table T.11 – Wire-bending space	372
Table T.12 – Full-load motor-running currents in amperes corresponding to AC horsepower ratings	373
Table T.13 – Full-load motor-running currents in amperes corresponding to DC horsepower ratings	374
Table T.14 – Wire-bending space	376
Table T.15 – Test values for <i>BDM/CDM/PDS</i> wiring terminals.....	378
Table T.16 – Ampacity of conductors based on resistor duty cycle ratings	379
Table T.17 – Thickness of sheet metal for <i>enclosures</i> – Carbon steel or stainless steel.....	383
Table T.18 – Thickness of sheet metal for <i>enclosures</i> – Aluminum, copper, or brass	384
Table T.19 – Maximum acceptable rating of primary <i>overcurrent</i> device.....	388

Table T.20 – Minimum acceptable rating of secondary <i>overcurrent</i> device	388
Table T.21 – <i>Overcurrent</i> protective device – Copper conductors	389
Table T.22 – <i>High-Voltage BDM/CDM/PDS</i> dielectric strength test values, kV.....	391
Table T.23 – Tightening torque for testing conduit hubs of polymeric <i>enclosures</i>	394
Table T.24 – Bending moment	394
Table T.25 – Test circuit sensitivity formulas.....	400
Table T.26 – Ampacities of insulated conductors	405
Table T.27 – Size of copper busbar connections for temperature test	406
Table T.28 – Short-circuit test values.....	407
Table T.29 – Short-circuit power factor	411
Table T.30 – Translation of markings	416
Table T.31 – IEC normative references replaced by CSA standards.....	423

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

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

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC 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 61800-5-1 has been prepared by subcommittee 22G: Adjustable speed electric power drive systems (PDS), of IEC technical committee 22: Power electronic systems and equipment. It is an International Standard.

This third edition cancels and replaces the second edition published in 2007 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) harmonization with IEC 62477-1:2022;
- b) harmonization with UL 61800-5-1 and CSA C22.2 No. 274, including an annex with a list of national deviation which was considered not possible to harmonize within a reasonable timeframe;
- c) more detailed information about the evaluation of components according to this document and relevant safety component standards;
- d) updated requirement for mechanical hazards including multiple IP ratings.

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

Draft	Report on voting
22G/455/FDIS	22G/457/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/publications.

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

The reader's attention is drawn to the fact that

- Annex S and Annex T list all of the "in-some-country" clauses on differing practices of a less permanent nature relating to the subject of this document.
- Due to the rules of ISO/IEC Directives, Part 2, the term "must" instead of the term "shall" is used in Annex S and Annex T.

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

The committee has decided that the contents of this document will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website under 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 publication using a colour printer.

INTRODUCTION

0.1 General

This document contains the revision of IEC 61800-5-1:2007 and IEC 61800-5-1:2007/AMD1:2016.

Several important issues have influenced the scope and the chosen approach of the maintenance of IEC 61800-5-1:2007 in the development of this document.

The most significant changes compared to IEC 61800-5-1:2007 are the following.

a) Structure and content is based on IEC 62477-1 considering modifications and new topics such as the following

- Clause 1: Scope updated to include radio emitting/transmitting *BDM/CDM/PDS*.
- 4.1, 5.1, 6.1: "Intended use" included.
- 4.2: Single fault/abnormal operation analysis (significantly reworked).
- 4.3: Short-circuit and overload protection included as new subclause.
- 4.4 and Annex A: Protection against electric shock updated according to IEC 61140:2016 and IEC 60364-4-41, including insulation coordination according to IEC 60664 (all parts) considering the following:
 - 4.4.2 – Decisive voltage classification (especially DVC As for dry, wet and salt-water wet); Table 2 and Table 3 reworked;
 - 4.4.3 – Basic protection (reworked);
 - 4.4.4 – Fault protection (reworked);
 - 4.4.5 – Enhanced protection (reworked);
 - 4.4.7 – Insulation (reworked):
 - 4.4.7.1.2 – Working voltage (new);
 - 4.4.7.1.8 – Components bridging insulation (new);
 - 4.4.7.7 – *clearance* and *creepage distances* for functional insulation on PWB and component assemblies (reworked);
 - 4.4.7.8 – Solid insulation (new/reworked);
 - 4.4.7.9 – Connection of parts of solid insulation (cemented joints) (new);
 - 4.4.8/Annex H – Compatibility with RCD (reworked);
 - 4.4.10 – Access conditions for *high-voltage PDS* (new).
- 4.5: Protection against energy hazards (new).
- 4.6: Protection against fire and thermal hazards (new).
- 4.7: Protection against mechanical hazards (new).
- 4.8: *BDM/CDM/PDS* with multiple sources of supply (new).
- 4.9: Protection against environmental stresses (new) (in alignment with IEC 61800-2).
- 4.11: Wiring and connections updated (significantly reworked).
- 4.12: Enclosure updated (significantly reworked).
- 4.13 Bibliography: Evaluation of components (new).
- 4.14 Annex P: Protection against electromagnetic fields (new).
- Clause 5: Updated with some additional/modified test requirement:
 - 5.2.2.2 – Non-accessibility test (significantly reworked);
 - 5.2.2.3 – Ingress protection test (IP rating) (significantly reworked);

- 5.2.2.4 – Enclosure integrity tests (new);
- 5.2.2.5 – Wall or ceiling mounted *BDM/CDM/PDS* test (new);
- 5.2.2.6 – Handles and manual control securement test (new);
- 5.2.2.7 – Strain relief test (new);
- 5.2.3.7 – Touch current measurement test (reworked);
- 5.2.3.9 – Limited power source (new);
- 5.2.3.11 – Protective equipotential bonding test (new);
- 5.2.3.12 – Input test (new);
- 5.2.3.13 – Thin sheet material test (new);
- 5.2.3.14 – Test procedure for determination of working voltage (new);
- 5.2.3.16 – Preconditioning of material (reworked);
- 5.2.4.4 – Protective equipotential bonding short-circuit test (new);
- 5.2.4.9 – Output overload test (new);
- 5.2.4.13.5 – Covering of openings for cooling air test (type test) (new);
- 5.2.5.6 – Cemented joints test (new);
- 5.2.7 – Hydrostatic pressure test (new);
- 5.2.8 – Electromagnetic fields (EMF) test (new).
- Clause 6: – Update with more specific marking.
 - Structure aligned with IEC 62477-1 as close as possible;
 - Table 48 simplified.
- Annex A – Additional information for protection against electric shock (reworked).
- Annex C – Symbols referred (reworked).
- Annex E – Altitude correction for *clearances* (reworked).
- Annex F – *Clearance* and *creepage distance* determination for frequencies greater than 30 kHz (reworked).
- Annex H – Guidelines for RCD compatibility (reworked).
- Annex M – Test probes for determining access (new).
- Annex O – Guidance for determination of *clearance* and *creepage distance* (new).
- Annex P – Protection of persons against electromagnetic fields for frequencies from 0 Hz up to 300 GHz (new).
- Annex Q – Automatic disconnection of supply (new).
- Annex R – Guide 116 risk evaluation included (new).
- Bibliography – Relevant component safety standards (new).

b) Harmonization with UL 61800-5-1

Complete document is modified taken into consideration UL 61800-5-1 US National deviations. US National deviations from UL 61800-5-1 not possible to harmonize have been placed in Annex S.

c) Harmonization with CSA C22.2 No. 274

- Due to a short time frame, only some few topics have been harmonized.
- Canadian National deviations from CSA C22.2 No. 274 not possible to harmonize have been placed in Annex T.

d) Harmonization with UL 347A

- Some few relevant topics have been harmonized considering safety aspects related to *high-voltage BDM/CDM/PDS*.

Further harmonization is expected to be adopted in IEC 61800-5-1 considering the content of UL 61800-5-1, CSA C22.2 No 274 and UL 347A in future editions of IEC 61800-5-1.

0.2 Feedback from industry and national committees

The use of IEC 61800-5-1:2007 by manufacturers and test institutes since its release has identified several topics which are considered useful to implement, or topics which need further information for a better understanding of the intent of the specific requirement. These topics are also implemented in this document.

0.3 Requirement covered by other relevant parts of the IEC 61800 series

- general requirements for DC *power drive systems* are covered in IEC 61800-1;
- general requirements for AC *power drive systems* are covered in IEC 61800-2;
- EMC aspects are covered in IEC 61800-3;
- functional safety aspects are covered in IEC 61800-5-2;
- functional safety aspects for encoders are covered in IEC 61800-5-3;
- type of load duty aspects are covered in IEC TR 61800-6;
- communication profiles aspects are covered in IEC 61800-7 (all parts);
- *power interface* voltage aspects are covered in IEC TS 61800-8;
- ecodesign aspects are covered in IEC 61800-9 (all parts);

The following document is not part of the IEC 61800 series, but is used often as part of the BDM:

- active infeed converters in IEC TS 62578.

ADJUSTABLE SPEED ELECTRICAL POWER DRIVE SYSTEMS –

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

1 Scope

This part of IEC 61800 specifies requirements for adjustable speed electrical *power drive systems (PDS)* or their elements, with respect to electrical, thermal, fire, mechanical, energy and other relevant hazards. It does not cover the driven equipment except for interface requirements. It applies to adjustable speed electrical *PDS* which include the power conversion, *basic drive module (BDM)/complete drive module (CDM)* control, and a motor or motors.

Excluded are traction and electric vehicle *BDM/CDM*.

It applies to low-voltage adjustable speed electrical *PDS* intended to feed a motor or motors from a *BDM/CDM* connected to phase-to-phase voltages of up to and including 1,0 kV AC (50 Hz or 60 Hz) and up to and including 1,5 kV DC.

It also applies to high-voltage adjustable speed electrical *PDS* intended to feed a motor or motors from a *BDM/CDM* connected to phase-to-phase voltages of up to and including 35 kV AC (50 Hz or 60 Hz) and up to and including 52 kV DC.

NOTE 1 At the time of publication of this document, the technical upper voltage limit for DC motors is 2,25 kV DC.

NOTE 2 Above voltage and frequency limits reflect the scope of IEC 61800-1 and IEC 61800-2.

NOTE 3 For adjustable speed electrical *PDS* not covered by the scope of this document, applicable requirements of other standards, for example IEC 62477-1 and IEC 62477-2, can be used.

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

Motors for driven equipment (see Figure 1) are covered by IEC 60034 (all parts).

NOTE 4 In some cases, safety requirements of the *PDS* (for example, protection against access to hazardous parts) can necessitate the use of special components and/or additional measures.

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 60034 (all parts), *Rotating electrical machines*

IEC 60034-1:2022, *Rotating electrical machines – Part 1: Rating and performance*

IEC 60034-5:2020, *Rotating electrical machines – Part 5: Degrees of protection provided by the integral design of rotating electrical machines (IP code) – Classification*

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 60050-131, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 131: Circuit theory* (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 60050-903, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 903: Risk assessment* (available at www.electropedia.org)

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

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

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

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

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 60204-11:2018, *Safety of machinery – Electrical equipment of machines – Part 11: Requirements for equipment for voltages above 1 000 V AC or 1 500 V DC and not exceeding 36 kV*

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 60417, *Graphical symbols for use on equipment* (available at <https://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 at <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 60695-2-10:2021, *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 60695-2-13:2021, *Fire hazard testing – Part 2-13: Glowing/hot-wire based test methods – Glow-wire ignition temperature (GWIT) test method for materials*

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

IEC 60695-11-10:2013, *Fire hazard testing – Part 11-10: Test flames – 50 W horizontal and vertical flame test methods*

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

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*¹

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

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

IEC 60721-3-4:2019, *Classification of environmental conditions – Part 3: Classification of groups of environmental parameters and their severities – Stationary use at non-weatherprotected locations*

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

IEC 60730-1:2013/AMD1:2015

IEC 60730-1:2013/AMD2:2020

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

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

IEC 60947-4-1:2018, *Low-voltage switchgear and controlgear – Part 4-1: Contactors and motor-starters – Electromechanical contactors and motor-starters*

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 61084 (all parts), *Cable trunking systems and cable ducting systems for electrical installations*

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 61230:2008, *Live working – Portable equipment for earthing or earthing and short-circuiting*

IEC 61386 (all parts), *Conduit systems for cable management*

IEC 61558-1:2017, *Safety of power 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*

IEC 62271-102:2018, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 102: Alternating current disconnectors and earthing switches*

IEC 62477-1:2022, *Safety requirements for power electronic converter systems and equipment – Part 1: General*

¹ This publication has been withdrawn.

IEC 62477-2:2018, *Safety requirements for power electronic converter systems and equipment – Part 2: Power electronic converters from 1 000 V AC or 1 500 V DC up to 36 kV AC or 54 kV DC*

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

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 7000, *Graphical symbols for use on equipment* (available at <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*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	448
INTRODUCTION	450
0.1 Généralités	450
0.2 Commentaires du secteur industriel et des comités nationaux.....	452
0.3 Exigences couvertes par les autres parties pertinentes de la série IEC 61800.....	452
1 Domaine d'application	453
2 Références normatives	453
3 Termes et définitions	457
4 Protection contre les dangers	475
4.1 Généralités	475
4.2 <i>Conditions de premier défaut et conditions anormales de fonctionnement</i>	475
4.3 Protection contre les courts-circuits et les surcharges.....	476
4.3.1 Généralités.....	476
4.3.2 Valeurs assignées de court-circuit en entrée et <i>courant disponible de court-circuit en sortie</i>	478
4.3.3 Coordination de court-circuit (protection en amont).....	479
4.3.4 Protection par plusieurs dispositifs	479
4.3.5 Protection contre la surchauffe et contre les surcharges du moteur	479
4.3.6 <i>BDM/CDM</i> fournissant une commande à limitation de courant	481
4.4 Protection contre les chocs électriques	481
4.4.1 Généralités	481
4.4.2 <i>Classe de tension déterminante (CTD)</i>	481
4.4.3 Dispositions en matière de <i>protection principale</i>	489
4.4.4 Dispositions en matière de <i>protection en cas de défaut</i>	491
4.4.5 Mesures de <i>protection renforcée</i>	501
4.4.6 Mesures de protection	502
4.4.7 <i>Isolation</i>	504
4.4.8 Compatibilité avec les dispositifs de protection à courant différentiel résiduel (DDR).....	527
4.4.9 Décharge de condensateurs	528
4.4.10 Conditions d'accès pour les parties <i>haute tension</i> du <i>BDM/CDM/PDS</i> <i>(verrouillage)</i>	528
4.5 Protection contre les dangers dus à l'énergie électrique.....	531
4.5.1 Généralités	531
4.5.2 Détermination du niveau d'énergie électrique dangereux	531
4.5.3 Sources de puissance limitée	532
4.6 Protection contre les dangers d'incendie et thermiques.....	534
4.6.1 Généralités.....	534
4.6.2 Circuits et <i>composants</i> représentant un danger d'incendie.....	534
4.6.3 Sélection des <i>composants</i> pour atténuer le risque d'un danger d'incendie	534
4.6.4 Protection contre le feu fournie par les <i>enveloppes</i>	535
4.6.5 Limites de température	536
4.7 Protection contre les dangers mécaniques	539
4.7.1 Généralités	539
4.7.2 Vitesse de torsion critique	539
4.7.3 Analyse du couple transitoire.....	540

4.7.4	Exigences spécifiques pour le <i>BDM/CDM/PDS</i> refroidi par liquide	540
4.7.5	Dangers mécaniques provenant des parties rotatives	543
4.7.6	Bords aiguisés	544
4.8	<i>BDM/CDM/PDS</i> à plusieurs sources d'alimentation	544
4.8.1	Généralités	544
4.8.2	Partage de liaison à courant continu <i>basse tension</i>	545
4.9	Protection contre les contraintes environnementales	545
4.9.1	Généralités	545
4.9.2	Protection contre la corrosion	548
4.10	Protection contre les dangers de bruit acoustique excessif	548
4.10.1	Généralités	548
4.10.2	Niveau de bruit acoustique	548
4.11	Câblage et raccordements	548
4.11.1	Généralités	548
4.11.2	<i>Isolation</i> des conducteurs	550
4.11.3	Fil multibrin	552
4.11.4	Cheminement et serrage	552
4.11.5	Identification des conducteurs et des bornes du <i>réseau</i> et de l' <i>alimentation non raccordée directement au réseau</i>	552
4.11.6	Épissures et raccordements	553
4.11.7	Connexions accessibles	553
4.11.8	Interconnexions entre les parties d'un <i>PDS</i>	554
4.11.9	Raccordement de l'alimentation pour les <i>BDM/CDM/PDS connectés en permanence</i>	555
4.11.10	Raccordement de l'alimentation des <i>BDM/CDM/PDS</i> enfichables	555
4.11.11	Bornes	557
4.11.12	Dispositions en matière de connexion du blindage du fil ou du câble blindé	559
4.12	Exigences mécaniques pour les <i>enveloppes</i>	560
4.12.1	Généralités	560
4.12.2	Poignées et commandes manuelles	560
4.12.3	<i>Enveloppe</i> en métal coulé	561
4.12.4	<i>Enveloppe</i> en tôle	561
4.12.5	Stabilité des <i>BDM/CDM/PDS</i> posés au sol	564
4.12.6	Support d'attache de câbles	565
4.12.7	Détente des contraintes d'une <i>enveloppe</i> polymère	565
4.12.8	Condensation interne ou accumulation d'eau	565
4.12.9	Résistance aux ultraviolets (UV) d'une <i>enveloppe</i> polymère à usage extérieur	566
4.13	<i>Composants</i>	566
4.13.1	Généralités sur les <i>composants</i>	566
4.13.2	<i>Composants</i> représentant un danger d'incendie	567
4.13.3	<i>Composants</i> faisant partie intégrante d'une enveloppe	567
4.13.4	<i>Composants</i> représentant un danger mécanique	567
4.13.5	Composants bobinés	567
4.13.6	Dispositifs de protection	567
4.14	Protection contre les champs électromagnétiques	567
5	Exigences d'essais	568
5.1	Généralités	568
5.1.1	Objectifs et classification des essais	568

5.1.2	Sélection des échantillons pour les essais	568
5.1.3	Séquence d'essais	568
5.1.4	Conditions de mise à la terre	568
5.1.5	Conditions générales d'essai	568
5.1.6	Conformité	570
5.1.7	Vue d'ensemble des essais	570
5.2	Spécifications des essais	573
5.2.1	<i>Inspections visuelles (essai de type, essai individuel de série et essai sur prélèvement)</i>	573
5.2.2	Essais mécaniques	573
5.2.3	Essais électriques	583
5.2.4	Essais de <i>fonctionnement anormal</i> et de défauts simulés	602
5.2.5	Essais de matériaux	617
5.2.6	Essais environnementaux (<i>essais de type</i>)	621
5.2.7	Essai de pression hydrostatique (<i>essai de type, essai individuel de série</i>)	628
5.2.8	Essai de champs électromagnétiques (CEM) (<i>essai de type</i>)	629
6	Exigences relatives aux informations et au marquage	629
6.1	Généralités	629
6.1.1	Vue d'ensemble	629
6.1.2	Documentation au format électronique	632
6.1.3	Instructions d'installation	633
6.2	Informations relatives à la sélection	633
6.2.1	Généralités	633
6.2.2	Instructions et marquages relatifs aux <i>accessoires</i>	635
6.3	Informations pour l'installation et la mise en service	636
6.3.1	Généralités	636
6.3.2	Considérations d'ordre mécanique	636
6.3.3	Environnement	636
6.3.4	Manutention et montage	637
6.3.5	<i>Température</i> de l'enveloppe	637
6.3.6	<i>BDM/CDM de type ouvert</i>	637
6.3.7	Connexions	638
6.3.8	Mise en service	640
6.3.9	Exigences de protection	640
6.3.10	Moteur et matériel entraîné	645
6.3.11	<i>Composants</i> installés sur le terrain	645
6.4	Informations pour l'utilisation prévue	645
6.4.1	Généralités	645
6.4.2	Réglage	646
6.4.3	Étiquettes, panneaux, symboles et signaux	646
6.4.4	Surface brûlante	648
6.4.5	Marquage des commandes et du dispositif	648
6.4.6	Stabilité des <i>BDM/CDM/PDS</i> posés au sol	649
6.5	Informations complémentaires	649
6.5.1	Généralités	649
6.5.2	Décharge de condensateurs	650
6.5.3	Mode de fonctionnement spécial – Redémarrage automatique/connexion de dérivation	650

6.5.4	Autres dangers	650
6.5.5	<i>BDM/CDM/PDS</i> à plusieurs sources d'alimentation	650
6.5.6	Connexion TP/TI.....	651
6.5.7	Conditions d'accès au <i>PDS/CDM/PDS haute tension</i> pendant la maintenance	651
Annex A (normative) Informations supplémentaires relatives à la protection contre les chocs électriques		652
A.1	Généralités	652
A.2	Protection au moyen de la <i>CTD As</i>	652
A.3	Protection au moyen d' <i>impédances de protection</i>	653
A.4	Protection au moyen de tensions limitées	654
A.5	Évaluation de la <i>tension de fonctionnement</i> des circuits.....	654
A.5.1	Généralités.....	654
A.5.2	Classification de la <i>tension de fonctionnement</i>	655
A.5.3	<i>Tension de fonctionnement</i> en courant alternatif.....	656
A.5.4	<i>Tension de fonctionnement</i> en courant continu	656
A.5.5	<i>Tension de fonctionnement</i> pulsatoire.....	657
A.6	Concept de mesure de protection selon 4.4	658
A.6.1	Généralités.....	658
A.6.2	Concept général de protection contre les chocs électriques.....	659
A.6.3	Exemples d'utilisation d'éléments de mesures de protection	660
Annex B (informative) Considérations relatives à la réduction du degré de pollution		666
B.1	Généralités	666
B.2	Facteurs ayant un impact sur le degré de pollution	666
B.3	Réduction des facteurs d'influence.....	666
Annex C (informative) Symboles référencés.....		667
C.1	Symboles utilisés	667
C.2	Détermination du contraste	669
Annex D (normative) Évaluation des <i>distances d'isolement</i> et des <i>lignes de fuite</i>		670
D.1	Mesurage.....	670
D.2	Relation entre le mesurage et le degré de pollution.....	670
D.3	Exemples.....	670
Annex E (normative) Correction d'altitude pour les <i>distances d'isolement</i>		677
E.1	Facteur de correction des <i>distances d'isolement</i> à des altitudes supérieures à 2 000 m	677
E.2	Tensions d'essai pour la vérification des <i>distances d'isolement</i> à différentes altitudes.....	677
Annex 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		679
F.1	Influence générale de la fréquence sur les caractéristiques de tenue.....	679
F.2	<i>Distance d'isolement</i>	679
F.2.1	Généralités.....	679
F.2.2	<i>Distance d'isolement</i> pour des champs non homogènes	680
F.2.3	<i>Distance d'isolement</i> pour des champs presque homogènes.....	681
F.3	<i>Lignes de fuite</i>	682
F.4	<i>Isolation solide</i>	683
F.4.1	Généralités.....	683
F.4.2	Distribution de champs presque uniformes sans entrefer ni vide.....	683
F.4.3	Autres cas	684

Annex G (informative) Sections des conducteurs ronds	685
Annex H (informative) Lignes directrices relatives à la compatibilité des DDR.....	686
H.1 Sélection du type de DDR.....	686
H.2 Formes d'ondes des courants de défaut.....	687
Annex I (informative) Exemples de réductions de la catégorie de surtension.....	691
I.1 Généralités	691
I.2 Protection par rapport à l' <i>environnement</i> (voir 4.4.7.2).....	691
I.2.1 Circuits connectés directement au <i>réseau</i> (voir 4.4.7.2.3).....	691
I.2.2 Circuits connectés à l' <i>alimentation non raccordée directement au réseau</i> (voir 4.4.7.2.4)	694
I.2.3 <i>Isolation</i> entre les circuits (voir 4.4.7.2.5)	694
I.3 <i>Isolation fonctionnelle</i> (voir 4.4.7.3)	695
I.4 Autres exemples	695
Annex J (informative) Seuils de brûlure pour les surfaces qui peuvent être touchées.....	697
J.1 Généralités	697
J.2 Seuils de brûlure.....	697
Annex K (informative) Tableau des potentiels électrochimiques	700
Annex L (informative) Instrument de mesure du courant de contact	702
L.1 Circuit d'essai de mesure.....	702
L.2 Exigences relatives aux instruments de mesure	702
Annex M (normative) Doigts d'épreuve pour la détermination de l'accès	703
Annex N (informative) Recommandations relatives au courant de court-circuit.....	706
Annex O (informative) Guide pour la détermination des <i>distances d'isolement</i> et des <i>lignes de fuite</i>	707
O.1 Lignes directrices relatives à la détermination des <i>distances d'isolement</i>	708
O.2 Lignes directrices relatives à la détermination des <i>lignes de fuite</i>	709
O.3 <i>Distances d'isolement</i> et <i>lignes de fuite</i> minimales pour le matériau	710
Annex P (normative) Protection des personnes contre les champs électromagnétiques pour des fréquences comprises entre 0 Hz et 300 GHz.....	711
P.1 Impact général des champs électromagnétiques sur les personnes.....	711
P.1.1 Généralités	711
P.1.2 Effets du champ électrique de basse fréquence (1 Hz à 100 kHz).....	711
P.1.3 Effets du champ magnétique de basse fréquence (1 Hz à 100 kHz).....	711
P.1.4 Effets du champ électrique et magnétique de basse fréquence.....	711
P.1.5 Effets du champ électromagnétique de haute fréquence (100 kHz à 300 GHz).....	712
P.1.6 Connaissances actuelles des effets de faible niveau	712
P.1.7 Effets biologiques/effets sanitaires indésirables.....	712
P.1.8 Impact des CEM sur les implants médicaux actifs et passifs	712
P.2 Recommandations issues des Lignes directrices de l'ICNIRP en matière d'exposition aux CEM	713
P.2.1 Adoption des limites d'expositions données par l'ICNIRP.....	713
P.2.2 Limites d'exposition aux CEM pour le transport et le stockage	715
P.3 Protection des personnes contre l'exposition aux CEM	715
P.3.1 Généralités	715
P.3.2 Exigences de CEM pour les zones d'accès du public	716
P.3.3 Exigences de CEM pour les <i>zones d'accès général</i> , les <i>zones d'accès pour la maintenance</i> et les <i>zones d'accès limité</i>	716
P.3.4 Exigences de CEM pour le transport et le stockage	716

P.4	Essai de champs électromagnétiques (CEM) (<i>essai de type</i>)	717
P.4.1	Montage général d'essai pour les CEM	717
P.4.2	Essai CEM	717
P.5	Marquage des champs électromagnétiques (CEM)	717
Annex Q (informative)	Déconnexion automatique de l'alimentation	718
Q.1	Temps de déconnexion maximal	718
Q.2	<i>Liaison équipotentielle de protection</i> supplémentaire	719
Annex R (informative)	Appréciation du risque selon le Guide IEC 116	720
R.1	Généralités	720
R.2	Appréciation du risque	720
Annex S (informative)	Exigences inhérentes à certains pays – États-Unis Tensions inférieures à 1,5 kV en courant alternatif ou en courant continu	722
S.0	Généralités	722
S.1	Domaine d'application	722
S.2	Références normatives	722
S.3	Termes et définitions	723
S.4	Protection contre les dangers	723
S.4.1	Généralités	723
S.4.2	<i>Conditions de premier défaut et conditions anormales de fonctionnement</i>	723
S.4.3	Protection contre les courts-circuits et les surcharges	724
S.4.4	Protection contre les chocs électriques	726
S.4.5	Protection contre les dangers dus à l'énergie électrique	736
S.4.6	Protection contre les dangers d'incendie et thermiques	736
S.4.7	Protection contre les dangers mécaniques	737
S.4.8	<i>BDM/CDM/PDS</i> à plusieurs sources d'alimentation	739
S.4.9	Protection contre les contraintes environnementales	739
S.4.10	Protection contre les dangers de bruit acoustique excessif	739
S.4.11	Câblage et raccordements	739
S.4.12	Exigences mécaniques pour <i>les enveloppes</i>	751
S.4.200	Dispositifs auxiliaires	764
S.4.201	<i>Accessoires</i>	764
S.4.202	Dispositions pour le montage	764
S.4.203	Condensateurs	764
S.5	Exigences d'essais	765
S.5.1	Généralités	765
S.5.2	Spécifications des essais	766
S.6	Exigences relatives aux informations et au marquage	788
S.6.1	Généralités	788
S.6.2	Informations relatives à la sélection	788
S.6.3	Informations pour l'installation et la mise en service	789
S.6.4	Informations pour l'utilisation	794
S.6.5	Informations complémentaires	794
S.200	Évaluation des distances d'isolement et des <i>lignes de fuite</i>	795
S.200.1	<i>Distances d'isolement et lignes de fuite</i>	796
S.201	Référence normative et normes de <i>composants</i>	799
S.202	Références normalisées IEC aux États-Unis	802
S.203	Circuits secondaires isolés et circuits alimentés par batterie	805
S.203.1	Circuits secondaires isolés	805

S.203.2	Essai des circuits secondaires	811
S.203.3	Circuits alimentés par une batterie	813
S.204	Courants de fonctionnement du moteur à pleine charge	814
Annex T (informative) Exigences inhérentes à certains pays – Tension jusqu'à 34,5 kV		
au Canada		
T.0	Généralités	817
T.1	Domaine d'application	817
T.2	Références normatives	817
T.3	Termes et définitions	819
T.4	Protection contre les dangers	820
T.4.1	Généralités	820
T.4.2	<i>Conditions de premier défaut et conditions anormales de fonctionnement</i>	820
T.4.3	Protection contre les courts-circuits et les surcharges	820
T.4.4	Protection contre les chocs électriques	821
T.4.5	Protection contre les dangers dus à l'énergie électrique	832
T.4.6	Protection contre les dangers d'incendie et thermiques	832
T.4.7	Protection contre les dangers mécaniques	834
T.4.8	<i>BDM/CDM/PDS</i> à plusieurs sources d'alimentation	834
T.4.9	Protection contre les contraintes environnementales	834
T.4.10	Protection contre les dangers de bruit acoustique excessif	834
T.4.11	Câblage et raccordements	835
T.4.12	Exigences mécaniques pour <i>les enveloppes</i>	847
T.4.13	<i>Composants</i>	853
T.4.14	Protection contre les champs électromagnétiques	858
T.5	Exigences d'essais	858
T.5.1	Généralités	858
T.5.2	Spécifications des essais	858
T.6	Exigences relatives aux informations et au marquage	886
T.6.1	Généralités	886
T.6.2	Informations relatives à la sélection	888
T.6.3	Informations pour l'installation et la mise en service	889
T.6.4	Informations pour l'utilisation	892
T.6.5	Informations complémentaires	893
T.200	Références normatives IEC remplacées par des normes CSA	894
Bibliographie		
897		
Figure 1	– Configuration matérielle d'un <i>PDS</i> dans une <i>installation</i>	469
Figure 2	– Zones temps-tension pour les circuits <i>CTD As</i> et <i>CTD B</i> – Courant continu	485
Figure 3	– Zones temps-tension pour les circuits <i>CTD As</i> et <i>CTD B</i> – Crête en courant alternatif	486
Figure 4	– Zones temps-tension pour les <i>parties accessibles</i> conductrices	487
Figure 5	– Exemple de disposition <i>BDM/CDM</i> relevant de la <i>protection de classe I</i> et sa <i>liaison équipotentielle de protection</i> associée	494
Figure 6	– Exemple de disposition <i>BDM/CDM</i> relevant de la <i>protection de classe I</i> et sa <i>liaison équipotentielle de protection</i> associée par l'intermédiaire d'un contact métallique direct	495
Figure 7	– Exemple d'interconnexions à l'intérieur du <i>BDM/CDM</i> et entre les parties du <i>PDS</i>	549

Figure 8 – Exemple d'interconnexions entre les parties du <i>PDS</i> (parties du <i>BDM/CDM</i> séparées par le câblage externe).....	550
Figure 9 – Exemple de disposition de conducteurs isolés dans un câble	551
Figure 10 – Cordons <i>réseau</i> détachables et connexions	556
Figure 11 – Espace de courbure des fils	559
Figure 12 – Surfaces d'enveloppes reposant et ne reposant pas sur le châssis.....	562
Figure 13 – Essai de choc à l'aide d'une bille d'acier	579
Figure 14 – Procédures d'essais de tension.....	591
Figure 15 – Procédure d'essai de décharge partielle.....	593
Figure 16 – Instrument d'essai de rigidité diélectrique.....	599
Figure 17 – Mandrin.....	600
Figure 18 – Position initiale du mandrin	600
Figure 19 – Position finale du mandrin	600
Figure 20 – Position de la feuille métallique sur le matériau isolant.....	601
Figure 21 – Montage d'essai de la <i>liaison équipotentielle de protection</i>	606
Figure 22 – Exemple d'essai de court-circuit entre l'accès de puissance du moteur du <i>BDM/CDM</i> et la <i>terre de protection</i> (moteur mis à la terre séparément).....	608
Figure 23 – Exemple d'essai de court-circuit entre l'accès de puissance du moteur du <i>BDM/CDM</i> et la <i>terre de protection</i> (moteur mis à la terre par l'intermédiaire du <i>BDM/CDM</i>)	608
Figure 24 – Exemple d'essai de court-circuit entre l'accès de puissance de la liaison en courant continu du <i>BDM/CDM</i> et la <i>terre de protection</i>	609
Figure 25 – Valeurs interpolées du Tableau 37	611
Figure 26 – Circuit pour essai de formation d'arc à courant élevé	617
Figure 27 – Montage pour essai d'inflammation au fil chaud	619
Figure A.1 – Protection par la <i>CTD As</i> avec <i>protection renforcée</i>	652
Figure A.2 – Protection au moyen d' <i>impédances de protection</i>	653
Figure A.3 – Protection au moyen de tensions limitées	654
Figure A.4 – Forme d'onde classique d'une <i>tension de fonctionnement</i> en courant alternatif	656
Figure A.5 – Forme d'onde classique d'une <i>tension de fonctionnement</i> en courant continu.....	656
Figure A.6 – Forme d'onde classique d'une <i>tension de fonctionnement</i> pulsatoire.....	657
Figure A.7 – Mesures de protection selon les paragraphes 4.4.1 à 4.4.5 pour la protection contre les <i>chocs électriques</i> en prenant en considération les <i>BDM/CDM/PDS</i> relevant de la <i>classe de protection I</i> et de la <i>classe protection II</i>	659
Figure A.8 – Mesures de protection selon les paragraphes 4.4.1 à 4.4.5 pour la protection contre les <i>chocs électriques</i> en prenant en considération les <i>BDM/CDM/PDS</i> et circuits <i>CTD As</i> relevant de la <i>classe protection III</i>	660
Figure D.1 – Exemple de mesurage incluant une rainure	671
Figure D.2 – Exemple de mesurage incluant une rainure	671
Figure D.3 – Exemple de mesurage incluant une rainure	671
Figure D.4 – Exemple de mesurage incluant une nervure	671
Figure D.5 – Exemple de mesurage assurant une protection de type 2	672
Figure D.6 – Exemple de mesurage assurant une protection de type 1	672
Figure D.7 – Exemple de mesurage assurant une protection de type 1	672

Figure D.8 – Exemple de mesurage assurant une protection de type 1	673
Figure D.9 – Exemple de mesurage incluant une barrière (joints scellés).....	673
Figure D.10 – Exemple de mesurage incluant une barrière	673
Figure D.11 – Exemple de mesurage incluant une ouverture.....	674
Figure D.12 – Exemple de mesurage incluant une ouverture.....	674
Figure D.13 – Exemple de mesurage incluant une partie conductrice flottante	675
Figure D.14 – Exemple de mesurage dans une couche interne de carte de circuit imprimé	675
Figure D.15 – Exemple de mesurage dans une enveloppe de matériau isolant	676
Figure F.1 – Schéma de dimensionnement des <i>distances d'isolement</i> au-dessus de 30 kHz	680
Figure F.2 – Schéma de dimensionnement des <i>lignes de fuite</i> au-dessus de 30 kHz	682
Figure F.3 – Intensité du champ admise pour le dimensionnement de <i>l'isolation solide</i> selon la Formule (F.1).....	684
Figure H.1 – Organigramme conduisant à la sélection du type de DDR en amont d'un <i>PDS</i>	686
Figure H.2 – Symboles pour le marquage en fonction du type de DDR.....	687
Figure H.3 – Formes d'ondes des courants de défaut dans des montages avec <i>BDM/CDM/PDS</i>	690
Figure I.1 – Évaluation de la <i>protection principale</i> pour les circuits connectés à l'origine du <i>réseau de l'installation</i>	691
Figure I.2 – Évaluation de la <i>protection principale</i> pour les circuits connectés au <i>réseau</i>	692
Figure I.3 – Évaluation de la <i>protection principale</i> pour les <i>BDM/CDM/PDS</i> monophasés et triphasés non <i>connectés en permanence</i> au <i>réseau</i>	692
Figure I.4 – Évaluation de la <i>protection principale</i> pour les circuits connectés à l'origine du <i>réseau de l'installation</i> où des SPD internes sont utilisés	692
Figure I.5 – Évaluation de la <i>protection principale</i> pour les circuits connectés au <i>réseau</i> où des SPD internes sont utilisés	693
Figure I.6 – Exemple d'évaluation de la <i>protection renforcée</i> pour les circuits connectés au <i>réseau</i> où des SPD internes sont utilisés	693
Figure I.7 – Exemple d'évaluation de la <i>protection renforcée</i> pour les circuits connectés au <i>réseau</i> où des SPD internes sont utilisés	693
Figure I.8 – Exemple d'évaluation de la <i>protection renforcée</i> pour les circuits connectés au <i>réseau</i> où des SPD internes sont utilisés	694
Figure I.9 – Évaluation de la <i>protection principale</i> pour les circuits connectés à <i>l'alimentation non raccordée directement au réseau</i>	694
Figure I.10 – Évaluation de la <i>protection principale</i> pour les circuits connectés à l'origine de <i>l'alimentation non raccordée directement à l'installation</i>	694
Figure I.11 – Évaluation de <i>l'isolation fonctionnelle</i> dans les circuits affectés par des transitoires externes	695
Figure I.12 – Évaluation de la <i>protection principale</i> pour les circuits connectés au <i>réseau</i> et pour un circuit <i>non raccordé directement au réseau</i>	695
Figure I.13 – Évaluation de <i>l'isolation</i> pour les circuits accessibles de la <i>CTD As</i>	696
Figure J.1 – Seuil de brûlure diffusé lorsque la peau est en contact avec une surface lisse brûlante en métal nu (non revêtu)	697
Figure J.2 – Hausse du seuil de brûlure diffusé de la Figure J.1 pour les métaux revêtus d'une gomme-laque d'une épaisseur de 50 µm, 100 µm et 150 µm	698

Figure J.3 – Hausse du seuil de brûlure diffusé de la Figure J.1 pour les métaux revêtus de matériaux spécifiques	698
Figure J.4 – Seuil de brûlure diffusé lorsque la peau est en contact avec une surface lisse brûlante en céramique, en verre et en pierre.....	699
Figure J.5 – Seuil de brûlure diffusé lorsque la peau est en contact avec une surface lisse brûlante en plastique	699
Figure L.1 – Circuit d'essai de mesure	702
Figure M.1 – Calibre sphérique de 50 mm selon l'IEC 61032:1997, doigt d'essai A	703
Figure M.2 – Doigt d'essai assemblé selon l'IEC 61032:1997, doigt d'essai B	704
Figure M.3 – Tige d'essai de 2,5 mm selon l'IEC 61032:1997, doigt d'essai C.....	705
Figure M.4 – Doigt d'essai sphérique de 12,5 mm selon l'IEC 61032:1997, doigt d'essai 2	705
Figure O.1 – Organigramme des <i>distances d'isolement</i>	708
Figure O.2 – Organigramme des <i>lignes de fuite</i>	709
Figure S.1 – Calibre articulé avec butée	755
Figure S.2 – Détermination du courant pour des circuits de 10 000 A au maximum.....	777
Figure S.3 – Courant coupé limité de crête	782
Figure S.4 – Application de la règle de Simpson à l'oscillogramme de courant de fusible pour obtenir le courant coupé limité I^2_t	783
Figure S.5 – Joint serré	796
Figure T.1 – Acheminement des conducteurs à travers une barrière métallique	841
Figure T.2 – Espace de courbure des fils	846
Figure T.3 – Circuit d'essai en utilisant la Formule TT.1	869
Figure T.4 – Circuit d'essai en utilisant la Formule TT.2.....	869
Figure T.5 – Circuit d'essai en utilisant la Formule TT.3.....	870
Figure T.6 – Circuit d'essai en utilisant la Formule TT.4.....	870
Figure T.7 – Sensibilité de l'ensemble d'essais classique.....	871
Figure T.8 – Détermination du courant et du facteur de puissance des circuits de 10 000 A maximum	882
Tableau 1 – Liste alphabétique des termes (dans l'ordre alphabétique des termes anglais).....	458
Tableau 2 – Limites de tension pour les <i>classes de tension déterminantes</i>	484
Tableau 3 – Exigences de protection pour les circuits à l'étude.....	488
Tableau 4 – Section du <i>conducteur de mise à la terre de protection</i>	497
Tableau 5 – Définitions des degrés de pollution	506
Tableau 6 – <i>Tension de tenue aux chocs et surtension temporaire</i> en fonction de la <i>tension système</i> des circuits <i>basse tension</i>	509
Tableau 7 – <i>Tension de tenue aux chocs et surtension temporaire</i> en fonction de la <i>tension système</i> des circuits haute tension	509
Tableau 8 – <i>Distance d'isolement</i> pour l' <i>isolation fonctionnelle</i> , l' <i>isolation principale</i> ou l' <i>isolation supplémentaire n</i>	514
Tableau 9 – Classification des matériaux isolants	517
Tableau 10 – <i>Lignes de fuite</i>	518
Tableau 11 – Exigences relatives au matériau <i>isolant</i>	522

Tableau 12 – Distance par rapport aux <i>parties actives</i> non isolées pour la prise en considération du HWI, du HAI et de l'IRC.....	522
Tableau 13 – Matériaux génériques pour le matériau <i>isolant</i>	523
Tableau 14 – Épaisseur du matériau pelliculé ou ruban selon les exigences d' <i>isolation</i>	524
Tableau 15 – Limites pour les sources d'alimentation sans dispositif de protection contre les <i>surintensités</i>	532
Tableau 16 – Limites pour les sources d'alimentation avec dispositif de protection contre les <i>surintensités</i>	533
Tableau 17 – Températures maximales totales mesurées pour les <i>composants</i> et les matériaux internes	537
Tableau 18 – Températures maximales mesurées des <i>parties accessibles</i> du <i>BDM/CDM/PDS</i>	539
Tableau 19 – Épaisseur de paroi minimale de la tuyauterie.....	542
Tableau 20 – Conditions de service environnementales	547
Tableau 21 – Espace de courbure des fils des bornes à l' <i>enveloppe</i>	558
Tableau 22 – Épaisseur des tôles d' <i>enveloppes</i> électriques: acier au carbone ou acier inoxydable	563
Tableau 23 – Épaisseur des tôles d' <i>enveloppes</i> électriques: aluminium, cuivre ou laiton	564
Tableau 24 – Conditions environnementales pour les essais	569
Tableau 25 – Vue d'ensemble des essais	570
Tableau 26 – Valeurs de traction pour la fixation des poignées et organes de contrôle manuels.....	581
Tableau 27 – Valeurs pour les essais physiques du support d'attache de l' <i>enveloppe</i>	581
Tableau 28 – Essai de <i>tension de tenue aux chocs</i>	584
Tableau 29 – Tension de l'essai de <i>tension de tenue aux chocs</i> pour les <i>BDM/CDM/PDS basse tension</i>	585
Tableau 30 – Tension de l'essai de <i>tension de tenue aux chocs</i> pour les <i>BDM/CDM/PDS haute tension</i>	586
Tableau 31 – <i>Tension d'essai alternative ou continue pour circuits raccordés directement au réseau basse tension</i>	588
Tableau 32 – Tension d'essai alternative ou continue pour circuits raccordés directement au <i>réseau haute tension</i>	588
Tableau 33 – Tension d'essai alternative ou continue pour les circuits raccordés à l' <i>alimentation non raccordée directement au réseau sans surtension temporaire</i>	589
Tableau 34 – Paramètre pour l'essai de tension en courant alternatif ou en courant continu du <i>BDM/CDM/PDS</i>	592
Tableau 35 – Essai de décharge partielle	593
Tableau 36 – <i>Courant de court-circuit présumé</i> pour l'essai par rapport au courant d'entrée assigné du <i>BDM/CDM/PDS</i>	604
Tableau 37 – Délai de déclenchement maximal pour l'essai de la <i>protection électronique contre les surcharges du moteur</i>	610
Tableau 38 – Essais environnementaux.....	622
Tableau 39 – Procédure de préconditionnement ou de recouvrement pour les essais climatiques (<i>essai de type</i>)	623
Tableau 40 – Essai de chaleur sèche (régime permanent) (<i>essai de type</i>)	623
Tableau 41 – Essai à basse température (<i>essai de type</i>)	624
Tableau 42 – Essai de chaleur humide (régime permanent) (<i>essai de type</i>).....	625
Tableau 43 – Essai de chaleur humide (cyclique) (<i>essai de type</i>).....	626

Tableau 44 – Essai de vibration	627
Tableau 45 – Essai de brouillard salin	627
Tableau 46 – Essai de poussière	628
Tableau 47 – Essai de sable	628
Tableau 48 – Exigences d'informations	630
Tableau A.1 – Configurations de la protection contre les chocs électriques.....	662
Tableau C.1 – Symboles utilisés	667
Tableau D.1 – Largeur des rainures en fonction du degré de pollution	670
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	677
Tableau E.2 – Tensions d'essai pour la vérification des <i>distances d'isolement</i> à différentes altitudes	678
Tableau F.1 – Valeurs minimales des <i>distances d'isolement</i> à la pression atmosphérique dans des conditions de champ non homogènes	681
Tableau F.2 – Facteurs multiplicatifs pour les <i>distances d'isolement</i> à la pression atmosphérique pour des conditions de champs presque homogènes	681
Tableau F.3 – Valeurs minimales des <i>lignes de fuite</i> pour différentes plages de fréquences.....	683
Tableau G.1 – Sections normalisées des conducteurs ronds.....	685
Tableau K.1 – Tableau des potentiels électrochimiques	701
Tableau O.1 – <i>Distances d'isolement</i> et <i>lignes de fuite</i> minimales pour le matériau	710
Tableau P.1 – Limites de CEM pour une exposition de la population générale	714
Tableau P.2 – Limites de CEM pour une exposition des travailleurs.....	714
Tableau P.3 – Limites pour une induction magnétique de champs magnétiques statiques	715
Tableau P.4 – Vue d'ensemble des essais CEM	717
Tableau 41.1 – Temps de déconnexion maximaux	718
Tableau R.1 – Appréciation du risque	720
Tableau S.1 – Dimension du conducteur de liaison	727
Tableau S.2 – Durée de circulation du courant pour l'essai du conducteur de liaison	728
Tableau S.3 – Capacité d'essai de court-circuit du conducteur de liaison.....	728
Tableau S.4 – Caractéristique assignée minimale du dispositif de protection contre les <i>surintensités</i>	730
Tableau S.5 – Dimensions des traversées	731
Tableau S.6 – <i>BDM/CDM/PDS</i> destinés à être installés dans un circuit d'alimentation	732
Tableau S.7 – <i>Matériaux génériques pour les barrières</i>	734
Tableau S.8 – Épaisseur de paroi minimale de la tuyauterie	738
Tableau S.9 – Courant permanent admissible du cordon souple	742
Tableau S.10 – Courants d'alimentation assignés des conducteurs isolés.....	746
Tableau S.11 – Espace de courbure du câble aux bornes de l'équipement de conversion de puissance sous enveloppe	748
Tableau S.12 – Protection contre les <i>surintensités</i>	749
Tableau S.13 – Dispositif de protection prévu du circuit de dérivation	750
Tableau S.14 – Ouvertures dans les <i>enveloppes</i>	756
Tableau S.15 – Ajout au Tableau 3 de l'UL 50:2015: Épaisseur de tôle des <i>enveloppes</i> – Acier au carbone ou acier inoxydable	758

Tableau S.16 – Ajout au Tableau 4 de l'UL 50: Épaisseur de tôle des <i>enveloppes</i> – aluminium, cuivre ou laiton	759
Tableau S.17 – Dimensions des ouvertures défonçables	762
Tableau S.18 – Valeurs de tension pour les essais	765
Tableau S.19 – Tensions d'essai de tension en courant alternatif ou en courant continu.....	768
Tableau S.20 – Largeur des bus de raccordement en cuivre	769
Tableau S.21 – Conditions d'essai de ligne de production.....	770
Tableau S.22 – Facteur de puissance des circuits d'essai pour des dispositifs assignés à 600 V ou moins.....	787
Tableau S.23 – <i>Distances d'isolement et lignes de fuite</i> minimales au niveau des bornes pour câblage externe jusqu'à 600 V	797
Tableau S.24 – <i>Distances d'isolement et lignes de fuite</i> minimales au niveau des bornes pour câblage externe supérieures à 600 V	798
Tableau S.25 – <i>Distances d'isolement et lignes de fuite</i> au niveau des bornes pour câblage externe des environnements de degré de pollution 2	798
Tableau S.26 – Références normatives IEC qui ne s'appliquent pas	802
Tableau S.27 – Références normatives IEC remplacées par des normes américaines	803
Tableau S.28 – Circuits secondaires, différences dans l'évaluation.....	805
Tableau S.29 – Courants de fonctionnement du moteur à pleine charge, en ampères, correspondant à différentes caractéristiques assignées de cheval-vapeur en courant alternatif	815
Tableau S.30 – Courants de fonctionnement du moteur à pleine charge, en ampères, correspondant à différentes caractéristiques assignées de cheval-vapeur en courant continu.....	816
Tableau T.1 – Dimension et nombre de conducteurs de liaison par terminaison.....	822
Tableau T.2 – Dimension du conducteur de liaison	823
Tableau T.3 – <i>Distances d'isolement et lignes de fuite</i> minimales sur les bornes pour câblage externe	825
Tableau T.4 – Dimensions des traversées	827
Tableau T.5 – Tensions d'essai pour vérifier les <i>distances d'isolement</i>	829
Tableau T.6 – Tensions d'essai pour la vérification des <i>distances d'isolement</i> à l'aide de valeurs efficaces en courant alternatif.....	830
Tableau T.7 – Matériau générique acceptable en tant que barrière	830
Tableau T.8 – courant permanent admissible des conducteurs en cuivre isolés à l'intérieur d' <i>enveloppes</i> d'équipement de commande industriel (en fonction d'une <i>température ambiante</i> de 40 °C)	835
Tableau T.9 – Facteurs de correction du courant permanent admissible pour plusieurs groupes de conducteurs.....	835
Tableau T.10 – Espace de câblage	836
Tableau T.11 – Espace de courbure des fils	837
Tableau T.12 – Courants de fonctionnement du moteur à pleine charge, en ampères, correspondant aux caractéristiques assignées de cheval-vapeur en courant alternatif	838
Tableau T.13 – Courants de fonctionnement du moteur à pleine charge, en ampères, correspondant aux caractéristiques assignées de cheval-vapeur en courant continu.....	839
Tableau T.14 – Espace de courbure des fils	841
Tableau T.15 – Valeurs d'essai des bornes de câblage de <i>BDM/CDM/PDS</i>	844
Tableau T.16 – Courant permanent admissible des conducteurs en fonction des caractéristiques assignées de cycle de service de la résistance	845

Tableau T.17 – Épaisseur de tôle des <i>enveloppes</i> – Acier au carbone ou acier inoxydable	849
Tableau T.18 – Épaisseur de tôle des <i>enveloppes</i> – Aluminium, cuivre ou laiton	850
Tableau T.19 – Caractéristique assignée acceptable maximale du dispositif de protection contre les <i>surintensités</i> primaire	854
Tableau T.20 – Caractéristique assignée acceptable minimale du dispositif de protection contre les <i>surintensités</i> secondaire.....	855
Tableau T.21 – Protection contre les <i>surintensités</i> – Conducteurs en cuivre	855
Tableau T.22 – Valeurs d'essai de rigidité diélectrique des <i>BDM/CDM/PDS haute tension</i> , kV.....	858
Tableau T.23 – Couple de serrage pour l'essai des entrées de conduit des <i>enveloppes</i> polymères	861
Tableau T.24 – Moment de flexion	861
Tableau T.25 – Formules de sensibilité du circuit d'essai.....	868
Tableau T.26 – Courants d'alimentation assignés des conducteurs isolés.....	874
Tableau T.27 – Dimension des connexions du bus de raccordement en cuivre pour l'essai de température.....	875
Tableau T.28 – Valeurs d'essai de court-circuit.....	876
Tableau T.29 – Facteur de puissance de court-circuit	881
Tableau T.30 – Traduction des marquages	887
Tableau T.31 – Références normatives IEC remplacées par des normes CSA	894

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ENTRAÎNEMENTS ÉLECTRIQUES DE PUISSANCE À VITESSE VARIABLE –

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

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Électrotechnique 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. À 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 61800-5-1 a été établie par le sous-comité 22G: Systèmes d'entraînement électrique de puissance à vitesse variable (PDS), du comité d'études 22 de l'IEC: Systèmes et équipements électroniques de puissance.

Cette troisième édition annule et remplace la deuxième édition parue en 2007 et l'Amendement 1:2016. Cette édition constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente:

- a) harmonisation avec l'IEC 62477-1:2022;
- b) harmonisation avec l'UL 61800-5-1 et la CSA C22.2 N° 274, incluant une annexe contenant une liste des divergences nationales qui ont été considérées comme étant impossibles à harmoniser dans un délai raisonnable;
- c) informations plus détaillées relatives à l'évaluation des composants selon l'IEC 61800-5-1 et les normes pertinentes relatives aux composants de sécurité;
- d) exigences mises à jour concernant les dangers mécaniques, y compris plusieurs classifications IP.

Le texte de cette Norme internationale est issu des documents suivants:

Projet	Rapport de vote
22G/455/FDIS	22G/457/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/publications.

Dans le présent document, les termes en *italique* sont définis à l'Article 3.

L'attention du lecteur est attirée sur le fait que l'Annex S et l'Annex T énumèrent tous les articles traitant des différences inhérentes à certains pays à caractère moins permanent par rapport au sujet du présent document.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 61800, publiées sous le titre général *Entraînements électriques de puissance à vitesse variable*, se trouve sur le site web de l'IEC.

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 "webstore.iec.ch" dans les données relatives au document recherché. À 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 ce document en utilisant une imprimante couleur.

INTRODUCTION

0.1 Généralités

Le présent document contient la révision de l'IEC 61800-5-1:2007 et de l'IEC 61800-5-1:2007/AMD1:2016.

Plusieurs enjeux importants ont orienté le périmètre et la démarche choisie pour la maintenance de l'IEC 61800-5-1:2007 lors du développement du présent document.

Les modifications majeures par rapport à l'IEC 61800-5-1:2007 sont les suivantes.

a) La structure et le contenu s'appuient sur l'IEC 62477-1 en ce qui concerne les modifications et les nouvelles rubriques, telles que

- l'Article 1: Domaine d'application mis à jour pour inclure *BDM/CDM/PDS* d'émission et de transmission radio.
- 4.1, 5.1, 6.1: "Utilisation prévue" incluse.
- 4.2: Analyse du fonctionnement anormal et des conditions de premier défaut (retravaillé de manière significative).
- 4.3: Protection contre les courts-circuits et les surcharges incluse en tant que nouveau paragraphe.
- 4.4 et l'Annex A: Protection contre les chocs électriques mis à jour selon l'IEC 61140 (2016) et l'IEC 60364-4-41, y compris la coordination de l'isolement selon l'IEC 60664 (toutes les parties) en prenant en considération:
 - 4.4.2 – Classe de tension déterminante (en particulier CTD As pour les conditions sèche, humide et humide et salée); le Tableau 2 et le Tableau 3 retravaillés;
 - 4.4.3 – Protection principale (retravaillé);
 - 4.4.4 – Protection en cas de défaut (retravaillé);
 - 4.4.5 – Protection renforcée (retravaillé);
 - 4.4.7 – Isolation (retravaillé):
 - 4.4.7.1.2 – Tension de fonctionnement (nouveau);
 - 4.4.7.1.8 – Isolation par pontage des composants (nouveau);
 - 4.4.7.7 – *distance d'isolement* et *lignes de fuite* d'une carte de circuit imprimé et des ensembles de composants pour une isolation fonctionnelle (retravaillé);
 - 4.4.7.8 – Isolation solide (nouveau/retravaillé);
 - 4.4.7.9 – Raccordement des parties de l'isolation solide (joints scellés) (nouveau);
 - 4.4.8/l'Annex H – Compatibilité avec les DDR (retravaillés);
 - 4.4.10 – Conditions d'accès pour un *PDS haute tension* (nouveau).
- 4.5: Protection contre les dangers dus à l'énergie (nouveau).
- 4.6: Protection contre les dangers d'incendie et thermiques (nouveau).
- 4.7: Protection contre les dangers mécaniques (nouveau).
- 4.8: *BDM/CDM/PDS* à plusieurs sources d'alimentation (nouveau).
- 4.9: Protection contre les contraintes environnementales (nouveau) (aligné sur l'IEC 61800-2).
- 4.11: Câblage et raccordements mis à jour (retravaillé de manière significative).
- 4.12: Enveloppe mise à jour (retravaillé de manière significative).
- 4.13 Bibliographie: Évaluation des composants (nouveaux).

- 4.14 Annex P: Protection contre les champs électromagnétiques (nouveaux).
- l'Article 5: Mis à jour avec quelques exigences d'essai supplémentaires/modifiées:
 - 5.2.2.2 – Essai de non-accessibilité (retravaillé de manière significative);
 - 5.2.2.3 – Essai d'intégrité de l'enveloppe (classification IP) (retravaillé de manière significative);
 - 5.2.2.4 – Essais d'intégrité de l'enveloppe (nouveau);
 - 5.2.2.5 – Essai des *BDM/CDM/PDS* fixés au mur ou au plafond (nouveau);
 - 5.2.2.6 – Essai de fixation des poignées et organes de contrôle manuels (nouveau);
 - 5.2.2.7 – Essai de relâchement des contraintes (nouveau);
 - 5.2.3.7 – Essai de mesure du courant de contact (retravaillé);
 - 5.2.3.9 – Source de puissance limitée (nouveau);
 - 5.2.3.11 – Essai de la liaison équipotentielle de protection (nouveau);
 - 5.2.3.12 – Essai à l'entrée du circuit (nouveau);
 - 5.2.3.13 – Procédure d'essai normalisée – matériau pelliculé (nouveau);
 - 5.2.3.14 – Procédure d'essai pour la détermination de la tension de fonctionnement (nouveau);
 - 5.2.3.16 – Préconditionnement de matériau (retravaillé);
 - 5.2.4.4 – Essai de court-circuit de la liaison équipotentielle de protection (nouveau);
 - 5.2.4.9 – Essai de surcharge en sortie (nouveau);
 - 5.2.4.13.5 – Couverture des ouvertures pour l'essai d'air de refroidissement (essai de type) (nouveau);
 - 5.2.5.6 – Essai des joints scellés (nouveau);
 - 5.2.7 – Essai de pression hydrostatique (nouveau);
 - 5.2.8 – Essai de champs électromagnétiques (CEM) (nouveau).
- l'Article 6: – Mise à jour avec un marquage plus spécifique.
 - Structure alignée sur l'IEC 62477-1 de façon la plus étroite possible;
 - Tableau 48 simplifié.
- Annex A – Informations supplémentaires relatives à la protection contre les chocs électriques (retravaillée).
- Annex C – Symboles référencés (retravaillée).
- Annex E – Correction d'altitude pour les *distances d'isolement* (retravaillée).
- Annex F – Détermination de la *distance d'isolement* et de la *ligne de fuite* pour des fréquences supérieures à 30 kHz (retravaillée).
- Annex H – Lignes directrices relatives à la compatibilité des DDR (retravaillée).
- Annex M – Doigt d'épreuve pour la détermination de l'accès (nouvelle).
- Annex O – Guide pour la détermination des *distances d'isolement* et des *lignes de fuite* (nouvelle).
- Annex P – Protection des personnes contre les champs électromagnétiques pour des fréquences comprises entre 0 Hz et 300 GHz (nouvelle).
- Annex Q – Déconnexion automatique de l'alimentation (nouvelle).
- Annex R – Évaluation des risques du Guide 116 incluse (nouvelle).
- Bibliographie – Normes pertinentes en matière de sécurité des composants (nouvelle).

b) Harmonisation avec l'UL 61800-5-1

L'ensemble du document a été modifié en tenant compte des divergences nationales pour les États-Unis de l'UL 61800-5-1. Les divergences nationales pour les États-Unis de l'UL 61800-5-1 impossibles à harmoniser ont été placées dans l'Annex S.

c) Harmonisation avec la CSA C22.2 N° 274

- Compte tenu du délai court, seules quelques rubriques ont été harmonisées.
- Les divergences nationales canadiennes de la CSA 22.0 N°274 impossibles à harmoniser ont été placées dans l'Annex T.

d) Harmonisation avec l'UL 347A

- Quelques rubriques pertinentes ont été harmonisées en prenant en considération les aspects de sécurité relatifs aux *BDM/CDM/PDS haute tension*.

Une harmonisation plus importante de l'IEC 61800-5-1 est attendue. Dans ce cadre, les futures éditions de l'IEC 61800-5-1 prendra en considération le contenu de l'UL 61800-5-1, de la CSA C22.2 N° 274 et de l'UL 347A.

0.2 Commentaires du secteur industriel et des comités nationaux

L'utilisation de l'IEC 61800-5-1:2007 par les fabricants et les organismes d'essai depuis sa publication a permis d'identifier plusieurs sujets considérés comme étant utiles à la mise en œuvre ou des sujets qui nécessitent des informations supplémentaires pour une meilleure compréhension de l'intention de l'exigence spécifique. Ces sujets sont également mis en œuvre dans le présent document.

0.3 Exigences couvertes par les autres parties pertinentes de la série IEC 61800

- les exigences générales pour les *systèmes d'entraînement de puissance* en courant continu sont couvertes par l'IEC 61800-1;
- les exigences générales pour les *systèmes d'entraînement de puissance* en courant alternatif sont couvertes par l'IEC 61800-2;
- les aspects relatifs à la CEM sont couverts par l'IEC 61800-3;
- les aspects relatifs à la sécurité fonctionnelle sont couverts par l'IEC 61800-5-2;
- les aspects relatifs à la sécurité fonctionnelle des codeurs sont couverts par l'IEC 61800-5-3;
- les aspects relatifs au type de régime de charge sont couverts par l'IEC TR 61800-6;
- Les aspects relatifs aux profils de communication sont couverts par l'IEC 61800-7 (toutes les parties);
- les aspects relatifs à la tension de *l'interface de puissance* sont couverts par l'IEC TS 61800-8;
- les aspects relatifs à l'écoconception sont couverts par l'IEC 61800-9 (toutes les parties);

Le document suivant ne fait pas partie de la série IEC 61800, mais il est souvent utilisé comme partie intégrante du BDM:

- les convertisseurs à alimentation active sont couverts par l'IEC TS 62578.

ENTRAÎNEMENTS ÉLECTRIQUES DE PUISSANCE À VITESSE VARIABLE –

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

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 61800 spécifie les exigences relatives aux *entraînements électriques de puissance (PDS – power drive system)* à vitesse variable ou leurs éléments, en ce qui concerne les dangers électriques, thermiques, d'incendie, mécaniques et énergétiques, et d'autres risques appropriés. Elle ne couvre pas le matériel entraîné, à l'exception des exigences relatives aux interfaces. Elle s'applique aux *PDS* à vitesse variable qui incluent la conversion de puissance, la commande de *module d'entraînement principal (BDM)/module d'entraînement complet (CDM)* et un ou plusieurs moteurs.

Les *BDM/CDM* pour les véhicules électriques et les véhicules de traction sont exclus.

Elle s'applique aux *PDS* électriques à vitesse variable basse tension destinés à alimenter un ou plusieurs *moteurs* à partir d'un *BDM/CDM* relié à des tensions entre phases allant jusqu'à 1,0 kV inclus en courant alternatif (50 Hz ou 60 Hz) et jusqu'à 1,5 kV inclus en courant continu.

Elle s'applique également aux *PDS* électriques à vitesse variable haute tension destinés à alimenter un ou plusieurs *moteurs* à partir d'un *BDM/CDM* relié à des tensions entre phases allant jusqu'à 35 kV inclus en courant alternatif (50 Hz ou 60 Hz) et jusqu'à 52 kV inclus en courant continu.

NOTE 1 Au moment de la publication du présent document, la limite de tension technique supérieure des moteurs en courant continu est de 2,25 kV en courant continu.

NOTE 2 Les limites de tension et de fréquence ci-dessus reflètent le domaine d'application de l'IEC 61800-1 et de l'IEC 61800-2.

NOTE 3 Pour les *PDS* électriques à vitesse variable non couverts par le domaine d'application du présent document, les exigences applicables d'autres normes (l'IEC 62477-1 et l'IEC 62477-2, par exemple) peuvent être utilisées.

Le présent document s'applique également aux *PDS* qui émettent ou reçoivent intentionnellement des ondes radioélectriques pour les besoins de la communication radio.

Les moteurs pour matériels entraînés (voir la Figure 1) sont couverts par l'IEC 60034 (toutes les parties).

NOTE 4 Dans certains cas, les exigences de sécurité du *PDS* (par exemple la protection contre l'accès aux parties dangereuses) peuvent nécessiter l'utilisation de composants spéciaux et/ou de mesures supplémentaires.

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 60034 (toutes les parties), *Machines électriques tournantes*

IEC 60034-1:2022, *Machines électriques tournantes – Partie 1: Caractéristiques assignées et caractéristiques de fonctionnement*

IEC 60034-5:2020, *Machines électriques tournantes – Partie 5: Degrés de protection procurés par la conception intégrale de machines électriques tournantes (code IP) – Classification*

IEC 60050-112, *Vocabulaire électronique international (IEV) – Partie 112: Grandeurs et unités* (disponible à l'adresse suivante: www.electropedia.org)

IEC 60050-113, *Vocabulaire électronique international (IEV) – Partie 113: Physique pour l'électrotechnique* (disponible à l'adresse suivante: www.electropedia.org)

IEC 60050-114, *Vocabulaire électronique international (IEV) – Partie 114: Électrochimie* (disponible à l'adresse suivante: www.electropedia.org)

IEC 60050-131, *Vocabulaire électronique international (IEV) – Partie 131: Théorie des circuits* (disponible à l'adresse suivante: www.electropedia.org)

IEC 60050-151, *Vocabulaire électronique international (IEV) – Partie 151: Dispositifs électriques et magnétiques* (disponible à l'adresse suivante: www.electropedia.org)

IEC 60050-161, *Vocabulaire électronique international (IEV) – Partie 161: Compatibilité électromagnétique* (disponible à l'adresse suivante: www.electropedia.org)

IEC 60050-192, *Vocabulaire électronique international (IEV) – Partie 192: Sûreté de fonctionnement* (disponible à l'adresse suivante: www.electropedia.org)

IEC 60050-426, *Vocabulaire électronique international (IEV) – Partie 426: Atmosphères explosives* (disponible à l'adresse suivante: www.electropedia.org)

IEC 60050-441, *Vocabulaire électronique international (IEV) – Partie 441: Appareillage et fusibles* (disponible à l'adresse suivante: www.electropedia.org)

IEC 60050-442, *Vocabulaire électronique international (IEV) – Partie 442: Petit appareillage* (disponible à l'adresse suivante: www.electropedia.org)

IEC 60050-551, *Vocabulaire électronique international (IEV) – Partie 551: Électronique de puissance* (disponible à l'adresse suivante: www.electropedia.org)

IEC 60050-601, *Vocabulaire électronique international (IEV) – Partie 601: Production, transport et distribution de l'énergie électrique – Généralités* (disponible à l'adresse suivante: www.electropedia.org)

IEC 60050-826, *Vocabulaire électronique international (IEV) – Partie 826: Installations électriques* (disponible à l'adresse suivante: www.electropedia.org)

IEC 60050-903, *Vocabulaire électronique international (IEV) – Partie 903: Appréciation du risque* (disponible à l'adresse suivante: www.electropedia.org)

IEC 60068-2-1:2007, *Essais d'environnement – Partie 2-1: Essais – Essai A: Froid*

IEC 60068-2-2:2007, *Essais d'environnement – Partie 2-2: Essais – Essai B: Chaleur sèche*

IEC 60068-2-6:2007, *Essais d'environnement – Partie 2-6: Essais – Essai Fc: Vibrations (sinusoïdales)*

IEC 60068-2-30:2005, *Essais d'environnement – Partie 2-30: Essais – Essai Db: Essai cyclique de chaleur humide (cycle de 12 h + 12 h)*

IEC 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 60204-11:2018, *Sécurité des machines – Équipement électrique des machines – Partie 11: Exigences pour les équipements fonctionnant à des tensions supérieures à 1 000 V en courant alternatif ou 1 500 V en courant continu et ne dépassant pas 36 kV*

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 à 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 60417, *Symboles graphiques utilisables sur le matériel* (disponible à l'adresse suivante: <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 suivante: <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 60695-2-10:2021, *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 60695-2-13:2021, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 2-13: Essais au fil incandescent/chauffant – Méthode d'essai de température d'allumage au fil incandescent (GWIT) pour matériaux*

IEC 60695-10-2:2014, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 10-2: Chaleurs anormales – Essai à la bille*

IEC 60695-11-10:2013, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 11-10: Flamme d'essai – Méthodes d'essai horizontale et verticale à la flamme de 50 W*

IEC 60695-11-20:2015, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 11-20: Flamme d'essai – Méthode 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 intempéries¹*

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

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

IEC 60721-3-4:2019, *Classification des conditions d'environnement – Partie 3: Classification des groupements des agents d'environnement et de leurs sévérités – Utilisation à poste fixe, non protégé contre les intempéries*

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 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 60947-4-1:2018, *Appareillage à basse tension – Partie 4-1: Contacteurs et démarreurs de moteurs – Contacteurs et démarreurs électromécaniques*

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 61084 (toutes les parties), *Systèmes de goulottes et systèmes de conduits-profilés pour installations électriques*

IEC 61180:2016, *Techniques des essais à haute tension pour matériels 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 61230:2008, *Travaux sous tension – Équipements portables de mise à la terre ou de mise à la terre et en court-circuit*

IEC 61386 (toutes les parties), *Systèmes de conduits pour la gestion du câblage*

¹ Cette publication a été retirée.

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*

IEC 62271-102:2018, *Appareillage à haute tension – Partie 102: Sectionneurs et sectionneurs de terre à courant alternatif*

IEC 62477-1:2022, *Exigences de sécurité applicables aux systèmes et matériels électroniques de conversion de puissance – Partie 1: Généralités*

IEC 62477-2:2018, *Exigences de sécurité applicables aux systèmes et matériels électroniques de conversion de puissance – Partie 2: Convertisseurs électroniques de puissance entre 1 000 V en courant alternatif ou 1 500 V en courant continu et 36 kV en courant alternatif ou 54 kV en courant continu*

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 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 7000, *Symboles graphiques utilisables sur le matériel* (disponible à l'adresse suivante: <http://www.graphical-symbols.info/equipment>)

ISO 7010, *Symboles graphiques – Couleurs de sécurité et signaux de sécurité – Signaux de sécurité enregistrés* (disponible à l'adresse suivante: <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*