



INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**High-voltage switchgear and controlgear –
Part 100: Alternating-current circuit-breakers**

**Appareillage à haute tension –
Partie 100: Disjoncteurs à courant alternatif**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE **XN**
CODE PRIX

CONTENTS

FOREWORD.....	19
1 General.....	21
1.1 Scope.....	21
1.2 Normative references.....	22
2 Normal and special service conditions.....	23
3 Terms and definitions.....	23
3.1 General terms.....	23
3.2 Assemblies.....	27
3.3 Parts of assemblies.....	27
3.4 Switching devices.....	27
3.5 Parts of circuit-breakers.....	29
3.6 Operation.....	31
3.7 Characteristic quantities.....	33
3.8 Index of definitions.....	39
4 Ratings.....	43
4.1 Rated voltage (U_r).....	44
4.2 Rated insulation level.....	44
4.3 Rated frequency (f_r).....	45
4.4 Rated normal current (I_r) and temperature rise.....	45
4.5 Rated short-time withstand current (I_k).....	45
4.6 Rated peak withstand current (I_p).....	45
4.7 Rated duration of short circuit (t_k).....	45
4.8 Rated supply voltage of closing and opening devices and of auxiliary and control circuits (U_a).....	45
4.9 Rated supply frequency of closing and opening devices and auxiliary circuits.....	45
4.10 Rated pressures of compressed gas supply for insulation, operation and/or interruption.....	46
4.101 Rated short-circuit breaking current (I_{SC}).....	46
4.101.1 AC component of the rated short-circuit breaking current.....	46
4.101.2 DC time constant of the rated short-circuit breaking current.....	46
4.102 Transient recovery voltage related to the rated short-circuit breaking current.....	47
4.102.1 Representation of TRV waves.....	47
4.102.2 Representation of TRV.....	48
4.102.3 Standard values of TRV related to the rated short-circuit breaking current.....	49
4.102.4 Standard values of ITRV.....	57
4.103 Rated short-circuit making current.....	57
4.104 Rated operating sequence.....	58
4.105 Characteristics for short-line faults.....	58
4.106 Rated out-of-phase making and breaking current.....	59
4.107 Rated capacitive switching currents.....	60
4.107.1 Rated line-charging breaking current.....	60
4.107.2 Rated cable-charging breaking current.....	60
4.107.3 Rated single capacitor bank breaking current.....	61
4.107.4 Rated back-to-back capacitor bank breaking current.....	62

4.107.5	Rated single capacitor bank inrush making current.....	62
4.108	Inductive load switching.....	62
4.109	Rated time quantities.....	62
4.109.1	Rated break-time.....	63
4.110	Number of mechanical operations.....	63
4.111	Classification of circuit-breakers as a function of electrical endurance.....	63
5	Design and construction.....	64
5.1	Requirements for liquids in circuit-breakers.....	64
5.2	Requirements for gases in circuit-breakers.....	64
5.3	Earthing of circuit-breakers.....	64
5.4	Auxiliary equipment.....	64
5.5	Dependent power closing.....	65
5.6	Stored energy closing.....	65
5.7	Independent manual operation.....	65
5.8	Operation of releases.....	65
5.8.101	Over-current release.....	65
5.8.101.1	Operating current.....	65
5.8.101.2	Operating time.....	65
5.8.101.3	Resetting current.....	66
5.8.102	Multiple releases.....	66
5.8.103	Operation limits of releases.....	66
5.8.104	Power consumption of releases.....	66
5.8.105	Integrated relays for self-tripping circuit-breakers.....	66
5.9	Low- and high-pressure interlocking devices.....	66
5.10	Nameplates.....	66
5.11	Interlocking devices.....	68
5.12	Position indication.....	68
5.13	Degrees of protection by enclosures.....	68
5.14	Creepage distances.....	68
5.15	Gas and vacuum tightness.....	68
5.16	Liquid tightness.....	68
5.17	Fire hazard (flammability).....	68
5.18	Electromagnetic compatibility.....	68
5.19	X-ray emission.....	69
5.20	Corrosion.....	69
5.101	Requirements for simultaneity of poles during single closing and single opening operations.....	69
5.102	General requirement for operation.....	69
5.103	Pressure limits of fluids for operation.....	69
5.104	Vent outlets.....	70
6	Type tests.....	70
6.1	General.....	72
6.1.1	Grouping of tests.....	72
6.1.2	Information for identification of specimens.....	72
6.1.3	Information to be included in type test reports.....	72
6.1.101	Invalid tests.....	72
6.2	Dielectric tests.....	73
6.2.1	Ambient air conditions during tests.....	73
6.2.2	Wet test procedure.....	73

6.2.3	Condition of circuit-breaker during dielectric tests.....	73
6.2.4	Criteria to pass the test.....	73
6.2.5	Application of test voltage and test conditions.....	73
6.2.6	Tests of circuit-breakers of $U_r \leq 245$ kV.....	74
6.2.7	Tests of circuit-breakers of $U_r > 245$ kV.....	74
6.2.8	Artificial pollution tests.....	75
6.2.9	Partial discharge tests.....	75
6.2.10	Tests on auxiliary and control circuits.....	75
6.2.11	Voltage test as a condition check.....	75
6.3	Radio interference voltage (r.i.v.) tests.....	76
6.4	Measurement of the resistance of the main circuit.....	76
6.5	Temperature-rise tests.....	76
6.5.1	Conditions of the circuit-breaker to be tested.....	76
6.5.2	Arrangement of the equipment.....	76
6.5.3	Measurement of the temperature and the temperature rise.....	77
6.5.4	Ambient air temperature.....	77
6.5.5	Temperature-rise tests of the auxiliary and control equipment.....	77
6.5.6	Interpretation of the temperature-rise tests.....	77
6.6	Short-time withstand current and peak withstand current tests.....	77
6.6.1	Arrangement of the circuit-breaker and of the test circuit.....	77
6.6.2	Test current and duration.....	77
6.6.3	Behaviour of the circuit-breaker during a test.....	77
6.6.4	Conditions of the circuit-breaker after a test.....	78
6.7	Verification of the degree of protection.....	78
6.7.1	Verification of the IP coding.....	78
6.7.2	Mechanical impact test.....	78
6.8	Tightness tests.....	78
6.9	Electromagnetic compatibility (EMC) tests.....	78
6.9.3.1	Ripple on d.c. input power port immunity test.....	78
6.9.3.2	Voltage dips, short interruptions and voltage variations on d.c. input power port immunity tests.....	78
6.10	Additional tests on auxiliary and control circuits.....	78
6.10.1	General.....	78
6.10.2	Functional tests.....	79
6.10.3	Electrical continuity of earthed metallic parts test.....	79
6.10.4	Verification of the operational characteristics of auxiliary contacts.....	79
6.10.5	Environmental tests.....	79
6.10.1	Mechanical and environmental tests.....	79
6.101.1	Miscellaneous provisions for mechanical and environmental tests.....	79
6.101.1.1	Mechanical characteristics.....	79
6.101.1.2	Component tests.....	80
6.101.1.3	Characteristics and settings of the circuit-breaker to be recorded before and after the tests.....	80
6.101.1.4	Condition of the circuit-breaker during and after the tests.....	81
6.101.1.5	Condition of the auxiliary and control equipment during and after the tests.....	81
6.101.2	Mechanical operation test at ambient air temperature.....	81
6.101.2.1	General.....	81
6.101.2.2	Condition of the circuit-breaker before the test.....	82

6.101.2.3	Description of the test on class M1 circuit-breakers	82
6.101.2.4	Extended mechanical endurance tests on class M2 circuit-breakers for special service requirements	83
6.101.2.5	Acceptance criteria for the mechanical operation tests	83
6.101.3	Low and high temperature tests	84
6.101.3.1	General	84
6.101.3.2	Measurement of ambient air temperature	85
6.101.3.3	Low temperature test	85
6.101.3.4	High-temperature test	86
6.101.4	Humidity test	87
6.101.4.1	General	87
6.101.4.2	Test procedure	88
6.101.5	Test to prove the operation under severe ice conditions	89
6.101.6	Static terminal load test	89
6.101.6.1	General	89
6.101.6.2	Tests	89
6.102	Miscellaneous provisions for making and breaking tests	90
6.102.1	General	91
6.102.2	Number of test specimens	91
6.102.3	Arrangement of circuit-breaker for test	92
6.102.3.1	General	92
6.102.3.2	Common enclosure type	93
6.102.3.3	Multi-enclosure type	93
6.102.3.4	Self-tripping circuit-breakers	94
6.102.4	General considerations concerning testing methods	94
6.102.4.1	Single-phase testing of a single pole of a three-pole circuit-breaker	94
6.102.4.2	Unit testing	95
6.102.4.2.1	Identical nature of the units	96
6.102.4.2.2	Voltage distribution	96
6.102.4.2.3	Requirements for unit testing	97
6.102.4.3	Multi-part testing	97
6.102.5	Synthetic tests	98
6.102.6	Pre-load operations before tests	98
6.102.7	Alternative operating mechanisms	98
6.102.8	Behaviour of circuit-breaker during tests	99
6.102.9	Condition of circuit-breaker after tests	99
6.102.9.1	General	99
6.102.9.2	Condition after a short-circuit test-duty	100
6.102.9.3	Condition after a short-circuit test series	100
6.102.9.4	Condition after a capacitive current switching test series	101
6.102.9.5	Reconditioning after a short-circuit test-duty and other test series	102
6.102.10	Demonstration of arcing times	102
6.102.10.1	Three-phase tests	102
6.102.10.1.1	Test-duty T10, T30, T60, T100s, T100s(b), OP1 and OP2	102
6.102.10.1.2	Test-duty T100a	102
6.102.10.2	Single-phase tests in substitution for three-phase conditions	104
6.102.10.2.1	Non-effectively earthed neutral systems	104
6.102.10.2.1.1	Test-duties T10, T30, T60, T100s and T100s(b), OP1 and OP2	104

6.102.10.2.1.2	Test-duty T100a	105
6.102.10.2.2	Effectively earthed neutral systems including short-line fault tests	115
6.102.10.2.2.1	Test-duties T10, T30, T60, T100s and T100s(b), OP1 and OP2, L ₉₀ , L ₇₅ and L ₆₀	115
6.102.10.2.2.2	Test-duty T100a	115
6.102.10.2.3	Modified procedure in cases where the circuit-breaker failed to interrupt during a test with a medium arcing time	115
6.102.10.2.3.1	Breaking test with symmetrical current	115
6.102.10.2.3.2	Breaking test with asymmetrical current	116
6.102.10.2.4	Tests combining the conditions for effectively and non-effectively earthed neutral systems	116
6.102.10.2.5	Splitting of test-duties in test series taking into account the associated TRV for each pole-to-clear	116
6.103	Test circuits for short-circuit making and breaking tests	117
6.103.1	Power factor	117
6.103.2	Frequency	117
6.103.3	Earthing of test circuit	117
6.103.4	Connection of test circuit to circuit-breaker	119
6.104	Short-circuit test quantities	119
6.104.1	Applied voltage before short-circuit making tests	119
6.104.2	Short-circuit making current	119
6.104.2.1	General	119
6.104.2.2	Test procedure	120
6.104.2.2.1	Three-phase tests	120
6.104.2.2.2	Single-phase tests	120
6.104.3	Short-circuit breaking current	121
6.104.4	DC component of short-circuit breaking current	121
6.104.5	Transient recovery voltage (TRV) for short-circuit breaking tests	122
6.104.5.1	General	122
6.104.5.2	Test-duties T100s and T100a	124
6.104.5.3	Test duty T10	124
6.104.5.4	Test duty T30	124
6.104.5.5	Test duty T60	125
6.104.5.6	Test-duties OP1 and OP2	125
6.104.6	Measurement of transient recovery voltage during test	125
6.104.7	Power frequency recovery voltage	132
6.105	Short-circuit test procedure	132
6.105.1	Time interval between tests	132
6.105.2	Application of auxiliary power to the opening release – Breaking tests	133
6.105.3	Application of auxiliary power to the opening release – Make-break tests	133
6.105.4	Latching on short-circuit	133
6.106	Basic short-circuit test-duties	133
6.106.1	Test-duty T10	134
6.106.2	Test-duty T30	134
6.106.3	Test-duty T60	134
6.106.4	Test-duty T100s	134
6.106.4.1	Time constant of the d.c. component of the test circuit equal to the specified value	135

6.106.4.2	Time constant of the d.c. component of the test circuit less than the specified value	135
6.106.4.3	Time constant of the d.c. component of the test circuit greater than the specified value	136
6.106.4.4	Significant decay of the a.c. component of the test circuit	136
6.106.5	Test-duty T100a	137
6.106.6	Asymmetry criteria	138
6.106.6.1	Three-phase tests	139
6.106.6.1.1	Test current amplitude and last current loop duration	139
6.106.6.1.2	Percentage of d.c. component at current zero	139
6.106.6.2	Single-phase tests	139
6.106.6.2.1	Test current amplitude and last current loop duration	139
6.106.6.2.2	Percentage of the d.c. component at current zero	140
6.106.6.3	Adjustment measures	140
6.107	Critical current tests	140
6.107.1	Applicability	140
6.107.2	Test current	141
6.107.3	Critical current test-duty	141
6.108	Single-phase and double-earth fault tests	141
6.108.1	Applicability	141
6.108.2	Test current and recovery voltage	142
6.108.3	Test-duty	142
6.109	Short-line fault tests	143
6.109.1	Applicability	143
6.109.2	Test current	143
6.109.3	Test circuit	144
6.109.4	Test-duties	146
6.109.5	Short-line fault tests with a test supply of limited power	146
6.110	Out-of-phase making and breaking tests	147
6.110.1	Test circuit	147
6.110.2	Test voltage	147
6.110.3	Test duties	147
6.111	Capacitive current switching tests	148
6.111.1	Applicability	148
6.111.2	General	148
6.111.3	Characteristics of supply circuits	149
6.111.4	Earthing of the supply circuit	149
6.111.5	Characteristics of the capacitive circuit to be switched	150
6.111.5.1	Line-charging and cable-charging current switching tests	150
6.111.5.2	Capacitor bank current switching tests	151
6.111.6	Waveform of the current	151
6.111.7	Test voltage	151
6.111.8	Test current	152
6.111.9	Test-duties	152
6.111.9.1	Test conditions for class C2 circuit-breakers	153
6.111.9.1.1	Class C2 test-duties	153
6.111.9.1.2	Three-phase line-charging and cable-charging current switching tests	156
6.111.9.1.3	Single-phase line-charging and cable-charging current switching tests	156

6.111.9.1.4	Three-phase capacitor bank (single or back-to-back) current switching tests	156
6.111.9.1.5	Single-phase capacitor bank (single or back-to-back) current switching tests	157
6.111.9.2	Test conditions for class C1 circuit-breakers	158
6.111.9.2.1	Class C1 test-duties	158
6.111.9.2.2	Single-phase and three-phase capacitive current switching tests	160
6.111.9.3	Test conditions corresponding to breaking in the presence of earth faults	160
6.111.10	Tests with specified TRV	161
6.111.11	Criteria to pass the test	161
6.111.11.1	General	161
6.111.11.2	Class C2 circuit-breaker	162
6.111.11.3	Class C1 circuit-breaker	162
6.111.11.4	Criteria for reclassification of a circuit-breaker tested to the class C2 requirements as a class C1 circuit-breaker	162
6.112	Special requirements for making and breaking tests on class E2 circuit-breakers	163
6.112.1	Class E2 circuit-breakers intended for use without auto-reclosing duty	163
6.112.2	Class E2 circuit-breakers intended for auto-reclosing duty	163
7	Routine tests	164
7.1	Dielectric test on the main circuit	164
7.2	Tests on auxiliary and control circuits	165
7.3	Measurement of the resistance of the main circuit	165
7.4	Tightness test	165
7.5	Design and visual checks	165
7.101	Mechanical operating tests	165
8	Guidance to the selection of circuit breakers for service	167
8.101	General	167
8.102	Selection of rated values for service conditions	168
8.102.1	Selection of rated voltage	168
8.102.2	Insulation coordination	169
8.102.3	Rated frequency	169
8.102.4	Selection of rated normal current	169
8.102.5	Local atmospheric and climatic conditions	169
8.102.6	Use at high altitudes	170
8.103	Selection of rated values for fault conditions	170
8.103.1	Selection of rated short-circuit breaking current	170
8.103.2	Selection of transient recovery voltage (TRV) for terminal faults, first-pole-to-clear factor and characteristics for short-line faults	172
8.103.3	Selection of out-of-phase characteristics	173
8.103.4	Selection of rated short-circuit making current	173
8.103.5	Operating sequence in service	174
8.103.6	Selection of rated duration of short-circuit	174
8.103.7	Faults in the presence of current limiting reactors	174
8.104	Selection for electrical endurance in networks of rated voltage above 1 kV and up to and including 52 kV	175
8.105	Selection for capacitive current switching	175
9	Information to be given with enquiries, tenders and orders	175

9.101	Information to be given with enquiries and orders	175
9.102	Information to be given with tenders	177
10	Rules for transport, storage, installation, operation and maintenance	178
10.1	Conditions during transport, storage and installation.....	178
10.2	Installation.....	179
10.2.101	Commissioning tests.....	179
10.2.102	Commissioning checks and test programme	179
10.2.102.1	Checks after installation	179
10.2.102.1.1	General checks	179
10.2.102.1.2	Checks of electrical circuits	180
10.2.102.1.3	Checks of the insulation and/or extinguishing fluid(s)	180
10.2.102.1.4	Checks on operating fluid(s), where filled or added to on site	180
10.2.102.1.5	Site operations	180
10.2.102.2	Mechanical tests and measurements	180
10.2.102.2.1	Measurements of the characteristic insulating and/or interrupting fluid pressures (where applicable)	180
10.2.102.2.1.1	General	180
10.2.102.2.1.2	Measurements to be taken.....	180
10.2.102.2.2	Measurements of characteristic operating fluid pressures (if applicable)	181
10.2.102.2.2.1	General	181
10.2.102.2.2.2	Measurements to be taken.....	181
10.2.102.2.3	Measurement of consumption during operations (if applicable).....	181
10.2.102.2.4	Verification of the rated operating sequence.....	182
10.2.102.2.5	Measurement of time quantities.....	182
10.2.102.2.5.1	Characteristic time quantities of the circuit-breaker.....	182
10.2.102.2.6	Record of mechanical travel characteristics	183
10.2.102.2.7	Checks of certain specific operations	183
10.2.102.2.7.1	Auto-reclosing at the minimum functional pressure for operation (if applicable).....	183
10.2.102.2.7.2	Closing at the minimum functional pressure for operation (if applicable)	183
10.2.102.2.7.3	Opening at the minimum functional pressure for operation (if applicable)	183
10.2.102.2.7.4	Simulation of fault-making operation and check of anti- ramping device	184
10.2.102.2.7.5	Behaviour of the circuit-breaker on a closing command while an opening command is already present.....	184
10.2.102.2.7.6	Application of an opening command on both releases simultaneously (if applicable)	184
10.2.102.3	Electrical tests and measurements	184
10.2.102.3.1	Dielectric tests.....	184
10.2.102.3.2	Measurement of the resistance of the main circuit	184
10.3	Operation	185
10.4	Maintenance	185
11	Safety.....	185
12	Influence of the product on the environment	185
Annex A	(normative) Calculation of transient recovery voltages for short-line faults from rated characteristics	240
A.1	Basic approach.....	240

A.2	Transient voltage on line side	242
A.3	Transient voltage on source side	242
A.3.1	Rated voltages of 100 kV and above	242
A.3.2	Rated voltages equal and higher than 15 kV and below 100 kV	244
A.4	Examples of calculations	244
A.4.1	Source side and line side with time delay (L_{90} and L_{75} for 245 kV, 50 kA, 50 Hz)	245
A.4.2	Source side with ITRV, line side with time delay (L_{90} for 245 kV, 50 kA, 50 Hz)	246
A.4.3	Source side with time delay, line side without time delay (L_{90} for 245 kV, 50 kA, 50 Hz) – Calculation carried out using a simplified method	246
Annex B	(normative) Tolerances on test quantities during type tests	249
Annex C	(normative) Records and reports of type tests	256
C.1	Information and results to be recorded	256
C.2	Information to be included in type test reports	256
C.2.1	General	256
C.2.2	Apparatus tested	256
C.2.3	Rated characteristics of circuit-breaker, including its operating devices and auxiliary equipment	256
C.2.4	Test conditions (for each series of tests)	257
C.2.5	Short-circuit making and breaking tests	257
C.2.6	Short-time withstand current test	258
C.2.7	No-load operation	258
C.2.8	Out-of-phase making and breaking tests	258
C.2.9	Capacitive current switching tests	258
C.2.10	Oscillographic and other records	259
Annex D	(normative) Determination of short-circuit power factor	260
D.1	Method I – Calculation from d.c. component	260
D.1.1	Equation for the d.c. component	260
D.1.2	Phase angle φ	260
D.2	Method II – Determination with pilot generator	260
Annex E	(normative) Method of drawing the envelope of the prospective transient recovery voltage of a circuit and determining the representative parameters	262
E.1	Introduction	262
E.2	Drawing the envelope	262
E.3	Determination of parameters	263
Annex F	(normative) Methods of determining prospective transient recovery voltage waves	266
F.1	Introduction	266
F.2	General summary of the recommended methods	267
F.3	Detailed consideration of the recommended methods	268
F.3.1	Group 1 – Direct short-circuit breaking	268
F.3.2	Group 2 – Power-frequency current injection	269
F.3.3	Group 3 – Capacitor current injection	270
F.3.4	Groups 2 and 3 – Methods of calibration	270
F.3.5	Group 4 – Model networks	271
F.3.6	Group 5 – Calculation from circuit parameters	272
F.3.7	Group 6 – No-load switching of test circuits including transformers	272

F.3.8 Group 7 – Combination of different methods	272
F.4 Comparison of methods	272
Annex G (normative) Rationale behind introduction of circuit-breakers class E2	282
Annex H (informative) Inrush currents of single and back-to-back capacitor banks	283
H.1 General	283
H.2 Example 1 – One capacitor to be switched in parallel (see Figure H.1)	284
H.2.1 Description of the capacitor banks to be switched	284
H.2.2 Calculation without any limitation device	284
H.2.3 Calculation of limitation devices	284
H.3 Example 2 – Two capacitors to be switched in parallel (see Figure H.2)	285
H.3.1 Description of the capacitor banks to be switched	285
H.3.2 Calculation without any limitation device	285
H.3.3 Calculation of limitation devices	286
Annex I (informative) Explanatory notes	288
I.1 General	288
I.2 Explanatory note regarding the d.c. time constant of the rated short-circuit breaking current (4.101.2) – Advice for the choice of the appropriate time constant	288
I.2.1 Advice for the choice of the appropriate time constant	288
I.2.2 DC component during T100a testing	288
I.3 Explanatory note regarding capacitive current switching tests (6.111)	290
I.3.1 Restrike performance	290
I.3.2 Test programme	290
I.3.3 Referring to Table 9	290
I.3.4 Referring to 6.111.1	290
I.3.5 Referring to 6.111.3	290
I.3.6 Referring to 6.111.5	291
I.3.7 Referring to 6.111.9.1.1	291
I.3.8 Referring to 6.111.9.1.1 and 6.111.9.2.1	291
I.3.9 Referring to 6.111.9.1.2 and 6.111.9.1.3	291
I.3.10 Referring to 6.111.9.1.2 to 6.111.9.1.5	291
I.3.11 Referring to 6.111.9.1.4 and 6.111.9.1.5	292
I.3.12 Referring to 6.111.9.2	292
Annex J (informative) Test current and line length tolerances for short-line fault testing	293
Annex K (informative) List of symbols and abbreviations used in this standard	295
Annex L (informative) Explanatory notes on the revision of TRVs for circuit-breakers of rated voltages higher than 1 kV and less than 100 kV	301
L.1 General	301
L.2 Terminal fault	301
L.2.1 TRV for circuit-breakers in line systems	301
L.2.2 Time delay	302
L.2.3 Amplitude factor for T100s and T100a	302
L.2.4 Amplitude factor for T60, T30 and T10	302
L.3 Short-line fault	303
L.4 Out-of-phase	303
L.5 Series reactor fault	303
L.6 TRV for last clearing poles / Tests circuit topology	304

Annex M (normative) Requirements for breaking of transformer-limited faults by circuit-breakers with rated voltage higher than 1 kV and less than 100 kV	305
Annex N (normative) Use of mechanical characteristics and related requirements	308
Annex O (informative) Guidance for short-circuit and switching test procedures for metal-enclosed and dead tank circuit-breakers	310
O.1 Introduction	310
O.2 General	310
O.2.1 Special features of metal-enclosed circuit-breakers with respect to making and breaking tests	310
O.2.2 Reduced number of units for testing purposes	310
O.2.3 General description of special features and possible interactions	311
O.3 Tests for single pole in one enclosure	312
O.3.1 Short-circuit making and breaking tests	312
O.3.2 Short-line fault tests	314
O.3.3 Capacitive current switching tests	314
O.3.4 Out-of-phase switching	316
O.4 Tests for three poles in one enclosure	317
O.4.1 Terminal fault tests	317
O.4.2 Short-line fault tests	319
O.4.3 Capacitive current switching tests	319
O.4.4 Out-of-phase switching test	319
Annex P (normative) Calculation of the TRV parameters during asymmetrical fault condition (T100a)	322
Annex Q (informative) Examples for the application of the asymmetry criteria during asymmetrical test-duty T100a	327
Q.1 Three-phase testing of a circuit-breaker with a rated d.c. time constant of the rated short-circuit breaking current constant longer than the test circuit time constant	327
Q.2 Single phase testing of a circuit-breaker with a rated d.c. time constant of the rated short-circuit breaking current shorter than the test circuit time constant	329
Q.3 Single-phase testing of a circuit-breaker with a rated d.c. time constant of the rated short-circuit breaking current longer than the test circuit time constant	330
Bibliography	335
Figure 1 – Typical oscillogram of a three-phase short-circuit make-break cycle	186
Figure 2 – Circuit-breaker without switching resistors. Opening and closing operations	188
Figure 3 – Circuit breaker without switching resistors – Close-open cycle	189
Figure 4 – Circuit-breaker without switching resistors – Reclosing (auto-reclosing)	190
Figure 5 – Circuit-breaker with switching resistors. Opening and closing operations	191
Figure 6 – Circuit-breaker with switching resistors – Close-open cycle	192
Figure 7 – Circuit-breaker with switching resistors – Reclosing (auto-reclosing)	193
Figure 8 – Determination of short-circuit making and breaking currents, and of percentage d.c. component	194
Figure 9 – Percentage d.c. component in relation to the time interval from the initiation of the short-circuit for the standard time constant τ_1 and for the special case time constants τ_2 , τ_3 and τ_4	195
Figure 10 – Representation of a specified four-parameter TRV and a delay line for T100, T60, short-line fault and out-of-phase condition	196

Figure 11 – Representation of a specified TRV by a two-parameter reference line and a delay line	197
Figure 12a – Basic circuit for terminal fault with ITRV	198
Figure 12b – Representation of ITRV in relationship to TRV	198
Figure 13 – Three-phase short-circuit representation	199
Figure 14 – Alternative representation of Figure 13	200
Figure 15 – Basic short-line fault circuit	201
Figure 16 – Example of a line-side transient voltage with time delay and rounded crest showing construction to derive the values u_{L^*} , t_L and t_{dL}	201
Figure 17 – Test sequences for low and high temperature tests	202
Figure 18 – Humidity test	203
Figure 19 – Static terminal load forces	204
Figure 20 – Directions for static terminal load tests	205
Figure 21 – Permitted number of samples for making, breaking and switching tests, illustrations of the statements in 6.102.2	206
Figure 22 – Definition of a single test specimen in accordance with 3.2.2 of IEC 62271-1 ...	207
Figure 23a – Reference mechanical travel characteristics (idealised curve)	208
Figure 23b – Reference mechanical travel characteristics (idealised curve) with the prescribed envelopes centered over the reference curve (+5 %, –5 %), contact separation in this example at time $t = 20$ ms	208
Figure 23c – Reference mechanical travel characteristics (idealised curve) with the prescribed envelopes fully displaced upward from the reference curve (+10 %, –0 %), contact separation in this example at time $t = 20$ ms	209
Figure 23d – Reference mechanical travel characteristics (idealised curve) with the prescribed envelopes fully displaced downward from the reference curve (+0 %, –10 %), contact separation in this example at time $t = 20$ ms	209
Figure 24 – Equivalent testing set-up for unit testing of circuit-breakers with more than one separate interrupter units	210
Figure 25a – Preferred circuit	211
Figure 25b – Alternative circuit	211
Figure 25 – Earthing of test circuits for three-phase short-circuit tests, first-pole-to-clear factor 1,5	211
Figure 26a – Preferred circuit	212
Figure 26b – Alternative circuit	212
Figure 26 – Earthing of test circuits for three-phase short-circuit tests, first-pole-to-clear factor 1,3	212
Figure 27a – Preferred circuit	213
Figure 27b – Alternative circuit not applicable for circuit-breakers where the insulation between phases and/or to earth is critical (e.g. GIS or dead tank circuit-breakers)	213
Figure 27 – Earthing of test circuits for single-phase short-circuit tests, first-pole-to-clear factor 1,5	213
Figure 28a – Preferred circuit	214
Figure 28b – Alternative circuit, not applicable for circuit-breakers where the insulation between phases and/or to earth is critical (e.g. GIS or dead tank circuit-breakers)	214
Figure 28 – Earthing of test circuits for single-phase short-circuit tests, first-pole-to-clear factor 1,3	214
Figure 29 – Graphical representation of the three valid symmetrical breaking operations for three-phase tests in a non-effectively earthed neutral system (first-pole-to-clear factor 1,5)	215

Figure 30 – Graphical representation of the three valid symmetrical breaking operations for three-phase tests in an effectively earthed neutral system (first-pole-to-clear factor 1,3) 216

Figure 31 – Graphical representation of the three valid asymmetrical breaking operations for three-phase tests in a non-effectively earthed neutral system (first-pole-to-clear factor 1,5) 217

Figure 32 – Graphical representation of the three valid asymmetrical breaking operations for three-phase tests in an effectively earthed neutral system (first-pole-to-clear factor 1,3) 218

Figure 33 – Graphical representation of the three valid symmetrical breaking operations for single-phase tests in substitution of three-phase conditions in a non-effectively earthed neutral system (first-pole-to-clear factor 1,5) 219

Figure 34 – Graphical representation of the three valid asymmetrical breaking operations for single-phase tests in substitution of three-phase conditions in a non-effectively earthed neutral system (first-pole-to-clear factor 1,5) 220

Figure 35 – Graphical representation of the three valid symmetrical breaking operations for single-phase tests in substitution of three-phase conditions in an effectively earthed neutral system (first-pole-to-clear factor 1,3) 221

Figure 36 – Graphical representation of the three valid asymmetrical breaking operations for single-phase tests in substitution of three-phase conditions in an effectively earthed neutral system (first-pole-to-clear factor 1,3) 222

Figure 37 – Graphical representation of the interrupting window and the voltage factor k_p , determining the TRV of the individual pole, for systems with a first-pole-to-clear factor of 1,3 223

Figure 38 – Graphical representation of the interrupting window and the voltage factor k_p , determining the TRV of the individual pole, for systems with a first-pole-to-clear factor of 1,5 223

Figure 39 – Example of prospective test TRV with four-parameter envelope which satisfies the conditions to be met during type test – Case of specified TRV with four-parameter reference line 224

Figure 40 – Example of prospective test TRV with two-parameter envelope which satisfies the conditions to be met during type test: case of specified TRV with two-parameter reference line 225

Figure 41 – Example of prospective test TRV with four-parameter envelope which satisfies the conditions to be met during type-test – Case of specified TRV with two-parameter reference line 226

Figure 42 – Example of prospective test TRV with two-parameter envelope which satisfies the conditions to be met during type-test – Case of specified TRV with four-parameter reference line 226

Figure 43 – Example of prospective test TRV-waves and their combined envelope in two-part test 227

Figure 44 – Determination of power frequency recovery voltage 228

Figure 45 – Necessity of additional single-phase tests and requirements for testing 229

Figure 46 – Basic circuit arrangement for short-line fault testing and prospective TRV-circuit-type a) according to 6.109.3: Source side and line side with time delay 230

Figure 47 – Basic circuit arrangement for short-line fault testing – circuit type b1) according to 6.109.3: Source side with ITRV and line side with time delay 231

Figure 48 – Basic circuit arrangement for short-line fault testing – circuit type b2) according to 6.109.3: Source side with time delay and line side without time delay 232

Figure 49 – Flow-chart for the choice of short-line fault test circuits for class S2 circuit-breakers and for circuit-breakers having a rated voltage of 100 kV and above 233

Figure 50 – Compensation of deficiency of the source side time delay by an increase of the excursion of the line side voltage 234

Figure 51 – Test circuit for single-phase out-of-phase tests	235
Figure 52 – Test circuit for out-of-phase tests using two voltages separated by 120 electrical degrees	235
Figure 53 – Test circuit for out-of-phase tests with one terminal of the circuit-breaker earthed (subject to agreement of the manufacturer).....	236
Figure 54 – Recovery voltage for capacitive current breaking tests	237
Figure 55 – Reclassification procedure for line and cable-charging current switching tests	238
Figure 56 – Reclassification procedure for capacitor bank current switching tests.....	239
Figure A.1 – Typical graph of line and source side TRV parameters – Line side and source side with time delay.....	247
Figure A.2 – Typical graph of line and source side TRV parameters – Line side and source side with time delay, source side with ITRV	247
Figure A.3 – Actual course of the source side transient recovery voltage for short-line fault L ₉₀ , L ₇₅ and L ₆₀	248
Figure E.1– Representation by four parameters of a prospective transient recovery voltage of a circuit – Case E.2 c) 1)	264
Figure E.2 – Representation by four parameters of a prospective transient recovery voltage of a circuit – Case E.2 c) 2)	264
Figure E.3 – Representation by four parameters of a prospective transient recovery voltage of a circuit – Case E.2. c) 3) i)	265
Figure E.4 – Representation by two parameters of a prospective transient recovery voltage of a circuit – Case E.2. c) 3) ii)	265
Figure F.1 – Effect of depression on the peak value of the TRV	275
Figure F.2 – TRV in case of ideal breaking	275
Figure F.3 – Breaking with arc-voltage present	276
Figure F.4 – Breaking with pronounced premature current-zero	276
Figure F.5 – Breaking with post-arc current.....	276
Figure F.6 – Relationship between the values of current and TRV occurring in test and those prospective to the system.....	277
Figure F.7 – Schematic diagram of power-frequency current injection apparatus	278
Figure F.8 – Sequence of operation of power-frequency current injection apparatus	279
Figure F.9 – Schematic diagram of capacitance injection apparatus	280
Figure F.10 – Sequence of operation of capacitor-injection apparatus	281
Figure H.1 – Circuit diagram for example 1	284
Figure H.2 – Circuit diagram for example 2	285
Figure H.3 – Equations for the calculation of capacitor bank inrush currents	287
Figure M.1 – First example of transformer-limited fault (also called transformer-fed fault).....	305
Figure M.2 – Second example of transformer-limited fault (also called transformer-secondary fault).....	306
Figure O.1 – Test configuration considered in Tables O.1 and O.2.....	320
Figure O.2 – Example showing the waveshapes of symmetrical currents, phase-to-ground and phase-to-phase voltages during three-phase interruption, as for Figure 25a	320
Figure O.3 – Example showing the waveshapes of symmetrical currents, phase-to-ground and phase-to-phase voltages during three-phase interruption, as for Figure 26a	321
Figure Q.1 – Three-phase testing of a circuit-breaker with a rated d.c. time constant of the rated short-circuit breaking current longer than the test circuit time constant	332

Figure Q.2 – Single phase testing of a circuit-breaker with a rated d.c. time constant of the rated short-circuit breaking current shorter than the test circuit time constant 333

Figure Q.3 – Single-phase testing of a circuit-breaker with a rated d.c. time constant of the rated short-circuit breaking current longer than the test circuit time constant 334

Table 1 – Standard values of transient recovery voltage for class S1 circuit-breakers – Rated voltage higher than 1 kV and less than 100 kV – Representation by two parameters 51

Table 2 – Standard values of transient recovery voltage ^c for class S2 circuit-breakers – Rated voltage equal to or higher than 15 kV and less than 100 kV – Representation by two parameters 52

Table 3 – Standard values of transient recovery voltage ^a – Rated voltages of 100 kV to 170 kV for effectively earthed systems – Representation by four parameters 53

Table 4 – Standard values of transient recovery voltage ^a – Rated voltages of 100 kV to 170 kV for non-effectively earthed systems – Representation by four parameters 54

Table 5 – Standard values of transient recovery voltage ^a – Rated voltages 245 kV and above for effectively earthed systems – Representation by four parameters 55

Table 6 – Standard multipliers for transient recovery voltage values for second and third clearing poles for rated voltages above 1 kV 56

Table 7 – Standard values of initial transient recovery voltage – Rated voltages 100 kV and above 57

Table 8 – Standard values of line characteristics for short-line faults 59

Table 9 – Preferred values of rated capacitive switching currents 61

Table 10 – Nameplate information 67

Table 11 – Type tests 71

Table 12 – Invalid tests 73

Table 13 – Number of operating sequences 83

Table 14 – Examples of static horizontal and vertical forces for static terminal load test 90

Table 15 – Last current loop parameters for 50 Hz operation in relation with short-circuit test-duty T100a $\tau = 45$ ms 107

Table 16 – Last current loop parameters for 50 Hz operation in relation with short-circuit test-duty T100a $\tau = 60$ ms 108

Table 17 – Last current loop parameters for 50 Hz operation in relation with short-circuit test-duty T100a $\tau = 75$ ms 109

Table 18 – Last current loop parameters for 50 Hz operation in relation with short-circuit test-duty T100a $\tau = 120$ ms 110

Table 19 – Last current loop parameters for 60 Hz operation in relation with short-circuit test-duty T100a $\tau = 45$ ms 111

Table 20 – Last current loop parameters for 60 Hz operation in relation with short-circuit test-duty T100a $\tau = 60$ ms 112

Table 21 – Last current loop parameters for 60 Hz operation in relation with short-circuit test-duty T100a $\tau = 75$ ms 113

Table 22 – Last current loop parameters for 60 Hz operation in relation with short-circuit test-duty T100a $\tau = 120$ ms 114

Table 23 – Interrupting window for tests with symmetrical current 117

Table 24 – Standard values of prospective transient recovery voltage for class S1 circuit-breakers – Rated voltage higher than 1 kV and less than 100 kV – Representation by two parameters	126
Table 25 – Standard values of prospective transient recovery voltage ^C for class S2 circuit-breakers – Rated voltage equal to or higher than 15 kV and less than 100 kV – Representation by two parameters	128
Table 25 – Standard values of prospective transient recovery voltage ^C for class S2 circuit-breakers – Rated voltage equal to or higher than 15 kV and less than 100 kV – Representation by two parameters	128
Table 26 – Standard values of prospective transient recovery voltage – Rated voltages of 100 kV to 800 kV for effectively earthed neutral systems – Representation by four parameters (T100, T60, OP1 and OP2) or two parameters (T30, T10).....	129
Table 27 – Standard values of prospective transient recovery voltage – Rated voltages of 100 kV to 170 kV for non-effectively earthed neutral systems – Representation by four parameters (T100, T60, OP1 and OP2) or two parameters (T30 and T10).....	131
Table 28 – TRV parameters for single-phase and double earth fault tests	142
Table 29 – Test-duties to demonstrate the out-of-phase rating	148
Table 30 – Class C2 test-duties	154
Table 31 – Class C1 test-duties	159
Table 32 – Specified values of u_1 , t_1 , u_C and t_2	161
Table 33 – Operating sequence for electrical endurance test on class E2 circuit-breakers intended for auto-reclosing duty according to 6.112.2.....	164
Table 34 – Application of voltage for dielectric test on the main circuit.....	164
Table 35 – Relationship between short-circuit power factor, time constant and power frequency.....	171
Table A.1 – Ratios of voltage-drop and source-side TRV	242
Table B.1 – Tolerances on test quantities for type tests	250
Table F.1 – Methods for determination of prospective TRV	273
Table J.1 – Actual percentage short-line fault breaking currents	294
Table M.1 – Standard values of prospective transient recovery voltage for T30, for circuit-breakers intended to be connected to a transformer with a connection of small capacitance – Rated voltage higher than 1 kV and less than 100 kV – Representation by two parameters	307
Table N.1 – Summary of type tests related to mechanical characteristics.....	309
Table O.1 – Three-phase capacitive current switching in actual service conditions: Typical values of voltages on the source-side, load-side, and recovery voltages.....	315
Table O.2 – Corresponding capacitive current-switching tests in accordance with 6.111.7 for single-phase laboratory tests. Values of voltages on the source-side, load-side, and recovery voltages	315
Table O.3 – Test duties T10, T30, T60 and T100s – First-pole-to-clear factor: 1,5. Voltage values during 3-phase interruption	318
Table O.4 – Test duties T10, T30, T60 and T100s – First-pole-to-clear factor: 1,3. Voltage values during 3-phase interruption	318
Table O.5 – Capacitive current switching in actual service conditions: maximum typical voltage values.....	319
Table Q.1 – Example showing the test parameters obtained during a three-phase test when the d.c. time constant of the test circuit is shorter than the rated d.c. time constant of the rated short-circuit current.....	328

Table Q.2 – Example showing the test parameters obtained during a single-phase test when the d.c. time constant of the test circuit is longer than the rated d.c. time constant of the rated short-circuit current..... 329

Table Q.3 – Example showing the test parameters obtained during a single-phase test when the d.c. time constant of the test circuit is shorter than the rated d.c. time constant of the rated short-circuit current..... 331

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

HIGH-VOLTAGE SWITCHGEAR AND CONTROLGEAR –**Part 100: Alternating-current circuit-breakers**

FOREWORD

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

International Standard IEC 62271-100 has been prepared by subcommittee 17A: High-voltage switchgear and controlgear, of IEC technical committee 17: Switchgear and controlgear.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 2001 and its amendments 1 (2002) and 2 (2006). It also cancels and replaces IEC 61633 and IEC 62271-308.

The main changes with respect to the previous edition are listed below:

- the introduction of harmonised (IEC and IEEE) TRV waveshapes for rated voltages of 100 kV and above (amendment 1 to the first edition);
- the introduction of cable and line systems with their associated TRVs for rated voltages below 100 kV (amendment 2 to the first edition);
- the inclusion of IEC 61633 and IEC 62271-308.

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

FDIS	Report on voting
17A/815/FDIS	17A/822/RVD

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

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

This standard shall be read in conjunction with IEC 62271-1, first edition, published in 2007, to which it refers and which is applicable unless otherwise specified in this standard. In order to simplify the indication of corresponding requirements, the same numbering of clauses and subclauses is used as in IEC 62271-1. Amendments to these clauses and subclauses are given under the same references whilst additional subclauses are numbered from 101.

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

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

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

HIGH-VOLTAGE SWITCHGEAR AND CONTROLGEAR –

Part 100: Alternating-current circuit-breakers

1 General

1.1 Scope

This part of IEC 62271 is applicable to a.c. circuit-breakers designed for indoor or outdoor installation and for operation at frequencies of 50 Hz and 60 Hz on systems having voltages above 1 000 V.

It is only applicable to three-pole circuit-breakers for use in three-phase systems and single-pole circuit-breakers for use in single-phase systems. Two-pole circuit-breakers for use in single-phase systems and application at frequencies lower than 50 Hz are subject to agreement between manufacturer and user.

This standard is also applicable to the operating devices of circuit-breakers and to their auxiliary equipment. However, a circuit-breaker with a closing mechanism for dependent manual operation is not covered by this standard, as a rated short-circuit making-current cannot be specified, and such dependent manual operation may be objectionable because of safety considerations.

Rules for circuit-breakers with an intentional non-simultaneity between the poles are under consideration; circuit-breakers providing single-pole auto-reclosing are within the scope of this standard.

NOTE 1 Circuit-breakers with an intentional non-simultaneity between the poles may, in some instances, be tested in accordance with this standard. For example, mechanically staggered pole designs can be tested according to this standard using three-phase direct tests. For synthetic testing, determining the most appropriate tests, particularly in respect to test current, recovery voltage and transient recovery voltage, is subject to agreement between manufacturer and user.

This standard does not cover circuit-breakers intended for use on motive power units of electrical traction equipment; these are covered by IEC 60077 [1]¹.

Generator circuit-breakers installed between generator and step-up transformer are not within the scope of this standard.

Switching of inductive loads is covered by IEC 62271-110.

This standard does not cover self-tripping circuit-breakers with mechanical tripping devices or devices which cannot be made inoperative.

Circuit-breakers installed as by-pass switches in parallel with line series capacitors and their protective equipment are not within the scope of this standard. These are covered by IEC 62271-109 [2] and IEC 60143-2 [3].

NOTE 2 Tests to prove the performance under abnormal conditions should be subject to agreement between manufacturer and user. Such abnormal conditions are, for instance, cases where the voltage is higher than the rated voltage of the circuit-breaker, conditions which may occur due to sudden loss of load on long lines or cables.

¹ Figures in square brackets refer to the bibliography.

1.2 Normative references

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

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

IEC 60050(441):1984, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 441: Switchgear, controlgear and fuses*

IEC 60050(601):1985, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 601: Generation, transmission and distribution of electricity – General*

IEC 60050(604):1987, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 601: Generation, transmission and distribution of electricity – Operation*

IEC 60059, *IEC standard current ratings*

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

IEC 60071-2, *Insulation coordination – Part 2: Application guide*

IEC 60137, *Insulated bushings for alternating voltages above 1 000 kV*

IEC 60255-3:1989, *Electrical relays – Part 3: Single input energizing quantity measuring relays with dependent or independent time*

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

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

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

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

IEC/TS 61634, *High-voltage switchgear and controlgear – Use and handling of sulphur hexafluoride (SF₆) in high-voltage switchgear and controlgear*

IEC 62271-1:2007, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 1: Common specifications*

IEC 62271-101:2006, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 101: Synthetic testing*

IEC 62271-102: 2001, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 102: Alternating current disconnectors and earthing switches*

IEC 62271-110, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 110: Inductive load switching*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	356
1 Généralités.....	358
1.1 Domaine d'application.....	358
1.2 Références normatives.....	359
2 Conditions normales et spéciales de service.....	360
3 Termes et définitions.....	360
3.1 Termes généraux.....	360
3.2 Ensembles.....	364
3.3 Parties d'ensembles.....	364
3.4 Appareils de connexion.....	364
3.5 Partie de disjoncteur.....	366
3.6 Fonctionnement.....	368
3.7 Grandeurs caractéristiques.....	370
3.8 Index des définitions.....	377
4 Caractéristiques assignées.....	381
4.1 Tension assignée (U_r).....	382
4.2 Niveau d'isolement assigné.....	382
4.3 Fréquence assignée (f_r).....	382
4.4 Courant assigné en service continu (I_r) et échauffement.....	382
4.5 Courant de courte durée admissible assigné (I_k).....	383
4.6 Valeur de crête du courant admissible assigné (I_p).....	383
4.7 Durée de court-circuit assignée (t_k).....	383
4.8 Tension assignée d'alimentation des dispositifs de fermeture et d'ouverture, des circuits auxiliaires et de commande (U_a).....	383
4.9 Fréquence assignée d'alimentation des dispositifs de fermeture et d'ouverture et des circuits auxiliaires.....	383
4.10 Pression assignée d'alimentation en gaz comprimé pour l'isolement, la manœuvre et/ou la coupure.....	383
4.101 Pouvoir de coupure assigné en court-circuit (I_{SC}).....	383
4.101.1 Composante périodique du pouvoir de coupure assigné en court-circuit.....	384
4.101.2 Constante de temps de la composante apériodique du pouvoir de coupure assigné en court-circuit.....	384
4.102 Tension transitoire de rétablissement relative au pouvoir de coupure assigné.....	385
4.102.1 Représentation des ondes de la TTR.....	385
4.102.2 Représentation de la TTR.....	386
4.102.3 Valeurs normales de la TTR relative au courant de court-circuit assigné.....	387
4.102.4 Valeur normale de la TTRI assignée.....	396
4.103 Pouvoir de fermeture assigné en court-circuit.....	396
4.104 Séquence de manœuvres assignée.....	397
4.105 Caractéristiques pour les défauts proches en ligne.....	397
4.106 Pouvoir de fermeture et pouvoir de coupure assignés en discordance de phases.....	398
4.107 Pouvoir de coupure et pouvoir de fermeture assignés de courants capacitifs.....	399
4.107.1 Pouvoir de coupure assigné de lignes à vide.....	400

4.107.2	Pouvoir de coupure assigné de câbles à vide	400
4.107.3	Pouvoir de coupure assigné de batterie unique de condensateurs.....	400
4.107.4	Pouvoir de coupure assigné de batterie de condensateurs à gradins.....	402
4.107.5	Pouvoir de fermeture assigné de batterie unique de condensateurs.....	402
4.107.6	Pouvoir de fermeture assigné de batterie de condensateurs à gradins.....	402
4.108	Manœuvre de charges inductives	402
4.109	Durées assignées	402
4.109.1	Durée de coupure assignée.....	403
4.110	Nombre de manœuvres mécaniques.....	403
4.111	Classification des disjoncteurs en fonction de leur endurance électrique	403
5	Conception et construction	404
5.1	Exigences pour les liquides utilisés dans les disjoncteurs.....	404
5.2	Exigences pour les gaz utilisés dans les disjoncteurs	404
5.3	Raccordement à la terre des disjoncteurs	404
5.4	Equipements auxiliaires.....	404
5.5	Fermeture dépendante à source d'énergie extérieure	405
5.6	Fermeture à accumulation d'énergie	405
5.7	Manœuvre manuelle indépendante	405
5.8	Fonctionnement des déclencheurs.....	405
5.8.101	Déclencheur à maximum de courant.....	405
5.8.101.1	Courant de fonctionnement	405
5.8.101.2	Durée de manœuvre	406
5.8.101.3	Courant de retour à la position initiale	406
5.8.102	Déclencheurs multiples	406
5.8.103	Limites de fonctionnement des déclencheurs	406
5.8.104	Puissance consommée par les déclencheurs.....	406
5.8.105	Relais intégrés pour disjoncteurs autodéclenchants	406
5.9	Verrouillages à basse et à haute pression	407
5.10	Plaques signalétiques.....	407
5.11	Verrouillages	409
5.12	Indicateur de position	409
5.13	Degrés de protection procurés par les enveloppes.....	409
5.14	Lignes de fuite	409
5.15	Étanchéité au gaz et au vide.....	409
5.16	Étanchéité au liquide	409
5.17	Risque de feu (inflammabilité).....	410
5.18	Compatibilité électromagnétique.....	410
5.19	Emission de rayons X	410
5.20	Corrosion.....	410
5.101	Exigences concernant la simultanéité des pôles pendant des manœuvres simples de fermeture et d'ouverture.....	410
5.102	Exigence générale de fonctionnement	410
5.103	Limites de pression des fluides pour la manœuvre.....	411
5.104	Orifice d'évacuation	411

6	Essais de type	411
6.1	Généralités	413
6.1.1	Groupement des essais	413
6.1.2	Informations pour l'identification des spécimens d'essai	413
6.1.3	Informations à inclure dans les rapports d'essais	413
6.1.101	Essais non valables	413
6.2	Essais diélectriques	414
6.2.1	Conditions de l'air ambiant pendant les essais	414
6.2.2	Modalité des essais sous pluie	414
6.2.3	Etat du disjoncteur pendant les essais diélectriques	414
6.2.4	Conditions de réussite aux essais	414
6.2.5	Application de la tension d'essai et conditions d'essai	415
6.2.6	Essais des disjoncteurs de $U_r \leq 245$ kV	415
6.2.7	Essais des disjoncteurs de $U_r > 245$ kV	415
6.2.8	Essais de pollution artificielle	416
6.2.9	Essais de décharges partielles	416
6.2.10	Essais des circuits auxiliaires et de commande	416
6.2.11	Essais de tension comme vérification d'état	416
6.3	Essais de tension de perturbation radioélectrique	417
6.4	Mesurage de la résistance du circuit principal	418
6.5	Essais d'échauffement	418
6.5.1	Etat du disjoncteur en essai	418
6.5.2	Disposition de l'appareil	418
6.5.3	Mesurage de la température et de l'échauffement	418
6.5.4	Température de l'air ambiant	418
6.5.5	Essais d'échauffement des équipements auxiliaires et de commande	418
6.5.6	Interprétation des essais d'échauffement	418
6.6	Essais au courant de courte durée et à la valeur de crête du courant admissible	418
6.6.1	Disposition du disjoncteur et du circuit d'essai	418
6.6.2	Valeurs du courant d'essai et de sa durée	419
6.6.3	Comportement du disjoncteur au cours de l'essai	419
6.6.4	Etat du disjoncteur après l'essai	419
6.7	Vérification du degré de protection	419
6.7.1	Vérification de la codification IP	419
6.7.2	Essai aux impacts mécaniques	419
6.8	Essais d'étanchéité	419
6.9	Essais de compatibilité électromagnétique	419
6.9.3.1	Essai d'immunité à l'ondulation résiduelle sur entrée de puissance à courant continu	419
6.9.3.2	Essais d'immunité aux creux de tension, coupures brèves et variations de tension sur entrée de puissance à courant continu	420
6.10	Essais complémentaires sur les circuits auxiliaires et de commande	420
6.10.1	Généralités	420
6.10.2	Essais fonctionnels	420
6.10.3	Essai de continuité électrique des parties métalliques reliées à la terre	420
6.10.4	Vérification des caractéristiques de fonctionnement des contacts auxiliaires	420

6.10.5	Essais d'environnement	420
6.101	Essais mécaniques et climatiques	421
6.101.1	Dispositions diverses pour les essais mécaniques et climatiques	421
6.101.1.1	Caractéristiques mécaniques	421
6.101.1.2	Essais de composants.....	421
6.101.1.3	Caractéristiques et réglages du disjoncteur à enregistrer avant et après les essais	422
6.101.1.4	Etat du disjoncteur pendant et après les essais.....	422
6.101.1.5	Condition des équipements auxiliaires et de commande pendant et après les essais	423
6.101.2	Essai de fonctionnement mécanique à la température de l'air ambiant.....	423
6.101.2.1	Généralités	423
6.101.2.2	Etat du disjoncteur avant l'essai	424
6.101.2.3	Description de l'essai de la classe M1 de disjoncteurs.....	424
6.101.2.4	Essais d'endurance mécanique accrue sur les disjoncteurs de classe M2 en cas d'exigences spéciales de service.....	424
6.101.2.5	Critères d'acceptation pour les essais de manœuvre mécanique	425
6.101.3	Essais à haute et à basse températures	425
6.101.3.1	Généralités	425
6.101.3.2	Mesurage de la température de l'air ambiant.....	426
6.101.3.3	Essai à basse température	427
6.101.3.4	Essai à haute température	428
6.101.4	Essai à l'humidité	429
6.101.4.1	Généralités	429
6.101.4.2	Procédure d'essai.....	430
6.101.5	Essai pour vérifier le fonctionnement dans des conditions sévères de formation de glace.....	431
6.101.6	Essai avec efforts statiques sur les bornes.....	431
6.101.6.1	Généralités	431
6.101.6.2	Essais	431
6.102	Dispositions diverses pour les essais d'établissement et de coupure	433
6.102.1	Généralités	433
6.102.2	Nombre de spécimens d'essai	434
6.102.3	Disposition du disjoncteur pour les essais	434
6.102.3.1	Généralités	434
6.102.3.2	Disjoncteur à enveloppe unique.....	435
6.102.3.3	Disjoncteur à enveloppes multiples	436
6.102.3.4	Disjoncteurs à déclenchement autonome	436
6.102.4	Conditions générales concernant les méthodes d'essais	436
6.102.4.1	Essais unipolaires d'un pôle de disjoncteur tripolaire.....	436
6.102.4.2	Essais sur éléments séparés.....	437
6.102.4.2.1	Similitude des éléments	438
6.102.4.2.2	Répartition de la tension	439
6.102.4.2.3	Conditions à remplir pour les essais sur éléments séparés	440
6.102.4.3	Essais en plusieurs parties.....	440
6.102.5	Essais synthétiques	440
6.102.6	Manœuvres à vide avant les essais.....	440
6.102.7	Mécanismes d'entraînement différents	441
6.102.8	Comportement du disjoncteur pendant les essais.....	442

6.102.9	Etat du disjoncteur après les essais	442
6.102.9.1	Généralités	442
6.102.9.2	Etat après une séquence d'essais de court-circuit	443
6.102.9.3	Etat après une série d'essais de court-circuit	444
6.102.9.4	Etat après une série d'essais d'établissement et de coupure de courants capacitifs	444
6.102.9.5	Remise en état après une séquence d'essais de court-circuit et d'autres séries d'essais	445
6.102.10	Démonstration des durées d'arc	445
6.102.10.1	Essais triphasés.....	446
6.102.10.1.1	Séquence d'essais T10, T30, T60, T100s, T100s(b), OP1 et OP2.....	446
6.102.10.1.2	Séquence d'essais T100a	446
6.102.10.2	Essais monophasés en substitution des essais triphasés	447
6.102.10.2.1	Systèmes à neutre non effectivement mis à la terre	448
6.102.10.2.1.1	Séquence d'essais T10, T30, T60, T100s et T100s(b), OP1 et OP2.....	448
6.102.10.2.1.2	Séquence d'essais T100a	448
6.102.10.2.2	Systèmes avec neutre effectivement à la terre, y compris essais de défaut proche en ligne	459
6.102.10.2.2.1	Séquence d'essais T10, T30, T60, T100s et T100s(b), OP1 et OP2, L ₉₀ , L ₇₅ et L ₆₀	459
6.102.10.2.2.2	Séquence d'essais T100a	459
6.102.10.2.3	Procédure modifiée dans les cas où le disjoncteur n'a pas coupé au cours d'un essai à durée d'arc moyenne.....	459
6.102.10.2.3.1	Essais de coupure avec courant symétrique.....	459
6.102.10.2.3.2	Essais de coupure avec courant asymétrique.....	460
6.102.10.2.4	Essais combinant les conditions des systèmes à neutre effectivement à la terre et non effectivement à la terre	460
6.102.10.2.5	Séparation des séquences d'essais en séries d'essai en tenant compte de la TTR exacte de chaque pôle qui s'ouvre	460
6.103	Circuits d'essais pour les essais d'établissement et de coupure en court-circuit	461
6.103.1	Facteur de puissance	461
6.103.2	Fréquence.....	461
6.103.3	Mise à la terre du circuit d'essai	461
6.103.4	Raccordement du circuit d'essai au disjoncteur	463
6.104	Caractéristiques pour les essais de court-circuit	463
6.104.1	Tension appliquée avant les essais d'établissement en court-circuit.....	463
6.104.2	Courant établi en court-circuit	464
6.104.2.1	Généralités	464
6.104.2.2	Procédure d'essai	464
6.104.2.2.1	Essais triphasés.....	464
6.104.2.2.2	Essais monophasés	465
6.104.3	Courant coupé en court-circuit	465
6.104.4	Composante apériodique du courant coupé en court-circuit.....	466
6.104.5	Tension transitoire de rétablissement (TTR) pour les essais de coupure de court-circuit.....	466
6.104.5.1	Généralités	466
6.104.5.2	Séquences d'essais T100s et T100a	468
6.104.5.3	Séquence d'essais T60	469

6.104.5.4	Séquence d'essais T30	469
6.104.5.5	Séquence d'essais T10	470
6.104.5.6	Séquences d'essais OP1 et OP2	470
6.104.6	Mesurage de la TTR pendant l'essai	470
6.104.7	Tension de rétablissement à fréquence industrielle	477
6.105	Procédure d'essai en court-circuit	477
6.105.1	Intervalle de temps entre les essais	477
6.105.2	Application d'une source d'énergie auxiliaire aux déclencheurs d'ouverture – Essais de coupure	478
6.105.3	Application d'une source d'énergie auxiliaire aux déclencheurs d'ouverture – Essais d'établissement-coupure	478
6.105.4	Accrochage à la fermeture sur court-circuit	478
6.106	Séquences d'essais de court-circuit fondamentales	479
6.106.1	Séquence d'essais T10	479
6.106.2	Séquence d'essais T30	479
6.106.3	Séquence d'essais T60	479
6.106.4	Séquence d'essais T100s	479
6.106.4.1	Cas où la constante de temps de la composante apériodique du circuit d'essai est égale à la valeur spécifiée	480
6.106.4.2	Cas où la constante de temps de la composante apériodique du circuit d'essai est inférieure à la valeur spécifiée	480
6.106.4.3	Constante de temps de la composante apériodique du circuit d'essai supérieure à la valeur spécifiée	481
6.106.4.4	Décroissance significative de la composante périodique du circuit d'essai	482
6.106.5	Séquence d'essais T100a	483
6.106.6	Critères d'asymétrie	483
6.106.6.1	Essais en triphasé	484
6.106.6.1.1	Amplitude du courant d'essai et durée de la dernière alternance de courant	484
6.106.6.2	Essais en monophasé	485
6.106.6.2.1	Amplitude du courant d'essai et durée de la dernière alternance de courant	485
6.106.6.3	Procédures d'ajustement des paramètres d'essais	486
6.107	Essais au courant critique	486
6.107.1	Cas d'application	486
6.107.2	Courant d'essai	486
6.107.3	Séquence d'essais au courant critique	487
6.108	Essais de défaut monophasé ou de double défaut à la terre	487
6.108.1	Cas d'application	487
6.108.2	Courant d'essai et tension de rétablissement	487
6.108.3	Séquence d'essais	488
6.109	Essais de défaut proche en ligne	489
6.109.1	Cas d'application	489
6.109.2	Courant d'essai	489
6.109.3	Circuit d'essai	490
6.109.4	Séquences d'essais	492
6.109.5	Essais de défaut proche en ligne avec une source d'essai de court-circuit de puissance réduite	492
6.110	Essais d'établissement et de coupure en discordance de phases	493
6.110.1	Circuit d'essai	493

6.110.2	Tensions d'essais.....	493
6.110.3	Séquences d'essais.....	493
6.111	Essais d'établissement et de coupure de courants capacitifs.....	494
6.111.1	Cas d'application.....	494
6.111.2	Généralités.....	495
6.111.3	Caractéristiques des circuits d'alimentation.....	495
6.111.4	Mise à la terre du circuit d'alimentation.....	496
6.111.5	Caractéristiques du circuit capacitif à établir et à couper.....	496
6.111.5.1	Essais d'établissement et de coupure de courants de lignes à vide et de courants de câbles à vide.....	497
6.111.5.2	Essais d'établissement et de coupure de batterie unique de condensateurs.....	497
6.111.6	Forme d'onde du courant.....	498
6.111.7	Tension d'essai.....	498
6.111.8	Courant d'essais.....	499
6.111.9	Séquences d'essais.....	499
6.111.9.1	Conditions d'essais pour les disjoncteurs de classe C2.....	500
6.111.9.1.1	Séquences d'essais pour la classe C2.....	500
6.111.9.1.2	Essais triphasés d'établissement et de coupure de courants de lignes à vide et de câbles à vide.....	503
6.111.9.1.3	Essais monophasés d'établissement et de coupure de courants de lignes à vide et de câbles à vide.....	503
6.111.9.1.4	Essais triphasés d'établissement et de coupure de courants de batteries de condensateurs (uniques ou à gradins).....	504
6.111.9.1.5	Essais monophasés d'établissement et de coupure de courants de batteries de condensateurs (unique ou à gradins).....	504
6.111.9.2	Conditions d'essais pour les disjoncteurs de classe C1.....	505
6.111.9.2.1	Séquences d'essais pour la classe C1.....	505
6.111.9.2.2	Essais monophasés et triphasés d'établissement et de coupure de courants capacitifs.....	507
6.111.9.3	Conditions d'essais correspondant à la coupure en présence de défauts à la terre.....	507
6.111.10	Essais avec TTR spécifiée.....	508
6.111.11	Critères de réussite des essais.....	509
6.111.11.1	Généralités.....	509
6.111.11.2	Disjoncteur de classe C2.....	509
6.111.11.3	Disjoncteur de classe C1.....	510
6.111.11.4	Critères pour reclasser en classe C1 un disjoncteur essayé avec les exigences de la classe C2.....	510
6.112	Exigences spéciales pour les essais de coupure et de fermeture des disjoncteurs de classe E2.....	511
6.112.1	Disjoncteurs de classe E2 non prévus pour le cycle de refermeture automatique.....	511
6.112.2	Disjoncteurs de classe E2 prévus pour le cycle de refermeture automatique.....	511
7	Essais individuels.....	512
7.1	Essais diélectriques du circuit principal.....	512
7.2	Essais diélectriques des circuits auxiliaires et de commande.....	513
7.3	Mesurage de la résistance du circuit principal.....	513
7.4	Essai d'étanchéité.....	513
7.5	Contrôles visuels et du modèle.....	513

7.101	Essais de fonctionnement mécanique	513
8	Lignes directrices pour le choix des disjoncteurs selon le service	515
8.101	Généralités	515
8.102	Choix des valeurs assignées pour les conditions de service	517
8.102.1	Choix de la tension assignée	517
8.102.2	Coordination des isolements	517
8.102.3	Fréquence assignée	518
8.102.4	Choix du courant assigné en service continu	518
8.102.5	Conditions atmosphériques et climatiques locales	518
8.102.6	Emploi à des altitudes élevées	519
8.103	Choix des valeurs assignées pour les conditions de fonctionnement sur défaut	519
8.103.1	Choix du pouvoir de coupure assigné en court-circuit	519
8.103.2	Choix de la tension transitoire de rétablissement (TTR) dans le cas de défaut aux bornes, du facteur de premier pôle et des caractéristiques assignées pour les défauts proches en ligne	521
8.103.3	Choix des caractéristiques en cas de discordance de phases	522
8.103.4	Choix du pouvoir de fermeture assigné en court-circuit	523
8.103.5	Séquence de manœuvres en service	523
8.103.6	Choix de la durée de court-circuit assignée	524
8.103.7	Défauts en présence de réactances de limitation	524
8.104	Choix de l'endurance électrique pour les réseaux de tension assignée supérieure à 1 kV et jusqu'à 52 kV inclus	524
8.105	Choix de la manœuvre de courant capacitif	525
9	Renseignements à donner dans les appels d'offres, les soumissions et les commandes	525
9.101	Renseignements à donner dans les appels d'offres et les commandes	525
9.102	Renseignements à donner avec les soumissions	526
10	Règles pour le transport, le stockage, l'installation, la manœuvre et la maintenance	528
10.1	Conditions à respecter pendant le transport, le stockage et l'installation	528
10.2	Installation	528
10.2.101	Essais de mise en service	528
10.2.102	Programme d'essais et de vérifications à la mise en service	529
10.2.102.1	Vérifications après montage	529
10.2.102.1.1	Vérification générale	529
10.2.102.1.2	Vérification des circuits électriques	530
10.2.102.1.3	Vérification du ou des fluides d'isolement et/ou d'extinction	530
10.2.102.1.4	Vérification du ou des fluides de manœuvre, en cas de remplissage ou de complément sur site	530
10.2.102.1.5	Manœuvres de mise en service	530
10.2.102.2	Essais mécaniques et mesurages	530
10.2.102.2.1	Mesurages des pressions caractéristiques du fluide d'isolement et/ou de coupure (si applicable)	530
10.2.102.2.1.1	Généralités	530
10.2.102.2.1.2	Mesurages à effectuer	530
10.2.102.2.2	Mesurages des pressions caractéristiques du fluide de commande (si applicable)	531
10.2.102.2.2.1	Généralités	531
10.2.102.2.2.2	Mesurages à effectuer	531

10.2.102.2.3	Mesurage des consommations lors des manœuvres (si applicable)	532
10.2.102.2.4	Vérification de la séquence assignée de fonctionnement.....	532
10.2.102.2.5	Mesurages des durées	532
10.2.102.2.5.1	Durées caractéristiques du disjoncteur.....	532
10.2.102.2.5.2	Durée de réarmement de l'organe de commande	533
10.2.102.2.6	Enregistrement des caractéristiques de déplacement mécanique	533
10.2.102.2.7	Vérification de certains fonctionnements particuliers	533
10.2.102.2.7.1	Refermeture automatique à la pression minimale pour la manœuvre (si applicable).....	533
10.2.102.2.7.2	Fermeture à la pression minimale pour la manœuvre (si applicable)	533
10.2.102.2.7.3	Ouverture à la pression minimale pour la manœuvre (si applicable)	534
10.2.102.2.7.4	Simulation d'une fermeture sur défaut et vérification du dispositif d'antipompage	534
10.2.102.2.7.5	Comportement du disjoncteur sur ordre de fermeture, lorsqu'un ordre d'ouverture est déjà présent.....	534
10.2.102.2.7.6	Envoi d'un ordre d'ouverture simultanément sur les deux déclencheurs (si applicable).....	534
10.2.102.2.7.7	Protection de discordance de pôles (si applicable).....	534
10.2.102.3	Essais et mesurages électriques.....	535
10.2.102.3.1	Essais diélectriques	535
10.2.102.3.2	Mesurage de la résistance des circuits principaux.....	535
10.3	Fonctionnement.....	535
10.4	Maintenance.....	535
10.4.101	Résistances et condensateurs.....	535
11	Sécurité.....	535
12	Influence du produit sur l'environnement	535
Annexe A (normative)	Calcul des tensions transitoires de rétablissement pour les défauts proches en ligne à partir des caractéristiques assignées.....	590
A.1	Approche de base	590
A.2	Tension transitoire côté ligne.....	592
A.3	Tension transitoire côté alimentation	592
A.3.1	Tensions assignées supérieures ou égales à 100 kV	592
A.3.2	Tensions assignées supérieures ou égales à 15 kV et inférieures à 100 kV.....	594
A.4	Exemples de calculs.....	594
A.4.1	Côté alimentation et côté ligne avec retard (L_{90} et L_{75} pour 245 kV, 50 kA, 50 Hz)	595
A.4.2	Côté alimentation avec TTRI et côté ligne avec retard (L_{90} pour 245 kV, 50 kA, 50 Hz).....	596
A.4.3	Côté alimentation avec retard et côté ligne sans retard (L_{90} pour 245 kV, 50 kA, 50 Hz) – Calculs effectués en utilisant une méthode simplifiée	596
Annexe B (normative)	Tolérances sur les paramètres d'essais lors des essais de type	599
Annexe C (normative)	Enregistrement et comptes rendus des essais de type	608
C.1	Renseignements et résultats à enregistrer.....	608
C.2	Renseignements à fournir dans les comptes rendus	608
C.2.1	Généralités	608
C.2.2	Appareillage essayé	608

C.2.3	Caractéristiques assignées du disjoncteur, incluant celles des mécanismes d'entraînement et des équipements auxiliaires.....	608
C.2.4	Conditions de l'essai (pour chaque série d'essais).....	609
C.2.5	Essais d'établissement et de coupure en court-circuit.....	609
C.2.6	Essai au courant de courte durée admissible.....	610
C.2.7	Manœuvre à vide.....	610
C.2.8	Essais d'établissement et de coupure en discordance de phases.....	610
C.2.9	Essais d'établissement et de coupure de courants capacitifs.....	610
C.2.10	Relevés oscillographiques et autres enregistrements.....	611
Annexe D (normative)	Détermination du facteur de puissance d'un court-circuit.....	612
D.1	Méthode I – Détermination d'après la composante apériodique.....	612
D.1.1	Equation de la composante apériodique.....	612
D.1.2	Angle de phase φ	612
D.2	Méthode II – Détermination avec un générateur pilote.....	612
Annexe E (normative)	Méthode de tracé de l'enveloppe de la tension transitoire de rétablissement présumée d'un circuit et détermination des paramètres représentatifs.....	614
E.1	Introduction.....	614
E.2	Tracé de l'enveloppe.....	614
E.3	Détermination des paramètres.....	615
Annexe F (normative)	Méthodes de détermination des ondes de la tension transitoire de rétablissement présumée.....	618
F.1	Introduction.....	618
F.2	Résumé général des méthodes recommandées.....	619
F.3	Étude détaillée des méthodes recommandées.....	620
F.3.1	Groupe 1 – Coupure directe d'un courant de court-circuit.....	620
F.3.2	Groupe 2 – Injection de courant à fréquence industrielle.....	621
F.3.3	Groupe 3 – Injection de courant de condensateur.....	622
F.3.4	Groupes 2 et 3 – Méthodes d'étalonnage.....	622
F.3.5	Groupe 4 – Modèles de réseaux.....	623
F.3.6	Groupe 5 – Calcul à partir des paramètres du circuit.....	624
F.3.7	Groupe 6 – Manœuvre à vide de circuits d'essai comprenant des transformateurs.....	624
F.3.8	Groupe 7 – Combinaison de différentes méthodes.....	624
F.4	Comparaison des méthodes.....	625
Annexe G (normative)	Raison d'être de l'introduction de disjoncteurs de classe E2.....	636
Annexe H (informative)	Courants d'appel des batteries de condensateurs simples et à gradins.....	637
H.1	Généralités.....	637
H.2	Exemple 1 – Manœuvre d'un condensateur en parallèle (voir Figure H.1).....	638
H.2.1	Description des batteries de condensateurs à manœuvrer.....	638
H.2.2	Calcul sans dispositif de limitation.....	638
H.2.3	Calcul du dispositif de limitation.....	639
H.3	Exemple 2 – Manœuvre de deux condensateurs en parallèle (voir Figure H.2).....	639
H.3.1	Description des batteries de condensateurs à manœuvrer.....	639
H.3.2	Calcul sans dispositif de limitation.....	639
H.3.3	Calcul du dispositif de limitation.....	640

Annexe I (informative) Notes explicatives	642
I.1 Généralités.....	642
I.2 Note explicative concernant la constante de temps de la composante apériodique du pouvoir de coupure assigné en court-circuit (4.101.2) – Conseils pour le choix de la constante de temps appropriée.....	642
I.2.1 Conseils pour le choix judicieux de la constante de temps.....	642
I.2.2 Composante apériodique pendant les essais T100a	643
I.3 Notes explicatives relatives aux essais de commutation de courants capacitifs (6.111)	644
I.3.1 Caractéristique de réamorçage	644
I.3.2 Programme d'essais	644
I.3.3 A propos du Tableau 9.....	644
I.3.4 A propos de 6.111.1	645
I.3.5 A propos de 6.111.3	645
I.3.6 A propos de 6.111.5	645
I.3.7 A propos de 6.111.9.1.1	645
I.3.8 A propos des 6.111.9.1.1 et 6.111.9.2.1	645
I.3.9 A propos de 6.111.9.1.2 et 6.111.9.1.3	646
I.3.10 A propos de 6.111.9.1.2 à 6.111.9.1.5	646
I.3.11 A propos de 6.111.9.1.4 et 6.111.9.1.5	646
I.3.12 A propos de 6.111.9.2	646
Annexe J (Informative) Tolérances sur le courant d'essai et la longueur de ligne en essai de défaut proche en ligne.....	647
Annexe K (informative) Liste des symboles et abréviations utilisés dans cette norme	649
Annexe L (informative) Notes explicatives à propos de la révision des TTR pour disjoncteurs de tensions assignées supérieures à 1 kV et inférieures à 100 kV	656
L.1 Généralités.....	656
L.2 Défaut aux bornes	657
L.2.1 TTR pour disjoncteurs de réseaux aériens.....	657
L.2.2 Temps de retard	657
L.2.3 Facteur d'amplitude pour T100s et T100a.....	657
L.2.4 Facteur d'amplitude pour T60, T30 et T10	658
L.3 Défaut proche en ligne	658
L.4 Discordance de phases	658
L.5 Défaut avec réactance de limitation (ou réactance série).....	659
L.6 TTR pour les derniers pôles qui coupent / Topologie de circuit d'essais	659
Annexe M (normative) Exigences pour la coupure de défauts limités par un transformateur pour des disjoncteurs de tensions assignées supérieures à 1 kV et inférieures à 100 kV	660
Annexe N (normative) Utilisation de caractéristiques mécaniques et exigences liées.....	663
Annexe O (informative) Lignes directrices pour la procédure d'essai d'établissement et de coupure de courants de court-circuit pour les disjoncteurs sous enveloppe métallique et à cuve mise à la terre	666
O.1 Introduction	666
O.2 Généralités.....	666
O.2.1 Caractéristiques particulières des disjoncteurs sous enveloppe métallique soumis aux essais d'établissement et de coupure.....	666
O.2.2 Nombre réduit d'éléments destinés aux essais.....	666

O.2.3 Description générale des caractéristiques particulières et des interactions éventuelles	667
O.3 Essais d'un pôle unique dans une seule enveloppe	668
O.3.1 Essais d'établissement et de coupure en court-circuit	668
O.3.2 Essais de défaut proche en ligne	670
O.3.3 Essais d'établissement et de coupure de courants capacitifs	670
O.3.4 Etablissement et coupure en discordance de phases	673
O.4 Essais de trois pôles dans une seule enveloppe	674
O.4.1 Essais de défaut aux bornes	674
O.4.2 Essais de défaut proche en ligne	676
O.4.3 Essais d'établissement et de coupure de courants capacitifs	676
O.4.4 Essai d'établissement et de coupure en discordance de phases	677
Annexe P (normative) Calcul des paramètres de la TTR durant des conditions de défauts asymétriques (T100a)	680
Annexe Q (informative) Exemples d'application des critères d'asymétrie durant la séquence d'essais asymétriques T100a	685
Q.1 Essais en triphasé d'un disjoncteur dont la constante de temps assignée de la composante apériodique du pouvoir de coupure assigné en court-circuit est supérieure à la constante de temps du circuit d'essai	685
Q.2 Essais en monophasé d'un disjoncteur dont la constante de temps de la composante apériodique assignée du pouvoir de coupure assigné en court-circuit est inférieure à la constante de temps du circuit d'essai	687
Q.3 Essais en monophasé d'un disjoncteur dont la constante de temps de la composante apériodique assignée du pouvoir de coupure assigné en court-circuit est supérieure à la constante de temps du circuit d'essai	689
Bibliographie	694
Figure 1 – Oscillogramme type d'un cycle d'établissement-coupure en court-circuit triphasé	536
Figure 2 – Disjoncteur sans résistances intercalaires. Manœuvres d'ouverture et de fermeture	538
Figure 3 – Disjoncteur sans résistance intercalaire – Cycle de fermeture-ouverture	539
Figure 4 – Disjoncteur sans résistance intercalaire – Refermeture (refermeture automatique)	540
Figure 5 – Disjoncteur avec résistances intercalaires. Manœuvres d'ouverture et de fermeture	541
Figure 6 – Disjoncteur avec résistances intercalaires – Cycle de fermeture-ouverture	542
Figure 7 – Disjoncteur avec résistances intercalaires – Refermeture (refermeture automatique)	543
Figure 8 – Détermination des courants de court-circuit établi et coupé et du pourcentage de la composante apériodique	544
Figure 9 – Pourcentage de la composante apériodique en fonction de l'intervalle de temps ($T_{Op} + T_r$) pour la constante de temps normale τ_1 et pour les constantes de temps τ_2 , τ_3 et τ_4 des applications particulières	545
Figure 10 – Représentation d'une TTR spécifiée à quatre paramètres et d'un segment de droite définissant un retard pour les séquences d'essais T100, T 60, de défaut proche en ligne et en discordance de phases	546
Figure 11 – Représentation d'une TTR spécifiée par un tracé de référence à deux paramètres et par un segment de droite définissant un retard	547
Figure 12a – Circuit de base pour le défaut aux bornes avec TTRI	548

Figure 12b – Représentation de la TTRI et de son influence sur la TTR.....	548
Figure 13 – Représentation d'un court-circuit triphasé	549
Figure 14 – Représentation de variante à la Figure 13.....	550
Figure 15 – Circuit de base de défaut proche en ligne	551
Figure 16 – Exemple d'une tension transitoire côté ligne avec un retard et une crête arrondie la montrant construction à effectuer pour obtenir les valeurs u_L^* , t_L et t_{dL}	551
Figure 17 – Séquences d'essais pour les essais à basse et à haute température.....	552
Figure 18 – Essai à l'humidité.....	553
Figure 19 – Efforts statiques sur les bornes	554
Figure 20 – Directions pour les essais d'efforts statiques sur les bornes.....	555
Figure 21 – Nombre permis de spécimens pour les essais d'établissement et de coupure, illustration des spécifications de 6.102.2	556
Figure 22 – Définition d'un essai conformément à 3.2.2 de la CEI 62271-1	557
Figure 23a – Caractéristique de déplacement mécanique de référence (courbe idéalisée).....	558
Figure 23b – Caractéristique de déplacement mécanique de référence (courbe idéalisée) avec l'enveloppe prescrite centrée autour de la courbe de référence (+5 %, -5 %), dans cet exemple la séparation des contacts à lieu à $t = 20$ ms	558
Figure 23c – Caractéristique de déplacement mécanique de référence (courbe idéalisée) avec l'enveloppe prescrite déplacée totalement vers la haut par rapport à la courbe de référence (+10 %, -0 %), dans cet exemple la séparation des contacts à lieu à $t = 20$ ms	559
Figure 23d – Caractéristique de déplacement mécanique de référence (courbe idéalisée) avec l'enveloppe prescrite déplacée totalement vers le haut par rapport à la courbe de référence (+0 %, -10 %), dans cet exemple la séparation des contacts à lieu à $t = 20$ ms.....	559
Figure 24 – Montage d'essai équivalent pour les essais sur éléments séparés d'un disjoncteur ayant plus d'un élément de coupure.....	560
Figure 25a – Circuit préféré	561
Figure 25b – Circuit utilisé en variante	561
Figure 25 – Mise à la terre des circuits d'essais pour des essais triphasés en court- circuit, facteur de premier pôle 1,5.....	561
Figure 26a – Circuit préféré	562
Figure 26b – Circuit utilisé en variante	562
Figure 26 – Mise à la terre des circuits d'essais pour des essais triphasés en court- circuit, facteur de premier pôle 1,3.....	562
Figure 27a – Circuit préféré	563
Figure 27b – Circuit utilisé en variante, n'est pas applicable aux disjoncteurs dont l'isolement entre phases et/ou à la terre est critique (par exemple GIS ou disjoncteurs <i>dead tank</i>)	563
Figure 27 – Mise à la terre des circuits d'essais pour des essais monophasés en court- circuit, facteur de premier pôle 1,5.....	563
Figure 28a – Circuit préféré	564
Figure 28b – Circuit utilisé en variante, n'est pas applicable aux disjoncteurs dont l'isolement entre phases et/ou à la terre est critique (par exemple GIS ou disjoncteurs <i>dead tank</i>)	564
Figure 28 – Mise à la terre des circuits d'essais pour des essais monophasés en court- circuit, facteur de premier pôle 1,3.....	564

Figure 29 – Représentation graphique des trois coupures valables sur courants symétriques lors d'essais effectués en triphasé pour un réseau à neutre non effectivement à la terre (facteur de premier pôle 1,5)	565
Figure 30 – Représentation graphique des trois coupures valables sur courants symétriques lors d'essais effectués en triphasé pour un réseau à neutre mis effectivement à la terre (facteur de premier pôle 1,3)	566
Figure 31 – Représentation graphique des trois coupures valables sur courants asymétriques lors d'essais effectués en triphasé pour un réseau à neutre non effectivement à la terre (facteur de premier pôle 1,5)	567
Figure 32 – Représentation graphique des trois coupures valables sur courants asymétriques lors d'essais effectués en triphasé pour un réseau à neutre mis effectivement à la terre (facteur de premier pôle 1,3)	568
Figure 33 – Représentation graphique des trois coupures valables sur courants symétriques lors d'essais en monophasé effectués en remplacement des conditions triphasées dans un réseau à neutre non effectivement à la terre (facteur de premier pôle 1,5)	569
Figure 34 – Représentation graphique des trois coupures valables sur courants asymétriques lors d'essais en monophasé effectués en remplacement des conditions triphasées dans un réseau à neutre non effectivement à la terre (facteur de premier pôle 1,5)	570
Figure 35 – Représentation graphique des trois coupures valables sur courants symétriques lors d'essais en monophasé effectués en remplacement des conditions triphasées dans un réseau à neutre mis effectivement à la terre (facteur de premier pôle 1,3)	571
Figure 36 – Représentation graphique des trois coupures valables sur courants asymétriques lors d'essais en monophasé effectués en remplacement des conditions triphasées dans un réseau à neutre mis effectivement à la terre (facteur de premier pôle 1,3)	572
Figure 37 – Représentation graphique de la fenêtre de coupure et du facteur de tension k_p qui détermine la TTR de chaque pôle, pour des réseaux avec un facteur de premier pôle égal à 1,3	573
Figure 38 – Représentation graphique de la fenêtre de coupure et du facteur de tension k_p qui détermine la TTR de chaque pôle, pour des réseaux avec un facteur de premier pôle égal à 1,5	573
Figure 39 – Exemple d'une TTR d'essai présumée comportant une enveloppe à quatre paramètres et répondant aux conditions imposées pour l'essai de type – Cas de la TTR spécifiée comportant un tracé de référence à quatre paramètres	574
Figure 40 – Exemple d'une TTR d'essai présumée comportant une enveloppe à deux paramètres et répondant aux conditions imposées pour l'essai de type: cas de la TTR spécifiée comportant un tracé de référence à deux paramètres.....	575
Figure 41 – Exemple d'une TTR d'essai présumée comportant une enveloppe à quatre paramètres répondant aux conditions imposées pour l'essai de type – Cas de la TTR spécifiée comportant un tracé de référence à deux paramètres.....	576
Figure 42 – Exemple d'une TTR d'essai présumée comportant une enveloppe à deux paramètres répondant aux conditions imposées pour l'essai de type – Cas de la TTR spécifiée comportant un tracé de référence à quatre paramètres	576
Figure 43 – Exemple d'ondes de TTR d'essai présumée et de l'enveloppe de l'ensemble pour des essais en deux parties	577
Figure 44 – Détermination de la tension de rétablissement à fréquence industrielle	578
Figure 45 – Nécessité d'essais additionnels monophasés et exigences d'essais	579
Figure 46 – Circuit de base pour les essais de défaut proche en ligne – TTR présumée du circuit type a) selon 6.109.3: côté alimentation et côté ligne avec temps de retard	580

Figure 47 – Circuit de base pour les essais de défaut proche en ligne – circuit type b1) selon 6.109.3: côté alimentation avec TTRI et côté ligne avec temps de retard	581
Figure 48 – Circuit de base pour les essais de défaut proche en ligne – circuit type b2) selon 6.109.3: côté alimentation avec temps de retard et côté ligne sans temps de retard.....	582
Figure 49 – Diagramme de décision pour le choix des circuits d'essais de défaut proche en ligne pour les disjoncteurs de classe S2 et pour les disjoncteurs de tensions assignées supérieures ou égales à 100 kV	583
Figure 50 – Compensation d'un défaut du temps de retard côté alimentation par une augmentation de l'amplitude de la tension côté ligne	584
Figure 51 – Circuit d'essais pour les essais monophasés en discordance de phases	585
Figure 52 – Circuit d'essais avec deux tensions décalées de 120 degrés électriques pour les essais en discordance de phases	585
Figure 53 – Circuit d'essais avec une borne du disjoncteur à la terre pour les essais en discordance de phases (sous réserve de l'accord du constructeur)	586
Figure 54 – Tension de rétablissement pour les essais de coupure de courants capacitifs	587
Figure 55 – Procédure de re-classification pour les essais d'établissement et de coupure de courants de lignes à vide et de câbles à vide.....	588
Figure 56 – Procédure de re-classification pour les essais d'établissement et de coupure de courants de batteries de condensateurs	589
Figure A.1 – Graphique typique montrant des paramètres de TTR côté ligne et alimentation – Les TTR côté ligne et alimentation ont un temps de retard	597
Figure A.2 – Graphique typique montrant les paramètres de TTR côté ligne et alimentation – Les TTR côté ligne et alimentation ont un temps de retard, la TTR côté alimentation a une TTRI.....	597
Figure A.3 – Courbe effective de la tension transitoire de rétablissement côté alimentation pour les défauts proches en ligne L_{90} , L_{75} et L_{60}	598
Figure E.1 – Représentation par quatre paramètres d'une tension transitoire de rétablissement présumée d'un circuit – Cas du paragraphe E.2. c) 1)	616
Figure E.2 – Représentation par quatre paramètres d'une tension transitoire de rétablissement présumée d'un circuit – Cas du paragraphe E.2 c) 2)	616
Figure E.3 – Représentation par quatre paramètres d'une tension transitoire de rétablissement présumée d'un circuit – Cas du paragraphe E.2. c) 3) i)	617
Figure E.4 – Représentation par deux paramètres d'une tension transitoire de rétablissement présumée d'un circuit – Cas du paragraphe E.2. c) 3) ii)	617
Figure F.1 – Influence de la réduction de la tension sur la valeur de crête de la TTR.....	629
Figure F.2 – TTR pour une coupure idéale.....	629
Figure F.3 – Coupure avec présence d'une tension d'arc.....	630
Figure F.4 – Coupure avec arrachement prononcé du courant	630
Figure F.5 – Coupure avec courant post-arc	630
Figure F.6 – Relation entre les valeurs du courant et de la TTR apparaissant lors de l'essai, et les valeurs présumées du réseau.....	631
Figure F.7 – Schéma de l'appareil d'injection de courant à fréquence industrielle	632
Figure F.8 – Séquence de manœuvres de l'appareil d'injection de courant à fréquence industrielle.....	633
Figure F.9 – Schéma de l'appareillage d'injection par condensateur	634
Figure F.10 – Séquence de manœuvres de l'appareil d'injection par condensateur.....	635
Figure H.1 – Diagramme du circuit de l'exemple 1	638

Figure H.2 – Diagramme du circuit de l'exemple 2	639
Figure H.3 – Equations pour le calcul des courants d'appel de gradins de condensateurs	641
Figure M.1 – Premier exemple de défaut limité par un transformateur (aussi appelé défaut alimenté par un transformateur)	660
Figure M.2 – Deuxième exemple de défaut limité par un transformateur (aussi appelé défaut au secondaire d'un transformateur)	661
Figure O.1 – Configuration d'essai prise en compte dans les Tableaux O.1 et O.2	677
Figure O.2 – Exemple illustrant les formes d'ondes des courants symétriques, des tensions phase-terre et phase-phase, durant une coupure triphasée, telle que celle de la Figure 25a.	678
Figure O.3 – Exemple illustrant les formes d'ondes des courants symétriques, des tensions phase-terre et phase-phase, durant une coupure triphasée, telle que celle de la Figure 26a.	679
Figure Q.1 – Essais en triphasé d'un disjoncteur dont la constante de temps de la composante apériodique assignée du pouvoir de coupure assigné en court-circuit est supérieure à la constante de temps du circuit d'essai	691
Figure Q.2 – Essais en monophasé d'un disjoncteur dont la constante de temps de la composante apériodique assignée du pouvoir de coupure assigné en court-circuit est inférieure à la constante de temps du circuit d'essai	692
Figure Q.3 – Essais en monophasé d'un disjoncteur dont la constante de temps de la composante apériodique assignée du pouvoir de coupure assigné en court-circuit est supérieure à la constante de temps du circuit d'essai	693
Tableau 1 – Valeurs normales de la TTR pour les disjoncteurs de classe S1 – Tensions assignées supérieures à 1 kV et inférieures à 100 kV – Représentation par deux paramètres	389
Tableau 2 – Valeurs normales de la TTR ^c pour les disjoncteurs de classe S2 – Tensions assignées égales ou supérieures à 15 kV et inférieures à 100 kV – Représentation par deux paramètres	390
Tableau 3 – Valeurs normales de la TTR ^a – Tensions assignées de 100 kV à 170 kV, cas de réseaux à neutre effectivement à la terre – Représentation par quatre paramètres	391
Tableau 4 – Valeurs normales de la TTR ^a – Tensions assignées de 100 kV à 170 kV, cas de réseaux à neutre non effectivement à la terre – Représentation par quatre paramètres	392
Tableau 5 – Valeurs normales de la TTR ^a – Tensions assignées supérieures ou égales à 245 kV, cas de réseaux à neutre effectivement à la terre – Représentation par quatre paramètres	394
Tableau 6 – Valeurs normales des multiplicateurs pour la tension transitoire de rétablissement pour les 2 ^e et 3 ^e pôles à couper à des tensions assignées supérieures à 1 kV	395
Tableau 7 – Valeurs normales de la tension transitoire de rétablissement initiale – Tensions assignées supérieures ou égales à 100 kV	396
Tableau 8 – Valeurs normales des caractéristiques de ligne pour les défauts proches en ligne	398
Tableau 9 – Valeurs préférentielles de pouvoir de coupure et de pouvoir de fermeture assignés de courants capacitifs	401
Tableau 10 – Indications de la plaque signalétique	408
Tableau 11 – Essais de type	412
Tableau 12 – Essais non valables	414

Tableau 13 – Nombre de séquences de manœuvres.....	424
Tableau 14 – Exemples d'efforts statiques horizontaux et verticaux pour l'essai avec efforts statiques aux bornes.....	432
Tableau 15 – Paramètres de la dernière alternance de courant applicables lors d'une séquence d'essais de court-circuit T100a à 50 Hz $\tau = 45$ ms.....	451
Tableau 16 – Paramètres de la dernière alternance de courant applicables lors d'une séquence d'essais de court-circuit T100a à 50 Hz $\tau = 60$ ms.....	452
Tableau 17 – Paramètres de la dernière alternance de courant applicables lors d'une séquence d'essais de court-circuit T100a à 50 Hz $\tau = 75$ ms.....	453
Tableau 18 – Paramètres de la dernière alternance de courant applicables lors d'une séquence d'essais de court-circuit T100a à 50 Hz $\tau = 120$ ms.....	454
Tableau 19 – Paramètres de la dernière alternance de courant applicables lors d'une séquence d'essais de court-circuit T100a à 60 Hz $\tau = 45$ ms.....	455
Tableau 20 – Paramètres de la dernière alternance de courant applicables lors d'une séquence d'essais de court-circuit T100a à 60 Hz $\tau = 60$ ms.....	456
Tableau 21 – Paramètres de la dernière alternance de courant applicables lors d'une séquence d'essais de court-circuit T100a à 60 Hz $\tau = 75$ ms.....	457
Tableau 22 – Paramètres de la dernière alternance de courant applicables lors d'une séquence d'essais de court-circuit T100a à 60 Hz $\tau = 120$ ms.....	458
Tableau 23 – Fenêtre de coupure pour les essais avec courant symétrique.....	461
Tableau 24 – Valeurs normales de la TTR présumée pour les disjoncteurs de classe S1 – Tensions assignées supérieures à 1 kV et inférieures à 100 kV – Représentation par deux paramètres.....	471
Tableau 25 – Valeurs normales de la TTR ^C présumée pour les disjoncteurs de classe S2 – Tensions assignées égales ou supérieures à 15 kV et inférieures à 100 kV – Représentation par deux paramètres.....	473
Tableau 26 – Valeurs normales de la TTR présumée – Tensions assignées de 100 kV à 800 kV, cas des réseaux à neutre effectivement à la terre – Représentation par quatre paramètres (T100, T60, OP1 et OP2) ou deux paramètres (T30, T10).....	474
Tableau 27 – Valeurs normales de la TTR présumée – Tensions assignées de 100 kV à 170 kV, cas des réseaux à neutre non effectivement à la terre – Représentation par quatre paramètres (T100, T60, OP1 et OP2) ou deux paramètres (T30 et T10).....	476
Tableau 28 – Paramètres de TTR pour les essais de défaut monophasé et de double défaut à la terre.....	488
Tableau 29 – Séquences d'essais à effectuer pour vérifier les caractéristiques assignées en discordance de phases.....	494
Tableau 30 – Séquences d'essais pour la classe C2.....	501
Tableau 31 – Séquences d'essais pour la classe C1.....	506
Tableau 32 – Valeurs spécifiées de u_1 , t_1 , u_C et t_2	509
Tableau 33 – Séquence de manœuvre pour l'essai d'endurance électrique des disjoncteurs de classe E2 prévus pour le cycle de refermeture automatique selon 6.112.2.....	512
Tableau 34 – Application de la tension lors des essais diélectriques du circuit principal.....	513
Tableau 35 – Relation entre le facteur de puissance en court-circuit, la constante de temps et la fréquence industrielle.....	520
Tableau A.1 – Rapport des chutes de tension et de TTR côté alimentation.....	592
Tableau B.1 – Tolérances sur les paramètres d'essais lors des essais de type.....	600
Tableau F.1 – Méthodes pour la détermination de la TTR présumée.....	626
Tableau J.1 – Pourcentage pratique du courant de défaut proche en ligne.....	648

Tableau M.1 – Valeurs normales de la TTR inhérente pour T30, cas de disjoncteurs prévus pour être connectés à un transformateur avec une liaison de faible capacité – Tension assignée supérieure à 1 kV et inférieure à 100 kV – Représentation par deux paramètres	662
Tableau N.1 – Résumé des essais de type liés aux caractéristiques mécaniques	664
Tableau O.1 – Etablissement-coupeure d'un courant capacitif triphasé dans des conditions réelles de fonctionnement: valeurs habituelles de la tension côté source, de la tension côté charge et de la tension de rétablissement	671
Tableau O.2 – Essais d'établissement et de coupeure de courants capacitifs correspondants, conformément à 6.111.7 pour les essais de laboratoire en monophasé. Valeurs de la tension côté source, de la tension côté charge et de la tension de rétablissement	672
Tableau O.3 – Séquences d'essais T10, T30, T60 et T100s – Facteur de premier pôle: 1,5. Valeurs de tension au cours de la coupeure triphasée	675
Tableau O.4 – Séquences d'essais T10, T30, T60 et T100s – Facteur de premier pôle: 1,3. Valeurs de tension au cours de la coupeure triphasée	675
Tableau O.5 – Etablissement et coupeure de courants capacitifs dans des conditions réelles de fonctionnement: valeurs typiques de tension maximales	676
Tableau Q.1 – Exemple montrant les paramètres d'essais obtenus lors d'un essai triphasé, lorsque la constante de temps de la composante apériodique du circuit d'essai est plus courte que la constante de temps de la composante apériodique assignée du pouvoir de coupeure assigné en court-circuit	686
Tableau Q.2 – Exemple montrant les paramètres d'essais obtenus lors d'un essai monophasé lorsque la constante de temps de la composante apériodique du circuit d'essai est plus longue que la constante de temps de la composante apériodique assignée du pouvoir de coupeure assigné en court-circuit	687
Tableau Q.3 – Exemple montrant les paramètres d'essais obtenus lors d'un essai monophasé lorsque la constante de temps de la composante apériodique du circuit d'essai est plus courte que la constante de temps de la composante apériodique assignée du pouvoir de coupeure assigné en court-circuit	689

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

APPAREILLAGE À HAUTE TENSION –

Partie 100: Disjoncteurs à courant alternatif

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 62271-100 a été établie par le sous-comité 17A: Appareillage à haute tension, du comité d'études 17 de la CEI: Appareillage.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 2001 et les amendements 1 (2002) et 2 (2006). Elle annule et remplace aussi la CEI 61633 et la CEI 62271-308.

Les modifications principales par rapport à l'édition précédente sont les suivantes:

- introduction des formes d'onde de TTR harmonisées (CEI et IEEE) pour les tensions assignées supérieures ou égales à 100 kV (amendement 1 de la première édition);
- introduction des réseaux par câbles et réseaux aériens et de leurs TTR associées pour les tensions assignées inférieures à 100 kV (amendement 2 de la première édition)
- inclusion des CEI 61633 et CEI 62271-308.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
17A/815/FDIS	17A/822/RVD

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 2.

Cette norme doit être lue conjointement avec la CEI 62271-1, première édition, publiée en 2007, à laquelle elle fait référence et qui est applicable sauf spécification particulière dans la présente norme. Pour faciliter le repérage des exigences correspondantes, cette norme utilise une numérotation identique des articles et des paragraphes à celui de la CEI 62271-1. Les modifications de ces articles et de ces paragraphes ont des références identiques ; les paragraphes supplémentaires, qui n'ont pas d'équivalent dans la CEI 62271-1, sont numérotés à partir de 101.

Une liste de toutes les parties de la série CEI 62271, présentées sous le titre général *Appareillage à haute tension* peut être consultée sur le site web de la CEI.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de maintenance indiquée sur le site web de la CEI sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

- reconduite,
- supprimée,
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

APPAREILLAGE À HAUTE TENSION –

Partie 100: Disjoncteurs à courant alternatif

1 Généralités

1.1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 62271 est applicable aux disjoncteurs à courant alternatif conçus pour l'installation à l'intérieur ou à l'extérieur, et pour fonctionner à des fréquences de 50 Hz à 60 Hz, sur des réseaux de tensions supérieures à 1 000 V.

Elle est applicable uniquement aux disjoncteurs tripolaires pour réseaux triphasés et aux disjoncteurs unipolaires pour réseaux monophasés. Les disjoncteurs bipolaires pour réseaux monophasés et les applications à des fréquences inférieures à 50 Hz font l'objet d'un accord entre le constructeur et l'utilisateur.

Cette norme est également applicable aux dispositifs de commande des disjoncteurs et à leurs équipements auxiliaires. Toutefois, cette norme ne couvre pas les disjoncteurs comportant un mécanisme de fermeture à manœuvre dépendante manuelle, car pour ces appareils on ne peut spécifier un pouvoir de fermeture assigné en court-circuit, et une telle manœuvre dépendante manuelle peut être inacceptable pour des raisons de sécurité.

Les règles relatives aux disjoncteurs ayant une non-simultanéité intentionnelle entre les pôles sont à l'étude; les disjoncteurs pourvus d'un dispositif de refermeture automatique unipolaire sont compris dans le domaine d'application de la présente norme.

NOTE 1 Les disjoncteurs ayant une non-simultanéité intentionnelle entre les pôles peuvent, dans certains cas, être soumis aux essais conformément à la présente norme. Par exemple, ceux de type à pôles décalés mécaniquement peuvent être soumis aux essais conformément à cette norme, à l'aide d'essais directs triphasés. Pour les essais synthétiques, la détermination des essais les plus appropriés, en particulier en ce qui concerne le courant d'essai, la tension de rétablissement et la tension transitoire de rétablissement, est soumise à un accord entre le constructeur et l'utilisateur.

Cette norme ne couvre pas les disjoncteurs destinés aux unités motrices des équipements de traction électrique; ceux-ci sont couverts par la CEI 60077 [1]¹.

Les disjoncteurs d'alternateur installés entre l'alternateur et le transformateur élévateur ne sont pas du domaine d'application de cette norme.

L'établissement et la coupure de charge inductive sont couverts par la CEI 62271-110.

La présente norme ne traite pas des disjoncteurs à déclenchement autonome avec des dispositifs de déclenchement mécaniques ou des dispositifs qui ne peuvent être rendus inopérants.

Les disjoncteurs installés comme des interrupteurs de contournement en parallèle avec des condensateurs série de ligne et leurs dispositifs de protection n'entrent pas dans le domaine d'application de la présente norme. Ils sont couverts par la CEI 62271-109 [2] et la CEI 60143-2 [3].

NOTE 2 Il convient que les essais en vue de vérifier le fonctionnement des disjoncteurs dans des conditions anormales fassent l'objet d'un accord entre le constructeur et l'utilisateur. De telles conditions anormales sont, par

¹) Les chiffres entre crochets se réfèrent à la bibliographie.

exemple, celles qui se produisent lorsque la tension est supérieure à la tension assignée du disjoncteur, ce qui peut arriver lors de la perte soudaine de la charge sur des lignes longues ou sur des câbles.

1.2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 60050(151):2001, *Vocabulaire Electrotechnique International – Chapitre 151: Dispositifs électriques et magnétiques*

CEI 60050(441):1984, *Vocabulaire Electrotechnique International – Chapitre 441: Appareillage et fusibles*

CEI 60050(601):1985, *Vocabulaire Electrotechnique International – Chapitre 601: Production, transport et distribution d'énergie électrique – Généralités*

CEI 60050(604):1987, *Vocabulaire Electrotechnique international – Chapitre 604: Production, transport et distribution d'énergie électrique – Exploitation*

CEI 60059, *Caractéristiques des courants normaux de la CEI*

CEI 60060-1:1989, *Technique des essais à haute tension – Partie 1: Définitions et prescriptions générales relative aux essais*

CEI 60071-2, *Coordination de l'isolement – Partie 2: Guide d'application*

CEI 60137: *Traversées isolées pour tensions alternatives supérieures à 1000 V*

CEI 60255-3:1989, *Relais électriques – Troisième partie: Relais de mesure et dispositifs de protection à une seule grandeur d'alimentation d'entrée à temps dépendant ou indépendant*

CEI 60296, *Spécification des huiles minérales isolantes neuves pour transformateurs et appareillage de connexion*

CEI 60376: *Spécifications et réception de l'hexafluorure de soufre neuf*

CEI 60480, *Guide relatif au contrôle de l'hexafluorure de soufre (SF₆) prélevé sur le matériel électrique*

CEI 60529, *Degrés de protection procurés par les enveloppes (code IP)*

CEI/TS 61634, *Appareillage à haute tension – Utilisation et manipulation du gaz hexafluorure de soufre (SF₆) dans l'appareillage à haute tension*

CEI 62271-1:2007, *Appareillage à haute tension – Partie 1: Spécifications communes*

CEI 62271-101:2006, *Appareillage à haute tension – Partie 101: Essais synthétiques*

CEI 62271-102:2001, *Appareillage à haute tension – Partie 102: Sectionneurs à courant alternatif et sectionneurs de terre*

CEI 62271-110, *Appareillage à haute tension – Partie 110: Courants inductifs*