

# INTERNATIONAL STANDARD

# NORME INTERNATIONALE



HORIZONTAL STANDARD  
NORME HORIZONTALE

---

**Insulation co-ordination –  
Part 2: Application guidelines**

**Coordination de l'isolement –  
Partie 2: Lignes directrices en matière d'application**

## CONTENTS

FOREWORD .....	8
1 Scope .....	10
2 Normative references .....	10
3 Terms, definitions, abbreviated terms and symbols .....	11
3.1 Terms and definitions .....	11
3.2 Abbreviated terms .....	11
3.3 Symbols .....	11
4 Representative voltage stresses in service .....	16
4.1 Origin and classification of voltage stresses .....	16
4.2 Characteristics of overvoltage protection devices .....	17
4.2.1 General remarks .....	17
4.2.2 Metal-oxide surge arresters without gaps (MOSA) .....	17
4.2.3 Line surge arresters (LSA) for overhead transmission and distribution lines .....	19
4.3 Representative voltages and overvoltages .....	19
4.3.1 Continuous (power-frequency) voltage .....	19
4.3.2 Temporary overvoltages .....	20
4.3.3 Slow-front overvoltages .....	23
4.3.4 Fast-front overvoltages .....	29
4.3.5 Very-fast-front overvoltages [13] .....	33
5 Co-ordination withstand voltage .....	34
5.1 Insulation strength characteristics .....	34
5.1.1 General .....	34
5.1.2 Influence of polarity and overvoltage shapes .....	35
5.1.3 Phase-to-phase and longitudinal insulation .....	36
5.1.4 Influence of weather conditions on external insulation .....	36
5.1.5 Probability of disruptive discharge of insulation .....	37
5.2 Performance criterion .....	38
5.3 Insulation co-ordination procedures .....	39
5.3.1 General .....	39
5.3.2 Insulation co-ordination procedures for continuous (power-frequency) voltage and temporary overvoltage .....	40
5.3.3 Insulation co-ordination procedures for slow-front overvoltages .....	40
5.3.4 Insulation co-ordination procedures for fast-front overvoltages .....	45
6 Required withstand voltage .....	46
6.1 General remarks .....	46
6.2 Atmospheric correction .....	46
6.2.1 General remarks .....	46
6.2.2 Altitude correction .....	46
6.3 Safety factors .....	48
6.3.1 General .....	48
6.3.2 Ageing .....	48
6.3.3 Production and assembly dispersion .....	48
6.3.4 Inaccuracy of the withstand voltage .....	48
6.3.5 Recommended safety factors ( $K_S$ ) .....	49
7 Standard withstand voltage and testing procedures .....	49

7.1	General remarks .....	49
7.1.1	Overview .....	49
7.1.2	Standard switching impulse withstand voltage .....	49
7.1.3	Standard lightning impulse withstand voltage.....	50
7.2	Test conversion factors .....	50
7.2.1	Range I.....	50
7.2.2	Range II .....	51
7.3	Determination of insulation withstand by type tests .....	51
7.3.1	Test procedure dependency upon insulation type .....	51
7.3.2	Non-self-restoring insulation .....	52
7.3.3	Self-restoring insulation .....	52
7.3.4	Mixed insulation.....	52
7.3.5	Limitations of the test procedures .....	53
7.3.6	Selection of the type test procedures .....	54
7.3.7	Selection of the type test voltages .....	54
8	Special considerations for overhead lines .....	55
8.1	General remarks .....	55
8.2	Insulation co-ordination for operating voltages and temporary overvoltages .....	55
8.3	Insulation co-ordination for slow-front overvoltages.....	55
8.3.1	General .....	55
8.3.2	Earth-fault overvoltages.....	56
8.3.3	Energization and re-energization overvoltages .....	56
8.4	Insulation co-ordination for lightning overvoltages.....	56
8.4.1	General .....	56
8.4.2	Distribution lines.....	56
8.4.3	Transmission lines .....	57
9	Special considerations for substations .....	57
9.1	General remarks .....	57
9.1.1	Overview .....	57
9.1.2	Operating voltage .....	57
9.1.3	Temporary overvoltage .....	57
9.1.4	Slow-front overvoltages .....	58
9.1.5	Fast-front overvoltages .....	58
9.2	Insulation co-ordination for overvoltages.....	58
9.2.1	Substations in distribution systems with $U_m$ up to 36 kV in range I .....	58
9.2.2	Substations in transmission systems with $U_m$ between 52,5 kV and 245 kV in range I .....	59
9.2.3	Substations in transmission systems in range II.....	60
Annex A (informative) Determination of temporary overvoltages due to earth faults .....		61
Annex B (informative) Weibull probability distributions .....		65
B.1	General remarks .....	65
B.2	Disruptive discharge probability of external insulation .....	66
B.3	Cumulative frequency distribution of overvoltages.....	68
Annex C (informative) Determination of the representative slow-front overvoltage due to line energization and re-energization .....		71
C.1	General remarks .....	71
C.2	Probability distribution of the representative amplitude of the prospective overvoltage phase-to-earth .....	71

C.3	Probability distribution of the representative amplitude of the prospective overvoltage phase-to-phase .....	71
C.4	Insulation characteristic .....	73
C.5	Numerical example .....	75
Annex D	(informative) Transferred overvoltages in transformers .....	81
D.1	General remarks .....	81
D.2	Transferred temporary overvoltages.....	82
D.3	Capacitively transferred surges.....	82
D.4	Inductively transferred surges .....	84
Annex E	(informative) Lightning overvoltages .....	88
E.1	General remarks .....	88
E.2	Determination of the limit distance ( $X_p$ ).....	88
E.2.1	Protection with arresters in the substation .....	88
E.2.2	Self-protection of substation .....	89
E.3	Estimation of the representative lightning overvoltage amplitude.....	90
E.3.1	General .....	90
E.3.2	Shielding penetration .....	90
E.3.3	Back flashovers .....	91
E.4	Simplified method .....	93
E.5	Assumed maximum value of the representative lightning overvoltage .....	95
Annex F	(informative) Calculation of air gap breakdown strength from experimental data .....	96
F.1	General.....	96
F.2	Insulation response to power-frequency voltages .....	96
F.3	Insulation response to slow-front overvoltages.....	97
F.4	Insulation response to fast-front overvoltages .....	98
Annex G	(informative) Examples of insulation co-ordination procedure .....	102
G.1	Overview.....	102
G.2	Numerical example for a system in range I (with nominal voltage of 230 kV).....	102
G.2.1	General .....	102
G.2.2	Part 1: no special operating conditions .....	103
G.2.3	Part 2: influence of capacitor switching at station 2.....	110
G.2.4	Part 3: flow charts related to the example of Clause G.2.....	112
G.3	Numerical example for a system in range II (with nominal voltage of 735 kV).....	117
G.3.1	General .....	117
G.3.2	Step 1: determination of the representative overvoltages – values of $U_{rp}$ .....	117
G.3.3	Step 2: determination of the co-ordination withstand voltages – values of $U_{CW}$ .....	118
G.3.4	Step 3: determination of the required withstand voltages – values of $U_{rw}$ .....	119
G.3.5	Step 4: conversion to switching impulse withstand voltages (SIWV).....	120
G.3.6	Step 5: selection of standard insulation levels .....	120
G.3.7	Considerations relative to phase-to-phase insulation co-ordination .....	121
G.3.8	Phase-to-earth clearances .....	122
G.3.9	Phase-to-phase clearances .....	122
G.4	Numerical example for substations in distribution systems with $U_m$ up to 36 kV in range I .....	123
G.4.1	General .....	123

G.4.2	Step 1: determination of the representative overvoltages – values of $U_{rp}$ .....	123
G.4.3	Step 2: determination of the co-ordination withstand voltages – values of $U_{cw}$ .....	124
G.4.4	Step 3: determination of required withstand voltages – values of $U_{rw}$ .....	125
G.4.5	Step 4: conversion to standard short-duration power-frequency and lightning impulse withstand voltages .....	126
G.4.6	Step 5: selection of standard withstand voltages .....	126
G.4.7	Summary of insulation co-ordination procedure for the example of Clause G.4 .....	127
Annex H (informative) Atmospheric correction – Altitude correction .....		129
H.1	General principles .....	129
H.1.1	Atmospheric correction in standard tests .....	129
H.1.2	Task of atmospheric correction in insulation co-ordination .....	130
H.2	Atmospheric correction in insulation co-ordination .....	132
H.2.1	Factors for atmospheric correction .....	132
H.2.2	General characteristics for moderate climates .....	132
H.2.3	Special atmospheric conditions .....	133
H.2.4	Altitude dependency of air pressure .....	134
H.3	Altitude correction .....	135
H.3.1	Definition of the altitude correction factor .....	135
H.3.2	Principle of altitude correction .....	136
H.3.3	Standard equipment operating at altitudes up to 1 000 m .....	137
H.3.4	Equipment operating at altitudes above 1 000 m .....	137
H.4	Selection of the exponent $m$ .....	138
H.4.1	General .....	138
H.4.2	Derivation of exponent $m$ for switching impulse voltage .....	138
H.4.3	Derivation of exponent $m$ for critical switching impulse voltage .....	141
Annex I (informative) Evaluation method of non-standard lightning overvoltage shape for representative voltages and overvoltages .....		144
I.1	General remarks .....	144
I.2	Lightning overvoltage shape .....	144
I.3	Evaluation method for GIS .....	144
I.3.1	Experiments .....	144
I.3.2	Evaluation of overvoltage shape .....	145
I.4	Evaluation method for transformer .....	145
I.4.1	Experiments .....	145
I.4.2	Evaluation of overvoltage shape .....	145
Annex J (informative) Insulation co-ordination for very-fast-front overvoltages in UHV substations .....		152
J.1	General .....	152
J.2	Influence of disconnector design .....	152
J.3	Insulation co-ordination for VFFO .....	153
Bibliography .....		155
Figure 1 – Range of 2 % slow-front overvoltages at the receiving end due to line energization and re-energization .....		25
Figure 2 – Ratio between the 2 % values of slow-front overvoltages phase-to-phase and phase-to-earth .....		26
Figure 3 – Diagram for surge arrester connection to the protected object .....		33

Figure 4 – Distributive discharge probability of self-restoring insulation described on a linear scale .....	41
Figure 5 – Disruptive discharge probability of self-restoring insulation described on a Gaussian scale .....	41
Figure 6 – Evaluation of deterministic co-ordination factor $K_{cd}$ .....	42
Figure 7 – Evaluation of the risk of failure .....	43
Figure 8 – Risk of failure of external insulation for slow-front overvoltages as a function of the statistical co-ordination factor $K_{cs}$ .....	45
Figure 9 – Dependence of exponent $m$ on the co-ordination switching impulse withstand voltage .....	47
Figure 10 – Probability $P$ of an equipment to pass the test dependent on the difference $K$ between the actual and the rated impulse withstand voltage.....	53
Figure 11 – Example of a schematic substation layout used for the overvoltage stress location.....	57
Figure A.1 – Earth fault factor $k$ on a base of $X_0/X_1$ for $R_1/X_1 = R = 0$ .....	62
Figure A.2 – Relationship between $R_0/X_1$ and $X_0/X_1$ for constant values of earth fault factor $k$ where $R_1 = 0$ .....	62
Figure A.3 – Relationship between $R_0/X_1$ and $X_0/X_1$ for constant values of earth fault factor $k$ where $R_1 = 0,5 X_1$ .....	63
Figure A.4 – Relationship between $R_0/X_1$ and $X_0/X_1$ for constant values of earth fault factor $k$ where $R_1 = X_1$ .....	63
Figure A.5 – Relationship between $R_0/X_1$ and $X_0/X_1$ for constant values of earth fault factor $k$ where $R_1 = 2X_1$ .....	64
Figure B.1 – Conversion chart for the reduction of the withstand voltage due to placing insulation configurations in parallel .....	70
Figure C.1 – Example for bivariate phase-to-phase overvoltage curves with constant probability density and tangents giving the relevant 2 % values .....	77
Figure C.2 – Principle of the determination of the representative phase-to-phase overvoltage $U_{pre}$ .....	78
Figure C.3 – Schematic phase-phase-earth insulation configuration.....	79
Figure C.4 – Description of the 50 % switching impulse flashover voltage of a phase-phase-earth insulation .....	79
Figure C.5 – Inclination angle of the phase-to-phase insulation characteristic in range "b" dependent on the ratio of the phase-phase clearance $D$ to the height $H_t$ above earth.....	80
Figure D.1 – Distributed capacitances of the windings of a transformer and the equivalent circuit describing the windings .....	86
Figure D.2 – Values of factor $J$ describing the effect of the winding connections on the inductive surge transference .....	87
Figure H.1 – Principle of the atmospheric correction during test of a specified insulation level according to the procedure of IEC 60060-1 .....	130
Figure H.2 – Principal task of the atmospheric correction in insulation co-ordination according to IEC 60071-1 .....	131
Figure H.3 – Comparison of atmospheric correction $\delta \times k_h$ with relative air pressure $p/p_0$ for various weather stations around the world .....	133
Figure H.4 – Deviation of simplified pressure calculation by exponential function in this document from the temperature dependent pressure calculation of ISO 2533 .....	135
Figure H.5 – Principle of altitude correction: decreasing withstand voltage $U_{10}$ of equipment with increasing altitude .....	136

Figure H.6 – Sets of $m$ -curves for standard switching impulse voltage including the variations in altitude for each gap factor .....	140
Figure H.7 – Exponent $m$ for standard switching impulse voltage for selected gap factors covering altitudes up to 4 000 m .....	141
Figure H.8 – Sets of $m$ -curves for critical switching impulse voltage including the variations in altitude for each gap factor .....	142
Figure H.9 – Exponent $m$ for critical switching impulse voltage for selected gap factors covering altitudes up to 4 000 m .....	142
Figure H.10 – Accordance of $m$ -curves from Figure 9 with determination of exponent $m$ by means of critical switching impulse voltage for selected gap factors and altitudes .....	143
Figure I.1 – Examples of lightning overvoltage shapes .....	147
Figure I.2 – Example of insulation characteristics with respect to lightning overvoltages of the SF <sub>6</sub> gas gap (Shape E) .....	148
Figure I.3 – Calculation of duration time $T_d$ .....	148
Figure I.4 – Shape evaluation flow for GIS and transformer .....	149
Figure I.5 – Application to GIS lightning overvoltage .....	150
Figure I.6 – Example of insulation characteristics with respect to lightning overvoltage of the turn-to-turn insulation (Shape C) .....	150
Figure I.7 – Application to transformer lightning overvoltage .....	151
Figure J.1 – Insulation co-ordination for very-fast-front overvoltages .....	154
Table 1 – Test conversion factors for range I, to convert required SIWV to SDWV and LIWV .....	51
Table 2 – Test conversion factors for range II to convert required SDWV to SIWV .....	51
Table 3 – Selectivity of test procedures B and C of IEC 60060-1 .....	53
Table B.1 – Breakdown voltage versus cumulative flashover probability – Single insulation and 100 parallel insulations .....	67
Table E.1 – Corona damping constant $K_{CO}$ .....	89
Table E.2 – Factor $A$ for various overhead lines .....	94
Table F.1 – Typical gap factors $K$ for switching impulse breakdown phase-to-earth (according to [1] and [4]) .....	100
Table F.2 – Gap factors for typical phase-to-phase geometries .....	101
Table G.1 – Summary of minimum required withstand voltages obtained for the example shown in G.2.2 .....	109
Table G.2 – Summary of required withstand voltages obtained for the example shown in G.2.3 .....	111
Table G.3 – Values related to the insulation co-ordination procedure for the example in G.4 .....	128
Table H.1 – Comparison of functional expressions of Figure 9 with the selected parameters from the derivation of $m$ -curves with critical switching impulse .....	143
Table I.1 – Evaluation of the lightning overvoltage in the GIS of UHV system .....	148
Table I.2 – Evaluation of lightning overvoltage in the transformer of 500 kV system .....	151

# INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

## INSULATION CO-ORDINATION –

### Part 2: Application guidelines

#### FOREWORD

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

International Standard IEC 60071-2 has been prepared by IEC technical committee 28: Insulation co-ordination.

This fourth edition cancels and replaces the third edition published in 1996. This edition constitutes a technical revision.

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

- a) the annex on clearance in air to assure a specified impulse withstand voltage installation is deleted because the annex in IEC 60071-1 is overlapped;
- b) 4.2 and 4.3 on surge arresters are updated;
- c) 4.3.5 on very-fast-front overvoltages is revised. Annex J on insulation co-ordination for very-fast-front overvoltages in UHV substations is added;
- d) Annex H on atmospheric correction – altitude correction is added.



e) Annex I on evaluation method of non-standard lightning overvoltage shape is added.

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

FDIS	Report on voting
28/255/FDIS	28/256/RVD

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

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

It has the status of a horizontal standard in accordance with IEC Guide 108.

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

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

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

## INSULATION CO-ORDINATION –

### Part 2: Application guidelines

#### 1 Scope

This part of IEC 60071 constitutes application guidelines and deals with the selection of insulation levels of equipment or installations for three-phase electrical systems. Its aim is to give guidance for the determination of the rated withstand voltages for ranges I and II of IEC 60071-1 and to justify the association of these rated values with the standardized highest voltages for equipment.

This association is for insulation co-ordination purposes only. The requirements for human safety are not covered by this document.

This document covers three-phase systems with nominal voltages above 1 kV. The values derived or proposed herein are generally applicable only to such systems. However, the concepts presented are also valid for two-phase or single-phase systems.

This document covers phase-to-earth, phase-to-phase and longitudinal insulation.

This document is not intended to deal with routine tests. These are to be specified by the relevant product committees.

The content of this document strictly follows the flow chart of the insulation co-ordination process presented in Figure 1 of IEC 60071-1:2006. Clauses 4 to 7 correspond to the squares in this flow chart and give detailed information on the concepts governing the insulation co-ordination process which leads to the establishment of the required withstand levels.

This document emphasizes the necessity of considering, at the very beginning, all origins, all classes and all types of voltage stresses in service irrespective of the range of highest voltage for equipment. Only at the end of the process, when the selection of the standard withstand voltages takes place, does the principle of covering a particular service voltage stress by a standard withstand voltage apply. Also, at this final step, this document refers to the correlation made in IEC 60071-1 between the standard insulation levels and the highest voltage for equipment.

The annexes contain examples and detailed information which explain or support the concepts described in the main text, and the basic analytical techniques used.

#### 2 Normative references

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

IEC 60060-1:2010, *High-voltage test techniques – Part 1: General definitions and test requirements*

IEC 60071-1:2006, *Insulation co-ordination – Part 1: Definitions, principles and rules*  
IEC 60071-1:2006/AMD1:2010

IEC 60505:2011, *Evaluation and qualification of electrical insulation systems*

IEC TS 60815-1, *Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions – Part 1: Definitions, information and general principles*

ISO 2533:1975, *Standard Atmosphere*

## SOMMAIRE

AVANT-PROPOS .....	164
1 Domaine d'application .....	166
2 Références normatives .....	166
3 Termes, définitions, termes abrégés et symboles .....	167
3.1 Termes et définitions .....	167
3.2 Termes abrégés .....	167
3.3 Symboles .....	167
4 Contraintes de tension représentatives en service .....	172
4.1 Origine et classification des contraintes de tension .....	172
4.2 Caractéristiques des dispositifs de protection contre les surtensions .....	173
4.2.1 Remarques générales .....	173
4.2.2 Parafoudres à oxyde métallique (MOSA) sans éclateur .....	174
4.2.3 Parafoudres de ligne (LSA) pour les lignes aériennes de transmission et de distribution .....	175
4.3 Tensions et surtensions représentatives .....	176
4.3.1 Tension permanente (à la fréquence industrielle) .....	176
4.3.2 Surtensions temporaires .....	176
4.3.3 Surtensions à front lent .....	180
4.3.4 Surtensions à front rapide .....	186
4.3.5 Surtensions à front très rapide [13] .....	191
5 Tension de tenue de coordination .....	191
5.1 Caractéristiques de résistance d'isolement .....	191
5.1.1 Généralités .....	191
5.1.2 Influence de la polarité et des formes de surtension .....	193
5.1.3 Isolation entre phases et isolation longitudinale .....	193
5.1.4 Influence des conditions climatiques sur l'isolation externe .....	194
5.1.5 Probabilité de décharge disruptive de l'isolation .....	194
5.2 Critère de performance .....	196
5.3 Procédures de coordination de l'isolement .....	196
5.3.1 Généralités .....	196
5.3.2 Procédures de coordination de l'isolement pour la tension permanente (à fréquence industrielle) et pour les surtensions temporaires .....	197
5.3.3 Procédures de coordination de l'isolement pour les surtensions à front lent .....	198
5.3.4 Procédures de coordination de l'isolement pour les surtensions à front rapide .....	203
6 Tension de tenue exigée .....	204
6.1 Remarques générales .....	204
6.2 Correction atmosphérique .....	204
6.2.1 Remarques générales .....	204
6.2.2 Correction de l'altitude .....	205
6.3 Facteurs de sécurité .....	206
6.3.1 Généralités .....	206
6.3.2 Vieillissement .....	207
6.3.3 Dispersion due à la fabrication et au montage .....	207
6.3.4 Inexactitude de la tension de tenue .....	207
6.3.5 Facteurs de sécurité recommandés ( $K_S$ ) .....	207

7	Tension de tenue normalisée et procédures d'essai.....	208
7.1	Remarques générales.....	208
7.1.1	Aperçu.....	208
7.1.2	Tension normalisée de tenue au choc de manœuvre.....	208
7.1.3	Tension normalisée de tenue au choc de foudre.....	208
7.2	Facteurs de conversion d'essai.....	209
7.2.1	Plage I.....	209
7.2.2	Plage II.....	210
7.3	Détermination de la tenue de l'isolement par des essais de type.....	210
7.3.1	Relation entre procédure d'essai et type d'isolement.....	210
7.3.2	Isolation non autorégénératrice.....	210
7.3.3	Isolation non autorégénératrice.....	211
7.3.4	Isolation mixte.....	211
7.3.5	Limitations des procédures d'essai.....	212
7.3.6	Choix des procédures d'essai de type.....	212
7.3.7	Choix des tensions d'essai de type.....	213
8	Points particuliers concernant les lignes aériennes.....	214
8.1	Remarques générales.....	214
8.2	Coordination de l'isolement vis-à-vis des tensions de service et des surtensions temporaires.....	214
8.3	Coordination de l'isolement pour les surtensions à front lent.....	214
8.3.1	Généralités.....	214
8.3.2	Surtensions de défaut à la terre.....	215
8.3.3	Surtensions à l'enclenchement et au réenclenchement.....	215
8.4	Coordination de l'isolement vis-à-vis des surtensions de foudre.....	215
8.4.1	Généralités.....	215
8.4.2	Lignes de distribution.....	215
8.4.3	Lignes de transport.....	216
9	Points particuliers concernant les postes.....	216
9.1	Remarques générales.....	216
9.1.1	Aperçu.....	216
9.1.2	Tension de service.....	216
9.1.3	Surtension temporaire.....	217
9.1.4	Surtensions à front lent.....	217
9.1.5	Surtensions à front rapide.....	217
9.2	Coordination de l'isolement vis-à-vis des surtensions.....	218
9.2.1	Postes sur des réseaux de distribution avec $U_m$ jusqu'à 36 kV, dans la plage I.....	218
9.2.2	Postes de réseaux de transport dont $U_m$ est comprise entre 52,5 kV et 245 kV dans la plage I.....	219
9.2.3	Postes de réseaux de transport dans la plage II.....	219
Annexe A (informative) Détermination des surtensions temporaires dues à des défauts à la terre.....		220
Annexe B (informative) Fonction de répartition de Weibull.....		224
B.1	Remarques générales.....	224
B.2	Probabilité de décharge disruptive de l'isolation externe.....	225
B.3	Distribution de fréquence cumulative des surtensions.....	227
Annexe C (informative) Détermination de la surtension représentative à front lent due à l'enclenchement et au réenclenchement d'une ligne.....		230

C.1	Remarques générales .....	230
C.2	Fonction de répartition de l'amplitude représentative de la surtension présumée phase-terre .....	230
C.3	Fonction de répartition de l'amplitude représentative de la surtension présumée entre phases .....	231
C.4	Caractéristiques de l'isolation .....	232
C.5	Exemple numérique .....	234
Annexe D (informative)	Surtensions transmises dans les transformateurs .....	240
D.1	Remarques générales .....	240
D.2	Surtensions temporaires transmises .....	241
D.3	Surtensions transmises par voie capacitive .....	242
D.4	Surtensions transmises par voie inductive .....	243
Annexe E (informative)	Surtensions de foudre .....	247
E.1	Remarques générales .....	247
E.2	Détermination de la distance limite ( $X_p$ ) .....	247
E.2.1	Protection par parafoudres dans le poste .....	247
E.2.2	Autoprotection des postes .....	248
E.3	Estimation de l'amplitude de la surtension de foudre représentative .....	249
E.3.1	Généralités .....	249
E.3.2	Pénétration du blindage .....	249
E.3.3	Amorçages en retour .....	250
E.4	Méthode simplifiée .....	252
E.5	Valeur maximale présumée de la surtension de foudre représentative .....	254
Annexe F (informative)	Calcul de la rigidité diélectrique des intervalles d'air à partir des données expérimentales .....	255
F.1	Généralités .....	255
F.2	Comportement de l'isolation aux tensions à fréquence industrielle .....	255
F.3	Comportement de l'isolation aux surtensions à front lent .....	256
F.4	Comportement de l'isolation aux surtensions à front rapide .....	257
Annexe G (informative)	Exemples de procédures de coordination de l'isolement .....	261
G.1	Aperçu .....	261
G.2	Exemple numérique pour un réseau de la plage I (tension nominale de 230 kV) .....	261
G.2.1	Généralités .....	261
G.2.2	Partie 1: absence de conditions de service particulières .....	262
G.2.3	Partie 2: influence de manœuvres de condensateurs au poste 2 .....	269
G.2.4	Partie 3: organigrammes relatifs à l'exemple de l'Article G.2 .....	271
G.3	Exemple numérique pour un réseau de la plage II (tension nominale de 735 kV) .....	276
G.3.1	Généralités .....	276
G.3.2	Étape 1: détermination des surtensions représentatives – valeurs de $U_{rp}$ .....	276
G.3.3	Étape 2: détermination des tensions de tenue de coordination – valeurs de $U_{cw}$ .....	277
G.3.4	Étape 3: détermination des tensions de tenue exigées – valeurs de $U_{rw}$ .....	279
G.3.5	Étape 4: conversion en tensions de tenue au choc de manœuvre (SIWV) .....	279
G.3.6	Étape 5: choix de niveaux d'isolement normalisés .....	280
G.3.7	Considérations relatives à la coordination de l'isolement entre phases .....	280
G.3.8	Distances d'isolement phase-terre .....	281
G.3.9	Distances d'isolement entre phases .....	282
G.4	Exemple numérique pour des postes de réseaux de distribution avec $U_m$ jusqu'à 36 kV dans la plage I .....	282

G.4.1	Généralités .....	282
G.4.2	Étape 1: détermination des surtensions représentatives – valeurs de $U_{RP}$ .....	283
G.4.3	Étape 2: détermination des tensions de tenue de coordination – valeurs de $U_{CW}$ .....	284
G.4.4	Étape 3: détermination des tensions de tenue exigées – valeurs de $U_{RW}$ .....	284
G.4.5	Étape 4: conversion en tensions de tenue normalisées de courte durée à fréquence industrielle et en tensions de tenue au choc de foudre .....	285
G.4.6	Étape 5: choix des tensions de tenue normalisées .....	286
G.4.7	Résumé de la procédure de coordination de l'isolement pour l'exemple de l'Article G.4 .....	286
Annexe H (informative) Correction atmosphérique et correction de l'altitude .....		288
H.1	Principes généraux .....	288
H.1.1	Correction atmosphérique dans les essais normatifs .....	288
H.1.2	Fonction de la correction atmosphérique dans la coordination de l'isolement .....	289
H.2	Correction atmosphérique dans la coordination de l'isolement .....	291
H.2.1	Facteurs de correction atmosphérique .....	291
H.2.2	Caractéristiques générales pour les climats modérés .....	291
H.2.3	Conditions atmosphériques particulières.....	292
H.2.4	Relation entre l'altitude et la pression atmosphérique .....	293
H.3	Correction d'altitude .....	294
H.3.1	Définition du facteur de correction d'altitude .....	294
H.3.2	Principe de la correction d'altitude .....	295
H.3.3	Matériel normalisé en exploitation à des altitudes jusqu'à 1 000 m .....	296
H.3.4	Matériel en exploitation à des altitudes de plus de 1 000 m .....	296
H.4	Choix de l'exposant $m$ .....	297
H.4.1	Généralités .....	297
H.4.2	Déduction de l'exposant $m$ pour la tension de choc de manœuvre .....	297
H.4.3	Déduction de l'exposant $m$ pour la tension de choc de manœuvre critique .....	300
Annexe I (informative) Méthode d'évaluation de la forme de la surtension de foudre non normalisée pour les tensions et surtensions représentatives .....		303
I.1	Remarques générales .....	303
I.2	Forme de surtension de foudre .....	303
I.3	Méthode d'évaluation pour les GIS.....	303
I.3.1	Expériences.....	303
I.3.2	Évaluation de la forme de surtension .....	304
I.4	Méthode d'évaluation pour les transformateurs .....	304
I.4.1	Expériences.....	304
I.4.2	Évaluation de la forme de surtension .....	305
Annexe J (informative) Coordination de l'isolement pour les surtensions à front très rapide dans les postes UHT .....		311
J.1	Généralités .....	311
J.2	Influence de la conception du sectionneur .....	311
J.3	Coordination de l'isolement vis-à-vis des surtensions à front très rapide .....	312
Bibliographie.....		315
Figure 1 – Plages de valeurs à 2 % des surtensions à front lent côté aval dues à l'enclenchement ou au réenclenchement de ligne .....		182
Figure 2 – Rapport entre les valeurs à 2 % des surtensions à front lent entre phases et phase-terre .....		183

Figure 3 – Schéma du raccordement d'un parafoudre à l'objet protégé .....	190
Figure 4 – Probabilité de décharge disruptive d'une isolation autorégénératrice sur une échelle linéaire .....	199
Figure 5 – Probabilité de décharge disruptive d'une isolation autorégénératrice sur une échelle gaussienne .....	199
Figure 6 – Évaluation du facteur de coordination déterministe $K_{cd}$ .....	200
Figure 7 – Évaluation du risque de défaillance .....	201
Figure 8 – Risque de défaillance de l'isolation externe pour les surtensions à front lent en fonction du facteur de coordination statistique $K_{cs}$ .....	203
Figure 9 – Relation entre l'exposant $m$ et la tension de coordination de tenue de choc de manœuvre .....	206
Figure 10 – Probabilité $P$ qu'un matériel réussisse l'essai en fonction de la différence $K$ entre la tension de tenue au choc réelle et la tension de tenue au choc assignée .....	212
Figure 11 – Exemple de disposition schématique de poste utilisé pour la localisation des contraintes .....	216
Figure A.1 – Facteur de défaut à la terre $k$ en fonction de $X_0/X_1$ lorsque $R_1/X_1 = R = 0$ .....	221
Figure A.2 – Relation entre $R_0/X_1$ et $X_0/X_1$ pour des valeurs constantes du facteur de défaut à la terre $k$ lorsque $R_1 = 0$ .....	221
Figure A.3 – Relation entre $R_0/X_1$ et $X_0/X_1$ pour des valeurs constantes du facteur de défaut à la terre $k$ lorsque $R_1 = 0,5 X_1$ .....	222
Figure A.4 – Relation entre $R_0/X_1$ et $X_0/X_1$ pour des valeurs constantes du facteur de défaut à la terre $k$ lorsque $R_1 = X_1$ .....	222
Figure A.5 – Relation entre $R_0/X_1$ et $X_0/X_1$ pour des valeurs constantes du facteur de défaut à la terre $k$ lorsque $R_1 = 2X_1$ .....	223
Figure B.1 – Graphique de conversion donnant la réduction de la tension de tenue due à la mise en parallèle des configurations d'isolation .....	229
Figure C.1 – Exemple de courbes de surtensions entre phases à deux variables avec densité de probabilité constante et des tangentes donnant les valeurs 2 % correspondantes .....	236
Figure C.2 – Principe de détermination de la surtension représentative entre phases $U_{pre}$ .....	237
Figure C.3 – Configuration schématique de l'isolation entre phases et phase-terre .....	238
Figure C.4 – Description de la tension de contournement 50 % de choc de manœuvre d'une isolation entre phases et phase-terre .....	238
Figure C.5 – Angle d'inclinaison de la caractéristique de l'isolation entre phases dans la plage "b" en fonction du rapport de la distance entre phases $D$ à la hauteur au-dessus du sol $H_t$ .....	239
Figure D.1 – Capacités réparties des enroulements d'un transformateur et circuit équivalent décrivant les enroulements .....	245
Figure D.2 – Valeurs du facteur $J$ décrivant l'effet des connexions d'enroulement sur la transmission des surtensions par voie inductive .....	246
Figure H.1 – Principe de correction atmosphérique pendant l'essai d'un niveau d'isolement spécifié selon la procédure de l'IEC 60060-1 .....	289
Figure H.2 – Principale fonction relative à la correction atmosphérique de la coordination de l'isolement selon l'IEC 60071-1 .....	290
Figure H.3 – Comparaison de la correction atmosphérique $\delta \times k_h$ à la pression atmosphérique relative $p/p_0$ pour différentes stations météorologiques dans le monde .....	292
Figure H.4 – Écart entre le calcul de pression simplifié à l'aide de la fonction exponentielle du présent document et le calcul de la pression en fonction de la température de l'ISO 2533 .....	294



Figure H.5 – Principe de la correction d'altitude: diminution de la tension de tenue $U_{10}$ du matériel avec augmentation de l'altitude .....	295
Figure H.6 – Ensembles de courbes $m$ pour la tension de choc de manœuvre normalisée incluant les variations d'altitude pour chaque facteur d'intervalle .....	299
Figure H.7 – Exposant $m$ pour la tension de choc de manœuvre normalisée pour les facteurs d'intervalle choisis couvrant des altitudes jusqu'à 4 000 m .....	300
Figure H.8 – Ensembles de courbes $m$ pour la tension de choc de manœuvre critique incluant les variations d'altitude pour chaque facteur d'intervalle .....	301
Figure H.9 – Exposant $m$ pour la tension de choc de manœuvre critique pour les facteurs d'intervalle choisis couvrant des altitudes jusqu'à 4 000 m .....	301
Figure H.10 – Conformité des courbes $m$ de la Figure 9 à la détermination de l'exposant $m$ au moyen de la tension de choc de manœuvre critique pour les facteurs d'intervalle et altitude choisis .....	302
Figure I.1 – Exemples de formes de surtension de foudre .....	306
Figure I.2 – Exemple de caractéristiques d'isolation par rapport aux surtensions de foudre de la lame de gaz SF <sub>6</sub> (Forme E).....	307
Figure I.3– Calcul de la durée $T_d$ .....	307
Figure I.4 – Processus d'évaluation de forme pour un GIS et un transformateur.....	308
Figure I.5 – Application à la surtension de foudre d'un GIS .....	309
Figure I.6 – Exemple de caractéristiques d'isolation par rapport à la surtension de foudre de l'isolation entre spires (Forme C).....	309
Figure I.7 – Application à la surtension de foudre d'un transformateur .....	310
Figure J.1 – Coordination de l'isolement pour les surtensions à front très rapide .....	314
Tableau 1 – Facteurs de conversion d'essai pour la plage I, permettant de convertir les SIWV exigées en SDWV et en LIWV.....	209
Tableau 2 – Facteurs de conversion d'essai pour la plage II, permettant de convertir les SDWV exigées en SIWV.....	210
Tableau 3 – Sélectivité des procédures d'essai B et C de l'IEC 60060-1 .....	211
Tableau B.1 – Tension de claquage en fonction de la probabilité cumulative de contournement – Isolation unique et 100 isolations parallèles .....	227
Tableau E.1 – Constante d'atténuation par effet couronne $K_{CO}$ .....	248
Tableau E.2 – Facteur $A$ pour différents types de lignes aériennes .....	254
Tableau F.1– Facteurs d'intervalles $K$ typiques pour le claquage au choc de manœuvre phase-terre (selon [1] et [4]) .....	259
Tableau F.2 – Facteurs d'intervalle pour des géométries phase-phase typiques .....	260
Tableau G.1 – Résumé des tensions de tenue exigées minimales pour l'exemple en G.2.2.....	268
Tableau G.2 – Résumé des tensions de tenue exigées pour l'exemple en G.2.3 .....	270
Tableau G.3 – Valeurs relatives à la procédure de coordination de l'isolement pour l'exemple à l'Article G.4 .....	287
Tableau H.1 – Comparaison des expressions fonctionnelles de la Figure 9 aux paramètres choisis provenant des courbes $m$ avec choc de manœuvre critique .....	302
Tableau I.1 – Évaluation de la surtension de foudre dans le GIS du réseau UHT .....	307
Tableau I.2 – Évaluation de la surtension de foudre dans le transformateur d'un réseau 500 kV .....	310

# COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

## COORDINATION DE L'ISOLEMENT –

### Partie 2: Lignes directrices en matière d'application

#### AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale IEC 60071-2 a été établie par le Comité d'études 28 de l'IEC: Coordination de l'isolement.

Cette quatrième édition annule et remplace la troisième édition parue en 1996. Cette édition constitue une révision technique.

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

- a) l'annexe relative à la distance d'isolement dans l'air pour installation garantissant une tension de tenue aux chocs spécifiée est supprimée car cette annexe est déjà présente dans l'IEC 60071-1;
- b) 4.2 et 4.3 relatifs aux parafoudres ont été mis à jour;

- c) 4.3.5 relatif aux surtensions à front très rapide a été révisé. L'Annexe J relative à la coordination de l'isolement pour les surtensions à front très rapide dans les postes UHT a été ajoutée;
- d) l'Annexe H relative à la correction atmosphérique – correction de l'altitude a été ajoutée;
- e) l'Annexe I relative à la méthode d'évaluation de la forme de la surtension de foudre non normalisée a été ajoutée.

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

FDIS	Rapport de vote
28/255/FDIS	28/256/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 internationale.

Le présent document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

Il a le statut d'une norme horizontale conformément au Guide 108 de l'IEC.

Le comité a décidé que le contenu du présent document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives au document recherché. À cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

**IMPORTANT – Le logo "*colour inside*" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante couleur.**

## COORDINATION DE L'ISOLEMENT –

### Partie 2: Lignes directrices en matière d'application

#### 1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 60071 constitue des lignes directrices en matière d'application et concerne le choix des niveaux d'isolement des matériels ou des installations pour les réseaux triphasés. Elle a pour objet de donner des recommandations pour la détermination des tensions de tenue assignées pour les plages I et II de l'IEC 60071-1 et de justifier l'association de ces valeurs assignées avec les valeurs normalisées des tensions les plus élevées pour le matériel.

Cette association ne couvre que les besoins de la coordination de l'isolement. Les exigences relatives à la sécurité des personnes ne sont pas traitées dans le présent document.

Le présent document traite des réseaux triphasés de tension nominale supérieure à 1 kV. Les valeurs déduites ou qui y sont proposées ne sont généralement applicables qu'à ces seuls réseaux. Cependant, les principes présentés sont également valables pour les réseaux biphasés ou monophasés.

Le présent document traite de l'isolement phase-terre, entre phases et longitudinal.

Le présent document n'est pas destiné à détailler les essais individuels de série, qui doivent être spécifiés par les comités de produits concernés.

Le contenu du présent document suit strictement l'organigramme de la procédure de coordination de l'isolement présenté à la Figure 1 de l'IEC 60071-1:2006. Les Articles 4 à 7 correspondent à chacun des rectangles de l'organigramme et donnent des informations détaillées sur les principes de la procédure de coordination de l'isolement qui conduit à déterminer les niveaux de tenue spécifiés.

Ce document insiste sur la nécessité de prendre en considération, dès le départ, toutes les origines, toutes les classes et tous les types de contraintes de tension en service quelle que soit la plage de la tension la plus élevée pour le matériel. Ce n'est qu'à la fin de la procédure, au moment de sélectionner les tensions de tenue normalisées, que le principe de couvrir une contrainte de tension particulière en service par une tension de tenue normalisée est appliqué. De même, le document fait référence, à cette étape finale, aux corrélations établies dans l'IEC 60071-1 entre les niveaux d'isolement normalisés et la tension la plus élevée pour le matériel.

Les annexes contiennent des exemples et des informations détaillées qui expliquent ou corroborent les principes décrits dans le texte principal, et les techniques analytiques de base qui sont utilisées.

#### 2 Références normatives

Les documents suivants cités dans le texte constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

IEC 60060-1:2010, *Techniques des essais à haute tension – Partie 1: Définitions et exigences générales*

IEC 60071-1:2006, *Coordination de l'isolement – Partie 1: Définitions, principes et règles*  
IEC 60071-1:2006/AMD1:2010

IEC 60505:2011, *Évaluation et qualification des systèmes d'isolation électrique*

IEC TS 60815-1, *Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions– Part 1: Definitions, information and general principles (disponible en anglais seulement)*

ISO 2533:1975, *Atmosphère type*