

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Surge arresters –
Part 5: Selection and application recommendations**

**Parafoudres –
Partie 5: Recommandations pour le choix et l'utilisation**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 29.120.50; 29.240.10

ISBN 978-2-8322-4488-3

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

CONTENTS

FOREWORD.....	6
1 Scope.....	8
2 Normative references	8
3 Terms and definitions	9
4 General principles for the application of surge arresters	18
5 Surge arrester fundamentals and applications issues	19
5.1 Evolution of surge protection equipment.....	19
5.2 Different types and designs and their electrical and mechanical characteristics	20
5.2.1 General	20
5.2.2 Metal-oxide arresters without gaps according to IEC 60099-4.....	20
5.2.3 Metal-oxide surge arresters with internal series gaps according to IEC 60099-6	30
5.2.4 Externally gapped line arresters (EGLA) according to IEC 60099-8:2011	32
5.3 Installation considerations for arresters	35
5.3.1 High-voltage station arresters	35
5.3.2 Distribution arresters	43
5.3.3 Line surge arresters (LSA).....	46
6 Insulation coordination and surge arrester applications	47
6.1 General	47
6.2 Insulation coordination overview.....	47
6.2.1 General	47
6.2.2 IEC insulation coordination procedure	48
6.2.3 Overvoltages	48
6.2.4 Line insulation coordination: Arrester Application Practices	53
6.2.5 Substation insulation coordination: Arrester application practices	58
6.2.6 Insulation coordination studies	62
6.3 Selection of arresters	63
6.3.1 General	63
6.3.2 General procedure for the selection of surge arresters	65
6.3.3 Selection of line surge arresters, LSA.....	75
6.3.4 Selection of arresters for cable protection.....	84
6.3.5 Selection of arresters for distribution systems – special attention	86
6.3.6 Selection of UHV arresters	88
6.4 Normal and abnormal service conditions	89
6.4.1 Normal service condition	89
6.4.2 Abnormal service conditions	89
7 Surge arresters for special applications	92
7.1 Surge arresters for transformer neutrals	92
7.1.1 General	92
7.1.2 Surge arresters for fully insulated transformer neutrals.....	92
7.1.3 Surge arresters for neutrals of transformers with non-uniform insulation.....	93
7.2 Surge arresters between phases	93
7.3 Surge arresters for rotating machines.....	94
7.4 Surge arresters in parallel	95

7.4.1	General	95
7.4.2	Combining different designs of arresters.....	96
7.5	Surge arresters for capacitor switching.....	96
7.6	Surge arresters for series capacitor banks	98
8	Asset management of surge arresters	98
8.1	General	98
8.2	Managing surge arresters in a power grid.....	98
8.2.1	Asset database.....	98
8.2.2	Technical specifications.....	98
8.2.3	Strategic spares	99
8.2.4	Transportation and storage.....	99
8.2.5	Commissioning	99
8.3	Maintenance.....	99
8.3.1	General	99
8.3.2	Polluted arrester housing.....	100
8.3.3	Coating of arrester housings.....	100
8.3.4	Inspection of disconnectors on surge arresters	101
8.3.5	Line surge arresters	101
8.4	Performance and diagnostic tools.....	101
8.5	End of life.....	101
8.5.1	General	101
8.5.2	GIS arresters	101
8.6	Disposal and recycling	102
Annex A (informative)	Determination of temporary overvoltages due to earth faults	103
Annex B (informative)	Current practice	107
Annex C (informative)	Arrester modelling techniques for studies involving insulation coordination and energy requirements	108
Annex D (informative)	Diagnostic indicators of metal-oxide surge arresters in service.....	111
Annex E (informative)	Typical data needed from arrester manufacturers for proper selection of surge arresters.....	125
Annex F (informative)	Typical maximum residual voltages for metal-oxide arresters without gaps according to IEC 60099-4	126
Annex G (informative)	Steepness reduction of incoming surge with additional line terminal surge capacitance	127
Annex H (informative)	End of life and replacement of old gapped SiC-arresters	136
Bibliography.....		141
Figure 1	– GIS arresters of three mechanical/one electrical column (middle) and one column (left) design and current path of the three mechanical/one electrical column design (right)	25
Figure 2	– Typical deadfront arrester	26
Figure 3	– Internally gapped metal-oxide surge arrester designs.....	30
Figure 4	– Components of an EGLA acc. to IEC 60099-8	32
Figure 5	– Examples of UHV and HV arresters with grading and corona rings.....	36
Figure 6	– Same type of arrester mounted on a pedestal (left), suspended from an earthed steel structure (middle) or suspended from a line conductor (right.....	37
Figure 7	– Typical arrangement of a 420-kV arrester.....	39
Figure 8	– Installations without earth-mat (distribution systems)	40

Figure 9 – Installations with earth-mat (high-voltage substations)	40
Figure 10 – Definition of mechanical loads according to IEC 60099-4	42
Figure 11 – Distribution arrester with disconnector and insulating bracket.....	44
Figure 12 – Examples of good and poor earthing principles for distribution arresters	45
Figure 13 – Typical voltages and duration example for an efficiently earthed system	49
Figure 14 – Typical phase-to-earth overvoltages encountered in power systems.....	50
Figure 15 – Arrester Voltage-Current Characteristics	51
Figure 16 – Direct strike to a phase conductor with LSA	55
Figure 17 – Strike to a shield wire or tower with LSA	56
Figure 18 – Typical procedure for a surge arrester insulation coordination study	64
Figure 19 – Flow diagrams for standard selection of surge arrester	67
Figure 20 – Examples of arrester TOV capability	68
Figure 21 – Flow diagram for the selection of NGLA	77
Figure 22 – Flow diagram for the selection of EGLA.....	81
Figure 23 – Common neutral configurations	87
Figure 24 – Typical configurations for arresters connected phase-to-phase and phase-to-ground	94
Figure A.1 – Earth fault factor k on a base of X_0/X_1 , for $R_1/X_1 = R_1 = 0$	104
Figure A.2 – Relationship between R_0/X_1 and X_0/X_1 for constant values of earth fault factor k where $R_1 = 0$	104
Figure A.3 – Relationship between R_0/X_1 and X_0/X_1 for constant values of earth fault factor k where $R_1 = 0,5 X_1$	105
Figure A.4 – Relationship between R_0/X_1 and X_0/X_1 for constant values of earth fault factor k where $R_1 = X_1$	105
Figure A.5 – Relationship between R_0/X_1 and X_0/X_1 for constant values of earth fault factor k where $R_1 = 2X_1$	106
Figure C.1 – Schematic sketch of a typical arrester installation	108
Figure C.2 – Increase in residual voltage as function of virtual current front time	109
Figure C.3 – Arrester model for insulation coordination studies – fast- front overvoltages and preliminary calculation (Option 1)	110
Figure C.4 – Arrester model for insulation coordination studies – fast- front overvoltages and preliminary calculation (Option 2)	110
Figure C.5 – Arrester model for insulation coordination studies – slow-front overvoltages	110
Figure D.1 – Typical leakage current of a non-linear metal-oxide resistor in laboratory conditions	113
Figure D.2 – Typical leakage currents of arresters in service conditions	114
Figure D.3 – Typical voltage-current characteristics for non-linear metal-oxide resistors.....	115
Figure D.4 – Typical normalized voltage dependence at +20 °C	115
Figure D.5 – Typical normalized temperature dependence at U_c	116
Figure D.6 – Influence on total leakage current by increase in resistive leakage current	117
Figure D.7 – Measured voltage and leakage current and calculated resistive and capacitive currents ($V = 6,3$ kV r.m.s)	119
Figure D.8 – Remaining current after compensation by capacitive current at U_c	120

Figure D.9 – Error in the evaluation of the leakage current third harmonic for different phase angles of system voltage third harmonic, considering various capacitances and voltage-current characteristics of non-linear metal-oxide resistors	121
Figure D.10 – Typical information for conversion to "standard" operating voltage conditions	123
Figure D.11 – Typical information for conversion to "standard" ambient temperature conditions	123
Figure G.1 – Surge voltage waveforms at various distances from strike location (0,0 km) due to corona	128
Figure G.2 – Case 1: EMTP Model: Thevenin equivalent source, line (Z,c) & station bus (Z,c) & Cap(C_S)	131
Figure G.3 – Case 2: Capacitor Voltage charge via line Z: $u(t) = 2 \times U_S \times (1 - \exp[-t/(Z \times C)])$	132
Figure G.4 – EMTP model	133
Figure G.5 – Simulated surge voltages at the line-station bus interface	133
Figure G.6 – Simulated Surge Voltages at the Transformer	134
Figure G.7 – EMTP Model	134
Figure G.8 – Simulated surge voltages at the line-station bus interface	135
Figure G.9 – Simulated surge voltages at the transformer	135
Figure H.1 – Internal SiC-arrester stack	137
Table 1 – Minimum mechanical requirements (for porcelain-housed arresters)	42
Table 2 – Arrester classification for surge arresters	69
Table 3 – Definition of factor A in formulas (15) to (17) for various overhead lines	74
Table 4 – Examples for protective zones calculated by formula (10) for open-air substations	74
Table 5 – Example of the condition for calculating lightning current duty of EGLA in 77 kV transmission lines	83
Table 6 – Probability of insulator flashover in Formula (19)	84
Table D.1 – Summary of diagnostic methods	124
Table D.2 – Properties of on-site leakage current measurement methods	124
Table E.1 – Arrester data needed for the selection of surge arresters	125
Table F.1 – Residual voltages for 20 000 A and 10 000 A arresters in per unit of rated voltage	126
Table F.2 – Residual voltages for 5 000 A, 2 500 A and 1 500 A arresters in per unit of rated voltage	126
Table G.1 – C_S impact on steepness ratio f_S and steepness S_n	130
Table G.2 – Change in coordination withstand voltage, U_{CW} ,	130

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

SURGE ARRESTERS –**Part 5: Selection and application recommendations****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 60099-5 has been prepared by committee 37: Surge arresters.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 1996 and its amendment 1 published in 1999. This edition constitutes a technical revision.

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

- a) Expanded discussion of different types of arresters and their application, including additions of discussion on:
 - transmission of line arresters
 - arresters for shunt capacitor switching
 - arresters for series capacitor protection
 - application of arresters between phases
 - connecting arresters in parallel

b) Addition of section on asset management, including:

- managing surge arresters in the power grid
- arrester maintenance
- significantly expanded discussion of performance diagnostic tools
- end-of-life considerations

c) New annexes dealing with:

- arrester modelling for system studies
- example of data needed for specifying arresters

This bilingual version (2017-06) corresponds to the English version, published in 2013-05.

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

FDIS	Report on voting
37/405/FDIS	37/408/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.

The French version of this standard has not been voted upon.

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

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the stability 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.

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.

SURGE ARRESTERS –

Part 5: Selection and application recommendations

1 Scope

This part of IEC 60099 is not a mandatory standard but provides information, guidance, and recommendations for the selection and application of surge arresters to be used in three-phase systems with nominal voltages above 1 kV. It applies to gapless metal-oxide surge arresters as defined in IEC 60099-4, to surge arresters containing both series and parallel gapped structure – rated 52 kV and less as defined in IEC 60099-6 and metal-oxide surge arresters with external series gap for overhead transmission and distribution lines (EGLA) as defined in IEC 60099-8. In Annex H, some aspects regarding the old type of SiC gapped arresters are discussed.

The principle of insulation coordination for an electricity system is given in IEC 60071 and IEC 60071-2 standards. Basically the insulation coordination process is a risk management aiming to ensure the safe, reliable and economic design and operation of high voltage electricity networks and substations. The use of surge arrester helps to achieve a system and equipment insulation level and still maintaining an acceptable risk and the best economic of scale.

The introduction of analytical modelling and simulation of power system transients further optimise the equipment insulation level. The selection of surge arresters has become more and more important in the power system design and operation. It is worthwhile to note that the reliability of the power system and equipment is dependent on the safety margin adopted by the user in the design and selection of the equipments and surge arresters.

Surge arrester residual voltage is a major parameter of which most users have paid a lot of attention to when selecting the type and rating. The typical maximum surge arresters residual voltage are given in Annex F. It is likely, however, that for some systems, or in some countries, the system reliability requirements and design are sufficiently uniform that the recommendations of the present standard may lead to the definition of narrow ranges of arresters. The user of surge arresters will, in that case, not be required to apply the whole process introduced here to any new installation and the selection of characteristics resulting from prior practice may be continued.

2 Normative references

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

IEC 60071-1:2006, *Insulation coordination – Part 1: Definitions, principles and rules*

IEC 60071-2:1996, *Insulation coordination – Part 2: Application guide*

IEC TR 60071-4, *Insulation coordination – Part 4: Computational guide to insulation coordination and modelling of electrical networks*

IEC 60099-4:2009, *Surge arresters – Part 4: Metal-oxide surge arresters without gaps for a.c. systems*

IEC 60099-6:2002, *Surge arresters – Part 6: Surge arresters containing both series and parallel gapped structures – Rated 52 kV and less*

IEC 60099-8:2011, *Surge arresters – Part 8: Metal-oxide surge arresters with external series gap (EGLA) for overhead transmission and distribution lines of a.c. systems above 1 kV*

IEC 60507, *Artificial pollution tests on high-voltage insulators to be used on a.c. 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*

IEC TS 60815-2, *Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions – Part 2: Ceramic and glass insulators for a.c. systems*

IEC TS 60815-3, *Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions – Part 3: Polymer insulators for a.c. systems*

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

IEC 62271-200, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 200: AC metal-enclosed switchgear and controlgear for rated voltages above 1 kV and up to and including 52 kV*

IEC 62271-203, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 203: Gas-insulated metal-enclosed switchgear for rated voltages above 52 kV*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	151
1 Domaine d'application	153
2 Références normatives	153
3 Termes et définitions	154
4 Principes généraux d'utilisation des parafoudres	164
5 Principes de base des parafoudres et questions liées à leur utilisation	165
5.1 Évolution des dispositifs de protection contre les surtensions	165
5.2 Différents types et modèles de parafoudres et leurs caractéristiques électriques et mécaniques	166
5.2.1 Généralités	166
5.2.2 Parafoudres à oxyde métallique sans éclateur conformément à l'IEC 60099-4	167
5.2.3 Parafoudres à oxyde métallique avec éclateurs intérieurs en série conformément à l'IEC 60099-6	178
5.2.4 Parafoudres de ligne avec éclateur extérieur (EGLA) conformes à l'IEC 60099-8:2011	180
5.3 Considérations relatives à l'installation des parafoudres	184
5.3.1 Parafoudres à poste haute tension	184
5.3.2 Parafoudres de distribution	194
5.3.3 Parafoudres de ligne (LSA)	197
6 Coordination de l'isolement et utilisations de parafoudres	199
6.1 Généralités	199
6.2 Présentation de la coordination de l'isolement	199
6.2.1 Généralités	199
6.2.2 Procédure IEC de coordination de l'isolement	200
6.2.3 Surtensions	200
6.2.4 Coordination de l'isolement des lignes: Méthodes d'utilisation des parafoudres	207
6.2.5 Coordination de l'isolement des postes: Méthodes d'utilisation des parafoudres	213
6.2.6 Études sur la coordination de l'isolement	217
6.3 Choix des parafoudres	218
6.3.1 Généralités	218
6.3.2 Procédure générale de sélection des parafoudres	220
6.3.3 Choix des parafoudres de ligne (LSA)	234
6.3.4 Choix des parafoudres pour la protection des câbles	245
6.3.5 Choix des parafoudres pour les réseaux de distribution – attention particulière	247
6.3.6 Choix des parafoudres THT	249
6.4 Conditions normales et anormales de service	251
6.4.1 Conditions normales de service	251
6.4.2 Conditions anormales de service	251
7 Parafoudres destinés à des utilisations spéciales	254
7.1 Parafoudres pour neutres de transformateurs	254
7.1.1 Généralités	254
7.1.2 Parafoudres pour neutres de transformateurs à pleine isolation	254
7.1.3 Parafoudres pour neutres de transformateurs à isolation non uniforme	255
7.2 Parafoudres entre phases	255

7.3	Parafoudres pour machines tournantes	257
7.4	Parafoudres en parallèle	257
7.4.1	Généralités	257
7.4.2	Combinaison de différentes conceptions de parafoudres	259
7.5	Parafoudres pour manœuvre des condensateurs	259
7.6	Parafoudres pour batteries de condensateurs en série	260
8	Gestion des biens associés aux parafoudres	261
8.1	Généralités	261
8.2	Gestion des parafoudres dans un réseau électrique	261
8.2.1	Base de données des biens	261
8.2.2	Spécifications techniques	261
8.2.3	Pièces de rechange stratégiques	261
8.2.4	Transport et stockage	262
8.2.5	Mise en service	262
8.3	Maintenance	262
8.3.1	Généralités	262
8.3.2	Enveloppe de parafoudre polluée	263
8.3.3	Revêtement des enveloppes de parafoudres	263
8.3.4	Inspection des déconnecteurs installés sur les parafoudres	264
8.3.5	Parafoudres de ligne	264
8.4	Performances et outils de diagnostic	264
8.5	Fin de vie	264
8.5.1	Généralités	264
8.5.2	Parafoudres GIS	265
8.6	Mise au rebut et recyclage	265
Annexe A (informative) Détermination des surtensions temporaires dues aux défauts à la terre		266
Annexe B (informative) Pratique courante		270
Annexe C (informative) Techniques de modélisation des parafoudres pour études portant sur la coordination de l'isolement et les exigences énergétiques		271
Annexe D (informative) Indicateurs de diagnostic de parafoudres à oxyde métallique sous tension		276
Annexe E (informative) Données typiques devant être nécessairement fournies par les constructeurs pour le choix approprié des parafoudres		294
Annexe F (informative) Tensions résiduelles maximales typiques pour les parafoudres à oxyde métallique sans éclateur conformément à l'IEC 60099-4		295
Annexe G (informative) Réduction de la raideur de l'onde incidente avec capacité supplémentaire d'onde aux bornes de ligne		296
Annexe H (informative) Fin de vie et remplacement des anciens parafoudres SiC avec éclateur		306
Bibliographie		312
Figure 1 – Parafoudres GIS de type trois colonnes mécaniques/une colonne électrique (milieu) et une colonne (gauche) et trajet de courant du modèle à trois colonnes mécaniques/une colonne électrique (droite)		173
Figure 2 – Parafoudre pour prises typique		174
Figure 3 – Modèles de parafoudre à oxyde métallique avec éclateur intérieur		179
Figure 4 – Composants d'un EGLA conformément à l'IEC 60099-8		181
Figure 5 – Exemples de parafoudres THT et HT avec anneaux de garde et couronne		186

Figure 6 – Même type de parafoudre monté sur un socle (gauche), suspendu à une structure en acier mise à la terre (milieu) ou suspendu à un conducteur de ligne (droite).....	187
Figure 7 – Montage type d'un parafoudre de 420 kV	189
Figure 8 – Installations sans mât de mise à la terre (réseaux de distribution).....	190
Figure 9 – Installations avec mât de mise à la terre (postes haute tension).....	191
Figure 10 – Définition des charges mécaniques conformément à l'IEC 60099-4	193
Figure 11 – Parafoudre de distribution avec déconnecteur et potence d'isolation	195
Figure 12 – Exemples de principes de mise à la terre appropriés et inappropriés des parafoudres de distribution	196
Figure 13 – Tensions typiques et exemple de durée pour un système efficacement mis à la terre	201
Figure 14 – Surtensions typiques entre phase et terre observées dans les réseaux de puissance	203
Figure 15 – Caractéristiques tension-courant des parafoudres	204
Figure 16 – Choc de foudre direct sur un conducteur de phase avec parafoudre de ligne	209
Figure 17 – Choc de foudre sur un câble de garde ou un pylône avec parafoudre de ligne	210
Figure 18 – Procédure typique d'une étude sur la coordination de l'isolement des parafoudres	219
Figure 19 – Organigrammes pour le choix normal de parafoudres	225
Figure 20 – Exemples de capacité TOV d'un parafoudre	226
Figure 21 – Organigramme pour le choix des parafoudres de ligne sans éclateur	237
Figure 22 – Organigramme pour le choix des parafoudres de ligne avec éclateur extérieur	242
Figure 23 – Configurations courantes de neutre	248
Figure 24 – Configurations types pour les parafoudres entre phases et les parafoudres phase-terre	256
Figure A.1 – Facteur de défaut à la terre k en fonction de X_0/X_1 , pour $R_1/X_1 = R_1 = 0$	267
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 $R_1 = 0$	267
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 $R_1 = 0,5 X_1$	268
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 $R_1 = X_1$	268
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 $R_1 = 2 X_1$	269
Figure C.1 – Croquis schématique d'une installation de parafoudre typique	272
Figure C.2 – Augmentation de la tension résiduelle en fonction d'une durée conventionnelle du front du courant	273
Figure C.3 – Modèle de parafoudre pour les études portant sur la coordination de l'isolement – surtensions à front rapide et calcul préliminaire (Option 1)	274
Figure C.4 – Modèle de parafoudre pour les études portant sur la coordination de l'isolement – surtensions à front rapide et calcul préliminaire (Option 2)	274
Figure C.5 – Modèle de parafoudre pour les études portant sur la coordination de l'isolement – surtensions à front lent.....	275
Figure D.1 – Courant de fuite typique d'une résistance variable à oxyde métallique dans des conditions de laboratoire	279

Figure D.2 – Courants de fuite typiques des parafoudres dans des conditions de service	279
Figure D.3 – Caractéristiques tension-courant typiques de résistances variables à oxyde métallique	280
Figure D.4 – Dépendance à la tension normalisée typique à une température de +20 °C	281
Figure D.5 – Dépendance à la température normalisée typique à la tension U_C	282
Figure D.6 – Influence sur le courant de fuite total par l'augmentation du courant de fuite résistif	284
Figure D.7 – Mesure de la tension et du courant de fuite, et calcul des courants résistif et capacitif ($V = 6,3$ kV efficace)	286
Figure D.8 – Courant résiduel après compensation par courant capacitif à U_C	287
Figure D.9 – Erreur d'évaluation du troisième harmonique du courant de fuite pour les différents angles de phase du troisième harmonique de tension de réseau, compte tenu des diverses capacités et caractéristiques de tension-courant des résistances variables à oxyde métallique	289
Figure D.10 – Informations typiques pour la conversion dans des conditions "normales" de tension de régime	291
Figure D.11 – Informations typiques pour la conversion dans des conditions "normales" de température ambiante	291
Figure G.1 – Formes d'onde des surtensions à différentes distances de l'emplacement des chocs de foudre (0,0 km) dues à l'effet couronne	297
Figure G.2 – Cas 1: Modèle EMTP: Source équivalente Thevenin, ligne (Z, c) & bus de poste (Z, c) & Cap(C_S)	300
Figure G.3 – Cas 2: Charge de tension du ou des condensateurs via la ligne Z : $u(t) = 2 \times U_S \times (1 - \exp[-t/(Z \times C)])$	301
Figure G.4 – Modèle EMTP	302
Figure G.5 – Simulation des surtensions à l'interface de bus ligne-poste	302
Figure G.6 – Simulation des surtensions au transformateur	303
Figure G.7 – Modèle EMTP	304
Figure G.8 – Simulation des surtensions à l'interface de bus ligne-poste	304
Figure G.9 – Simulation des surtensions au transformateur	305
Figure H.1 – Colonne interne de parafoudres SiC	307
Tableau 1 – Exigences mécaniques minimales (pour les parafoudres à enveloppe en porcelaine)	192
Tableau 2 – Classification des parafoudres	227
Tableau 3 – Définition du facteur A des formules (15) à (17) pour différentes lignes aériennes	233
Tableau 4 – Exemples pour les zones de protection calculées par la formule (17) pour des postes ouverts	233
Tableau 5 – Exemple des conditions de calcul du service de courant de foudre des parafoudres de ligne avec éclateur extérieur sur des lignes de transmission avec une tension de 77 kV	243
Tableau 6 – Probabilité de contournement de l'isolateur dans la formule (19)	245
Tableau D.1 – Résumé des méthodes de diagnostic	292
Tableau D.2 – Propriétés des méthodes de mesure sur site du courant de fuite	293
Tableau E.1 – Données relatives aux parafoudres nécessaires pour le choix des parafoudres	294

Tableau F.1 – Tensions résiduelles pour des parafoudres de 20 000 A et 10 000 A par unité de tension assignée	295
Tableau F.2 – Tensions résiduelles pour des parafoudres de 5 000 A, 2 500 A et 1 500 A par unité de tension assignée	295
Tableau G.1 – Influence de C_s sur le rapport de raideur f_s et la raideur S_n	299
Tableau G.2 – Variation de la tension de tenue de coordination U_{cw} ,	300

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

PARAFOUDRES –

Partie 5: Recommandations pour le choix et l'utilisation

AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale IEC 60099-5 a été établie par le comité d'études 37 de l'IEC: Parafoudres.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 1996, et son amendement 1 paru en 1999. Cette édition constitue une révision technique.

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

- a) Présentation élargie des différents types de parafoudres et de leur utilisation, y compris des éléments de présentation supplémentaires concernant:
 - la transmission des parafoudres de ligne
 - les parafoudres pour manœuvre de condensateurs dérivés

- les parafoudres pour la protection des condensateurs série
 - l'utilisation de parafoudres entre phases
 - la connexion de parafoudres en parallèle
- b) Ajout d'une section relative à la gestion des biens, y compris:
- la gestion des parafoudres dans un réseau électrique
 - la maintenance des parafoudres
 - une présentation très élargie des outils de diagnostic des performances
 - les considérations relatives à la fin de vie
- c) Nouvelles annexes portant sur:
- la modélisation des parafoudres pour les études de réseau
 - un exemple de données nécessaires pour la spécification des parafoudres

La présente version bilingue (2017-06) correspond à la version anglaise monolingue publiée en 2013-05.

Le texte anglais de cette norme est issu des documents 37/405/FDIS et 37/408/RVD.

Le rapport de vote 37/408/RVD donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

La version française de cette norme n'a pas été soumise au vote.

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

Le comité a décidé que le contenu de cette publication 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 à la publication recherchée. À cette date, la publication sera

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

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.

PARAFOUDRES –

Partie 5: Recommandations pour le choix et l'utilisation

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 60099 n'est pas une norme obligatoire, mais comporte des informations, un guide et autres recommandations pour le choix et l'utilisation des parafoudres à utiliser sur des réseaux triphasés de tensions nominales supérieures à 1 kV. Elle concerne les parafoudres à oxyde métallique sans éclateur définis dans l'IEC 60099-4, les parafoudres contenant des structures avec éclateur en série et en parallèle – de tension assignée inférieure ou égale à 52 kV tels que définis dans l'IEC 60099-6 et les parafoudres à oxyde métallique à éclateur extérieur en série pour les lignes aériennes de transmission ou de distribution (EGLA) tels que définis dans l'IEC 60099-8. L'Annexe H traite de quelques aspects concernant les anciens parafoudres au carbure de silicium (SiC) avec éclateur.

Le principe de coordination de l'isolement d'un réseau électrique est indiqué dans les normes IEC 60071-1 et IEC 60071-2. Le processus de coordination de l'isolement consiste fondamentalement en un processus de gestion des risques visant à assurer la conception et le fonctionnement en toute sécurité, de manière fiable et rentable des réseaux et postes électriques à haute tension. L'utilisation d'un parafoudre permet d'obtenir un certain niveau d'isolement des réseaux et matériels tout en maintenant un risque acceptable et la meilleure économie d'échelle qui soit.

L'introduction d'une modélisation analytique et d'une simulation des transitoires de réseaux de puissance optimise davantage le niveau d'isolement des matériels. Le choix des parafoudres est devenu un élément de plus en plus important dans la conception et l'exploitation des réseaux de puissance. Il est intéressant de noter que la fiabilité du réseau de puissance et des équipements d'alimentation dépend de la marge de sécurité adoptée par l'utilisateur dans la conception et le choix des matériels et des parafoudres.

La tension résiduelle des parafoudres représente un paramètre essentiel dont la plupart des utilisateurs tiennent dûment compte lors du choix du type et des caractéristiques assignées d'un parafoudre. La tension résiduelle maximale typique des parafoudres est donnée dans l'Annexe F. Il est probable, cependant, que pour certains réseaux, ou pour certains pays, les exigences de fiabilité et la conception des réseaux sont assez uniformes pour que les recommandations de la présente norme puissent se traduire par la définition de gammes limitées de parafoudres. L'utilisateur de parafoudres n'est alors pas tenu de reprendre pour chaque nouvelle installation toute la démarche exposée dans le présent document et le choix des caractéristiques relevant de la pratique antérieure peut perdurer.

2 Références normatives

Les documents ci-après, dans leur intégralité ou non, sont des références normatives indispensables à 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).

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

IEC 60071-2:1996, *Coordination de l'isolement – Partie 2: Guide d'application*

IEC TR 60071-4, *Insulation coordination – Part 4: Computational guide to insulation coordination and modelling of electrical networks* (disponible en anglais seulement)

IEC 60099-4:2009, *Parafoudres – Partie 4: Parafoudres à oxyde métallique sans éclateur pour réseaux à courant alternatif*

IEC 60099-6:2002, *Surge arresters – Part 6: Surge arresters containing both series and parallel gapped structures – Rated 52 kV and less* (disponible en anglais seulement)

IEC 60099-8:2011, *Surge arresters – Part 8: Metal-oxide surge arresters with external series gap (EGLA) for overhead transmission and distribution lines of a.c. systems above 1 kV* (disponible en anglais seulement)

IEC 60507, *Essais sous pollution artificielle des isolateurs pour haute tension destinés aux réseaux à courant alternatif*

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)

IEC TS 60815-2, *Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions – Part 2: Ceramic and glass insulators for a.c. systems* (disponible en anglais seulement)

IEC TS 60815-3, *Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions – Part 3: Polymer insulators for a.c. systems* (disponible en anglais seulement)

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

IEC 62271-200, *Appareillage à haute tension – Partie 200: Appareillage à haute tension – Partie 200: Appareillage sous enveloppe métallique pour courant alternatif de tensions assignées supérieures à 1 kV et inférieures ou égales à 52 kV*

IEC 62271-203, *Appareillage à haute tension – Partie 203: Appareillage sous enveloppe métallique à isolation gazeuse de tensions assignées supérieures à 52 kV*