

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Insulation co-ordination –
Part 5: Procedures for high-voltage direct current (HVDC) converter stations**

**Coordination de l'isolement –
Partie 5: Procédures pour les stations de conversion à courant continu haute
tension (CCHT)**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE **XD**
CODE PRIX

ICS 29.080.30

ISBN 978-2-8322-1887-7

**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 |
| INTRODUCTION..... | 8 |
| 1 General | 9 |
| 1.1 Scope | 9 |
| 1.2 Additional background..... | 9 |
| 2 Normative references..... | 10 |
| 3 Terms and definitions..... | 10 |
| 4 Symbols and abbreviations | 16 |
| 4.1 General..... | 16 |
| 4.2 Subscripts..... | 16 |
| 4.3 Letter symbols..... | 16 |
| 4.4 Abbreviations | 17 |
| 5 Typical HVDC converter station schemes | 17 |
| 6 Principles of insulation co-ordination | 21 |
| 6.1 General..... | 21 |
| 6.2 Essential differences between a.c. and d.c. systems..... | 21 |
| 6.3 Insulation co-ordination procedure..... | 21 |
| 6.4 Comparison of withstand voltage selection in a.c. and d.c. systems | 22 |
| 7 Voltages and overvoltages in service..... | 24 |
| 7.1 Continuous operating voltages at various locations in the converter station | 24 |
| 7.2 Peak continuous operating voltage (PCOV) and crest continuous operating voltage (CCOV)..... | 28 |
| 7.3 Sources and types of overvoltages | 30 |
| 7.4 Temporary overvoltages | 31 |
| 7.4.1 General | 31 |
| 7.4.2 Temporary overvoltages on the a.c. side | 31 |
| 7.4.3 Temporary overvoltages on the d.c. side | 31 |
| 7.5 Slow-front overvoltages | 31 |
| 7.5.1 General | 31 |
| 7.5.2 Slow-front overvoltages on the a.c. side | 31 |
| 7.5.3 Slow-front overvoltages on the d.c. side | 32 |
| 7.6 Fast-front, very-fast-front and steep-front overvoltages..... | 33 |
| 8 Arrester characteristics and stresses..... | 34 |
| 8.1 Arrester characteristics | 34 |
| 8.2 Arrester specification..... | 35 |
| 8.3 Arrester stresses..... | 35 |
| 8.3.1 General | 35 |
| 8.3.2 AC bus arrester (A)..... | 36 |
| 8.3.3 AC filter arrester (FA)..... | 37 |
| 8.3.4 Transformer valve winding arresters (T)..... | 37 |
| 8.3.5 Valve arrester (V)..... | 37 |
| 8.3.6 Bridge arrester (B) | 40 |
| 8.3.7 Converter unit arrester (C) | 41 |
| 8.3.8 Mid-point d.c. bus arrester (M) | 41 |
| 8.3.9 Converter unit d.c. bus arrester (CB)..... | 42 |
| 8.3.10 DC bus and d.c. line/cable arrester (DB and DL/DC)..... | 42 |

| | | |
|--|--|----|
| 8.3.11 | Neutral bus arrester (E, EL, EM in Figure 3, EB, E1, EL, EM in Figure 1) | 42 |
| 8.3.12 | DC reactor arrester (DR) | 43 |
| 8.3.13 | DC filter arrester (FD) | 44 |
| 8.3.14 | Earth electrode station arrester | 44 |
| 8.4 | Protection strategy | 44 |
| 8.4.1 | General | 44 |
| 8.4.2 | Insulation directly protected by a single arrester | 44 |
| 8.4.3 | Insulation protected by more than one arrester in series | 45 |
| 8.4.4 | Valve side neutral point of transformers | 45 |
| 8.4.5 | Insulation between phase conductors of the converter transformer | 45 |
| 8.4.6 | Summary of protection strategy | 45 |
| 8.5 | Summary of events and stresses | 47 |
| 9 | Design procedure of insulation co-ordination | 49 |
| 9.1 | General | 49 |
| 9.2 | Arrester requirements | 49 |
| 9.3 | Characteristics of insulation | 51 |
| 9.4 | Representative overvoltages (U_{rp}) | 51 |
| 9.5 | Determination of the co-ordination withstand voltages (U_{CW}) | 52 |
| 9.6 | Determination of the required withstand voltages (U_{RW}) | 52 |
| 9.7 | Determination of the specified withstand voltage (U_W) | 54 |
| 10 | Study tools and system modelling | 54 |
| 10.1 | General | 54 |
| 10.2 | Study approach and tools | 54 |
| 10.3 | System details | 55 |
| 10.3.1 | Modelling and system representation | 55 |
| 10.3.2 | AC network and a.c. side of the HVDC converter station | 57 |
| 10.3.3 | DC overhead line/cable and earth electrode line details | 58 |
| 10.3.4 | DC side of an HVDC converter station details | 58 |
| 11 | Creepage distances | 59 |
| 11.1 | General | 59 |
| 11.2 | Base voltage for creepage distance | 59 |
| 11.3 | Creepage distance for outdoor insulation under d.c. voltage | 59 |
| 11.4 | Creepage distance for indoor insulation under d.c. or mixed voltage | 60 |
| 11.5 | Creepage distance of a.c. insulators | 60 |
| 12 | Clearances in air | 60 |
| Annex A (informative) Example of insulation co-ordination for conventional HVDC converters | | 62 |
| A.1 | General | 62 |
| A.2 | Arrester protective scheme | 62 |
| A.3 | Arrester stresses, protection and insulation levels | 62 |
| A.3.1 | General | 62 |
| A.3.2 | Slow-front overvoltages transferred from the a.c. side | 63 |
| A.3.3 | Earth fault between valve and upper bridge transformer bushing | 63 |
| A.4 | Transformer valve side withstand voltages | 66 |
| A.4.1 | Phase-to-phase | 66 |
| A.4.2 | Upper bridge transformer phase-to-earth (star) | 67 |
| A.4.3 | Lower bridge transformer phase-to-earth (delta) | 67 |
| A.5 | Air-insulated smoothing reactors withstand voltages | 67 |
| A.5.1 | Terminal-to-terminal slow-front overvoltages | 67 |

| | | |
|-----------------------|---|----|
| A.5.2 | Terminal-to-earth | 68 |
| A.6 | Results | 68 |
| Annex B (informative) | Example of insulation co-ordination for capacitor commutated converters (CCC) and controlled series capacitor converters (CSCC) | 72 |
| B.1 | General | 72 |
| B.2 | Arrester protective scheme | 72 |
| B.3 | Arrester stresses, protection and insulation levels | 72 |
| B.3.1 | General | 72 |
| B.3.2 | Transferred slow-front overvoltages from the a.c. side | 73 |
| B.3.3 | Earth fault between valve and upper bridge transformer bushing | 74 |
| B.4 | Transformer valve side withstand voltages | 77 |
| B.4.1 | Phase-to-phase | 77 |
| B.4.2 | Upper bridge transformer phase-to-earth (star) | 77 |
| B.4.3 | Lower bridge transformer phase-to-earth (delta) | 77 |
| B.5 | Air-insulated smoothing reactors withstand voltages | 78 |
| B.5.1 | Slow-front terminal-to-terminal overvoltages | 78 |
| B.5.2 | Terminal-to-earth | 78 |
| B.6 | Results | 79 |
| Annex C (informative) | Considerations for insulation co-ordination of some special converter configurations | 87 |
| C.1 | Procedure for insulation co-ordination of back-to-back type of HVDC links | 87 |
| C.2 | Procedure for insulation co-ordination of parallel valve groups | 87 |
| C.2.1 | General | 87 |
| C.2.2 | AC bus arrester (A) | 88 |
| C.2.3 | AC filter arrester (FA) | 88 |
| C.2.4 | Valve arrester (V) | 88 |
| C.2.5 | Bridge arrester (B) and converter unit arrester (C) | 88 |
| C.2.6 | Mid-point arrester (M) | 88 |
| C.2.7 | Converter unit d.c. bus arrester (CB) | 88 |
| C.2.8 | DC bus and d.c. line/cable arrester (DB and DL) | 89 |
| C.2.9 | Neutral bus arrester (E) | 89 |
| C.2.10 | DC reactor arrester (DR) | 89 |
| C.2.11 | DC filter arrester (FD) | 89 |
| C.2.12 | New converter stations with parallel valve groups | 89 |
| C.3 | Procedure for insulation co-ordination of upgrading existing systems with series-connected valve groups | 89 |
| C.3.1 | General | 89 |
| C.3.2 | AC bus arrester (A) | 90 |
| C.3.3 | AC filter arrester (FA) | 90 |
| C.3.4 | Valve arrester (V) | 90 |
| C.3.5 | Bridge arrester (B) and converter unit arrester (C) | 90 |
| C.3.6 | Mid-point arrester (M) | 90 |
| C.3.7 | Converter unit d.c. bus arrester (CB), d.c. bus and d.c. line/cable arrester (DB and DL) | 91 |
| C.3.8 | Neutral bus arrester (E) | 91 |
| C.3.9 | DC reactor arrester (DR) | 91 |
| C.3.10 | DC filter arrester (FD) | 91 |
| C.4 | Overvoltages in the a.c. network due to closely coupled HVDC links | 91 |
| C.5 | Effect of gas-insulated switchgear on insulation co-ordination of HVDC converter stations | 92 |

| | |
|--|----|
| Annex D (informative) Typical arrester characteristics | 93 |
| Bibliography | 94 |
| Figure 1 – Possible arrester locations in a pole with two 12-pulse converters in series | 19 |
| Figure 2 – Possible arrester locations for a back-to-back converter station | 20 |
| Figure 3 – HVDC converter station with one 12-pulse converter bridge per pole | 25 |
| Figure 4 – Continuous operating voltages at various locations (location identification according to Figure 3) | 27 |
| Figure 5 – Operating voltage of a valve arrester (V), rectifier operation | 29 |
| Figure 6 – Operating voltage of a mid-point arrester (M), rectifier operation | 29 |
| Figure 7 – Operating voltage of a converter bus arrester (CB), rectifier operation | 30 |
| Figure 8 – One pole of an HVDC converter station | 57 |
| Figure A.1 – AC and d.c. arresters | 69 |
| Figure A.2 – Valve arrester stresses for slow-front overvoltages from a.c. side | 69 |
| Figure A.3 – Arrester V2 stress for slow-front overvoltage from a.c. side | 70 |
| Figure A.4 – Valve arrester stresses for earth fault between valve and upper bridge transformer bushing | 70 |
| Figure A.5 – Arrester V1 stress for earth fault between valve and upper bridge transformer bushing | 71 |
| Figure B.1 – AC and d.c. arresters for CCC and CSCC converters | 80 |
| Figure B.2 – Valve arrester stresses for slow-front overvoltages from a.c. side | 81 |
| Figure B.3 – Arrester V2 stress for slow-front overvoltage from a.c. side | 82 |
| Figure B.4 – Valve arrester stresses for earth fault between valve and upper bridge transformer bushing | 84 |
| Figure B.5 – Arrester V1 stress for earth fault between valve and upper bridge transformer bushing | 85 |
| Figure B.6 – Stresses on capacitor arresters C_{CC} and C_{SC} during earth fault between valve and upper bridge transformer bushing | 86 |
| Figure C.1 – Expanded HVDC converter with parallel valve groups | 88 |
| Figure C.2 – Upgraded HVDC converter with series valve group | 90 |
| Figure D.1 – Typical arrester V-I characteristics | 93 |
| Table 1 – Classes and shapes of overvoltages, standard voltage shapes and standard withstand voltage tests | 11 |
| Table 2 – Symbol description | 20 |
| Table 3 – Comparison of the selection of withstand voltages for a.c. equipment with that for HVDC converter station equipment | 23 |
| Table 4 – Arrester protection on the d.c. side: Single 12-pulse converter (Figure 3) | 46 |
| Table 5 – Arrester protection on the d.c. side: Two 12-pulse converters (Figure 1) | 46 |
| Table 6 – Events stressing arresters: Single 12-pulse converter (Figure 3) | 48 |
| Table 7 – Types of arrester stresses for different events: Single 12-pulse converter (Figure 3) | 48 |
| Table 8 – Arrester requirements | 50 |
| Table 9 – Representative overvoltages and required withstand voltages | 51 |
| Table 10 – Indicative values of ratios of required impulse withstand voltage to impulse protective level | 54 |
| Table 11 – Origin of overvoltages and associated frequency ranges | 56 |

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

INSULATION CO-ORDINATION –

Part 5: Procedures for high-voltage direct current (HVDC) converter stations

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 60071-5 has been prepared by IEC technical committee 28: Insulation co-ordination.

This International Standard cancels and replaces IEC TS 60071-5 published in 2002. On the basis of technical experience gained since the Technical Specification was published, sufficient consensus has emerged for transformation of the Technical Specification into an International Standard.

The technical content is essentially the same as that contained in the Technical Specification with amendments mainly for user convenience. The structure of the document has been changed to allow division and subdivision into complete integral parts to facilitate comprehension and ease of referencing.

In addition to the high level revisions above, the following main technical changes have been made with respect to the previous edition:

- arresters have been added to several locations to reflect some recent 800 kV HVDC scheme practice, along with their justifications, expected voltages, overvoltages and arrester stresses in service;
- significant changes have been made in Clause 8 – all subclauses on the characteristics, schemes, stresses and specification of arresters have been consolidated into a single entity, Clause 8;
- the implications of a smoothing reactor and of a neutral blocking filter located on the neutral bus (as on some recent 800 kV schemes), on coordination of arresters connected to the neutral end have been added;
- possible use of sacrificial arresters on the neutral bus is introduced to cater for excessive arrester energy in the rather unlikely event of a particular rare fault;
- all subclauses dealing with study tools and modelling details have been consolidated into Clause 10;
- creepage distances and clearances have been consolidated into Clauses 11 and 12, respectively, with more details added.

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

| FDIS | Report on voting |
|-------------|------------------|
| 28/218/FDIS | 28/221/RVD |

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

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

A list of all parts in the IEC 600071 series, published under the general title *Insulation co-ordination* can be found on the IEC website.

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.

INTRODUCTION

The IEC 60071 series consists of the following parts under the general title *Insulation co-ordination*:

Part 1: Definitions, principles and rules

Part 2: Application guide

Part 4: Computational guide to insulation co-ordination and modelling of electrical networks

Part 5: Procedures for high-voltage direct current (HVDC) converter stations

INSULATION CO-ORDINATION –

Part 5: Procedures for high-voltage direct current (HVDC) converter stations

1 General

1.1 Scope

This part of IEC 60071 provides guidance on the procedures for insulation co-ordination of high-voltage direct current (HVDC) converter stations, without prescribing standardized insulation levels.

This standard applies only for HVDC applications in high-voltage a.c. power systems and not for industrial conversion equipment. Principles and guidance given are for insulation co-ordination purposes only. The requirements for human safety are not covered by this standard.

1.2 Additional background

The use of power electronic thyristor valves in a series and/or parallel arrangement, along with the unique control and protection strategies employed in the conversion process, has ramifications requiring particular consideration of overvoltage protection of equipment in converter stations compared with substations in a.c. systems. This standard outlines the procedures for evaluating the overvoltage stresses on the converter station equipment subjected to combined d.c., a.c. power frequency, harmonic and impulse voltages. The criteria for determining the protective levels of series and/or parallel combinations of surge arresters used to ensure optimal protection are also presented.

The basic principles and design objectives of insulation co-ordination of converter stations, in so far as they differ from normal a.c. system practice, are described.

Concerning surge arrester protection, this standard deals only with metal-oxide surge arresters, without gaps, which are used in modern HVDC converter stations. The basic arrester characteristics, requirements for these arresters and the process of evaluating the maximum overvoltages to which they may be exposed in service, are presented. Typical arrester protection schemes and stresses of arresters are presented, along with methods to be applied for determining these stresses.

This standard includes insulation co-ordination of equipment connected between the converter a.c. bus (including the a.c. harmonic filters, the converter transformer, the circuit breakers) and the d.c. line side of the smoothing reactor. The line and cable terminations in so far as they influence the insulation co-ordination of converter station equipment are also covered.

Although the main focus of the standard is on conventional HVDC systems where the commutation voltage bus is at the a.c. filter bus, outlines of insulation co-ordination for the capacitor commutated converter (CCC) as well as the controlled series compensated converter (CSCC) and some other special converter configurations are covered in the annexes.

This standard discusses insulation co-ordination related to line commutated converter (LCC) stations. The insulation coordination of voltage sourced converters (VSC) is not part of this standard.

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 60060-1, *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 60071-2:1996, *Insulation co-ordination – Part 2: Application guide*

IEC 60099-4:2004, *Surge arresters – Part 4: Metal-oxide surge arresters without gaps for a.c. systems*

IEC 60633, *Terminology for high-voltage direct current (HVDC) transmission*

IEC TS 60815-1:2008, *Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions – Part 1: Definitions, information and general principles*

IEC TS 60815-2:2008, *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 60815-3:2008, *Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions – Part 3: Polymer insulators for a.c. systems*

SOMMAIRE

| | |
|---|-----|
| AVANT-PROPOS | 101 |
| INTRODUCTION | 103 |
| 1 Généralités | 104 |
| 1.1 Domaine d'application | 104 |
| 1.2 Contexte complémentaire | 104 |
| 2 Références normatives | 105 |
| 3 Termes et définitions | 105 |
| 4 Symboles et abréviations | 112 |
| 4.1 Généralités | 112 |
| 4.2 Indices | 112 |
| 4.3 Symboles littéraux | 113 |
| 4.4 Abréviations | 113 |
| 5 Plans types de station de conversion CCHT | 114 |
| 6 Principes de la coordination de l'isolement | 117 |
| 6.1 Généralités | 117 |
| 6.2 Différences essentielles entre systèmes à courant alternatif et en courant continu | 117 |
| 6.3 Procédure de la coordination de l'isolement | 118 |
| 6.4 Comparaison de la sélection de tensions de tenue dans les systèmes à courant alternatif et à courant continu | 118 |
| 7 Tensions et surtensions en service | 120 |
| 7.1 Tensions de régime permanent en divers emplacements dans la station de conversion | 120 |
| 7.2 Valeur de pointe de la tension de régime permanent (PCOV) et valeur de crête de la tension de régime permanent (CCOV) | 124 |
| 7.3 Sources et types des surtensions | 126 |
| 7.4 Surtensions temporaires | 127 |
| 7.4.1 Généralités | 127 |
| 7.4.2 Surtensions temporaires du côté courant alternatif | 127 |
| 7.4.3 Surtensions temporaires du côté courant continu | 127 |
| 7.5 Surtensions à front lent | 127 |
| 7.5.1 Généralités | 127 |
| 7.5.2 Surtensions à front lent du côté courant alternatif | 128 |
| 7.5.3 Surtensions à front lent du côté courant continu | 129 |
| 7.6 Surtensions à front rapide, à front très rapide et à front raide | 129 |
| 8 Caractéristiques et contraintes des parafoudres | 130 |
| 8.1 Caractéristiques des parafoudres | 130 |
| 8.2 Spécifications des parafoudres | 131 |
| 8.3 Contraintes des parafoudres | 132 |
| 8.3.1 Généralités | 132 |
| 8.3.2 Parafoudre de barre à courant alternatif (A) | 133 |
| 8.3.3 Parafoudre de filtre côté courant alternatif (FA) | 134 |
| 8.3.4 Parafoudres d'enroulements côté valve de transformateur (T) | 134 |
| 8.3.5 Parafoudre de valve (V) | 134 |
| 8.3.6 Parafoudre de pont (B) | 138 |
| 8.3.7 Parafoudre d'unité de conversion (C) | 138 |

| | | |
|---|--|-----|
| 8.3.8 | Parafoudre de barre à courant continu du milieu (M) | 139 |
| 8.3.9 | Parafoudre de barre à courant continu d'une unité de conversion (CB) | 139 |
| 8.3.10 | Parafoudre de barre à courant continu et de ligne/de câble à courant continu (DB et DL/DC) | 139 |
| 8.3.11 | Parafoudre de barre de neutre (E, EL, EM à la Figure 3, EB, E1, EL, EM à la Figure 1) | 140 |
| 8.3.12 | Parafoudre de bobine d'inductance côté courant continu (DR) | 141 |
| 8.3.13 | Parafoudre de filtre côté courant continu (FD) | 142 |
| 8.3.14 | Parafoudre de station à électrode de terre | 142 |
| 8.4 | Stratégie de protection | 142 |
| 8.4.1 | Généralités | 142 |
| 8.4.2 | Isolation directement protégée par un parafoudre unique | 142 |
| 8.4.3 | Isolation protégée par plus d'un parafoudre en série | 143 |
| 8.4.4 | Point neutre côté valve des transformateurs | 143 |
| 8.4.5 | Isolation entre conducteurs de phase du transformateur de convertisseur | 143 |
| 8.4.6 | Résumé de la stratégie de protection | 143 |
| 8.5 | Résumé des événements et des contraintes | 145 |
| 9 | Procédure de conception de la coordination de l'isolement | 147 |
| 9.1 | Généralités | 147 |
| 9.2 | Exigences relatives aux parafoudres | 148 |
| 9.3 | Caractéristiques de l'isolement | 150 |
| 9.4 | Surtensions représentatives (U_{rp}) | 150 |
| 9.5 | Détermination des tensions de tenue de coordination (U_{cw}) | 151 |
| 9.6 | Détermination des tensions de tenue requises (U_{rw}) | 152 |
| 9.7 | Détermination de la tension de tenue spécifiée (U_w) | 153 |
| 10 | Outils d'étude et modélisation des réseaux | 153 |
| 10.1 | Généralités | 153 |
| 10.2 | Approche d'étude et outils d'étude | 153 |
| 10.3 | Détails du système | 154 |
| 10.3.1 | Modélisation et représentation du système | 154 |
| 10.3.2 | Réseau à courant alternatif et côté courant alternatif de la station de conversion CCHT | 156 |
| 10.3.3 | Détails pour la ligne aérienne/câble à courant continu et la ligne (d'électrode) de terre | 157 |
| 10.3.4 | Détails pour le côté courant continu d'une station de conversion CCHT | 157 |
| 11 | Lignes de fuite | 158 |
| 11.1 | Généralités | 158 |
| 11.2 | Tension de base pour ligne de fuite | 158 |
| 11.3 | Ligne de fuite pour isolation extérieure sous tension continue | 159 |
| 11.4 | Ligne de fuite pour isolation intérieure sous tension continue ou mixte | 159 |
| 11.5 | Ligne de fuite d'isolateurs pour courant alternatif | 159 |
| 12 | Distance d'isolement dans l'air | 160 |
| Annexe A (informative) Exemple de coordination de l'isolement pour des convertisseurs CCHT conventionnels | | 161 |
| A.1 | Généralités | 161 |
| A.2 | Schéma de la protection par parafoudre | 161 |
| A.3 | Contraintes de parafoudre et des niveaux de protection et d'isolement | 161 |
| A.3.1 | Généralités | 161 |
| A.3.2 | Surtensions à front lent transférées à partir du côté courant alternatif | 162 |

| | | |
|--|--|-----|
| A.3.3 | Défaut à la terre entre valve et traversée de transformateur de pont supérieur | 162 |
| A.4 | Tensions de tenue des transformateurs côté valve | 165 |
| A.4.1 | Entre phases | 165 |
| A.4.2 | Transformateur de pont supérieur, phase-terre (étoile) | 166 |
| A.4.3 | Transformateur de pont inférieur, phase-terre (triangle) | 166 |
| A.5 | Tensions de tenue pour les bobines d'inductance de lissage à isolation par air | 166 |
| A.5.1 | Surtensions à front lent borne à borne | 166 |
| A.5.2 | Borne-terre | 166 |
| A.6 | Résultats | 167 |
| Annexe B (informative) Exemple de coordination de l'isolement pour les convertisseurs à condensateurs commutés (CCC) et les convertisseurs à condensateurs en série contrôlés (CCSC) | | |
| | | |
| B.1 | Généralités | 170 |
| B.2 | Schéma de la protection par parafoudre | 170 |
| B.3 | Contraintes de parafoudre et niveaux de protection et d'isolement | 170 |
| B.3.1 | Généralités | 170 |
| B.3.2 | Surtensions à front lent transférées à partir du côté courant alternatif | 171 |
| B.3.3 | Défaut à la terre entre valve et traversée de transformateur de pont supérieur | 172 |
| B.4 | Tensions de tenue pour les transformateurs côté valve | 175 |
| B.4.1 | Entre phases | 175 |
| B.4.2 | Transformateur de pont supérieur phase-terre (étoile) | 175 |
| B.4.3 | Transformateur de pont inférieur phase-terre (triangle) | 175 |
| B.5 | Tensions de tenue pour les bobines d'inductance de lissage à isolation par air | 176 |
| B.5.1 | Surtensions à front lent borne à borne | 176 |
| B.5.2 | Borne-terre | 176 |
| B.6 | Résultats | 177 |
| Annexe C (informative) Considérations pour la coordination de l'isolement de certaines configurations spéciales du convertisseur | | |
| | | |
| C.1 | Procédure pour la coordination de l'isolement du type dos-à-dos de liaisons CCHT | 185 |
| C.2 | Procédure pour la coordination de l'isolement de groupes de valves parallèles | 185 |
| C.2.1 | Généralités | 185 |
| C.2.2 | Parafoudre de barre à courant alternatif (A) | 186 |
| C.2.3 | Parafoudre de filtre côté courant alternatif (FA) | 186 |
| C.2.4 | Parafoudre de valve (V) | 186 |
| C.2.5 | Parafoudre de pont (B) et parafoudre d'unité de conversion (C) | 186 |
| C.2.6 | Parafoudre du milieu (M) | 187 |
| C.2.7 | Parafoudre de barre à courant continu d'une unité de conversion (CB) | 187 |
| C.2.8 | Parafoudre de barre à courant continu et de ligne/de câble à courant continu (DB et DL) | 187 |
| C.2.9 | Parafoudre de barre de neutre (E) | 187 |
| C.2.10 | Parafoudre de bobine d'inductance côté courant continu (DR) | 187 |
| C.2.11 | Parafoudre de filtre côté courant continu (FD) | 187 |
| C.2.12 | Nouvelles stations de conversion avec groupes de valves parallèles | 187 |
| C.3 | Procédure pour la coordination de l'isolement mettant à niveau des systèmes existants avec des groupes de valves montés en série | 187 |
| C.3.1 | Généralités | 187 |

| | | |
|--|---|-----|
| C.3.2 | Parafoudre de barre à courant alternatif (A)..... | 188 |
| C.3.3 | Parafoudre de filtre côté courant alternatif (FA) | 188 |
| C.3.4 | Parafoudre de valve (V) | 188 |
| C.3.5 | Parafoudre de pont (B) et parafoudre d'unité de conversion (C)..... | 188 |
| C.3.6 | Parafoudre du milieu (M)..... | 189 |
| C.3.7 | Parafoudre de barre à courant continu d'une unité de conversion (CB), parafoudre de barre à courant continu et de ligne/de câble à courant continu (DB et DL) | 189 |
| C.3.8 | Parafoudre de barre de neutre (E)..... | 189 |
| C.3.9 | Parafoudre de bobine d'inductance côté courant continu (DR) | 189 |
| C.3.10 | Parafoudre de filtre côté courant continu (FD) | 189 |
| C.4 | Surtensions dans le réseau à courant alternatif dues aux liaisons CCHT étroitement accouplées | 190 |
| C.5 | Effet de l'appareillage à isolation gazeuse sur la coordination de l'isolement des stations de conversion CCHT | 190 |
| Annexe D (informative) Caractéristiques types des parafoudres..... | | 192 |
| Bibliographie | | 193 |
| | | |
| Figure 1 – Emplacements possibles des parafoudres dans un pôle avec deux convertisseurs dodécaphasés montés en série | | 115 |
| Figure 2 – Emplacements possibles des parafoudres pour une station de convertisseurs dos-à-dos..... | | 116 |
| Figure 3 – Station de conversion CCHT avec un seul pont de conversion dodécaphasé par pôle | | 121 |
| Figure 4 – Tensions de régime permanent en divers emplacements (identification d'emplacement selon la Figure 3)..... | | 123 |
| Figure 5 – Tension de fonctionnement d'un parafoudre de valve (V), fonctionnement en redresseur | | 125 |
| Figure 6 – Tension de fonctionnement d'un parafoudre du milieu (M), fonctionnement en redresseur | | 125 |
| Figure 7 – Tension de fonctionnement d'un parafoudre de barre de convertisseur (CB), fonctionnement en redresseur | | 126 |
| Figure 8 – Un pôle d'une station de conversion CCHT | | 156 |
| Figure A.1 – Parafoudres côté courant alternatif et courant continu..... | | 167 |
| Figure A.2 – Contraintes de parafoudre de valve pour les surtensions à front lent provenant du côté courant alternatif..... | | 168 |
| Figure A.3 – Contrainte de parafoudre V2 pour surtension à front lent provenant du côté courant alternatif..... | | 168 |
| Figure A.4 – Contraintes de parafoudre de valve pour défaut à la terre entre valve et traversée de transformateur de pont supérieur | | 169 |
| Figure A.5 – Contrainte de parafoudre V1 pour défaut à la terre entre valve et traversée de transformateur de pont supérieur..... | | 169 |
| Figure B.1 – Parafoudres côté courant alternatif et courant continu pour convertisseurs CCC et CCSC | | 178 |
| Figure B.2 – Contraintes de parafoudre de valve pour les surtensions à front lent du côté courant alternatif | | 179 |
| Figure B.3 – Contrainte de parafoudre V2 pour surtension à front lent du côté courant alternatif | | 180 |
| Figure B.4 – Contraintes de parafoudre de valve pour défaut à la terre entre valve et traversée de transformateur de pont supérieur | | 182 |

| | |
|--|-----|
| Figure B.5 – Contrainte de parafoudre V1 pour défaut à la terre entre valve et traversée de transformateur de pont supérieur | 183 |
| Figure B.6 – Contraintes sur les parafoudres de condensateur C_{CC} et C_{SC} au cours d'un défaut à la terre entre valve et traversée de transformateur de pont supérieur | 184 |
| Figure C.1 – Convertisseur CCHT étendu avec des groupes de valves parallèles..... | 186 |
| Figure C.2 – Convertisseur CCHT mis à niveau avec un groupe de valves en série..... | 188 |
| Figure D.1 – Caractéristiques types de parafoudre V-I | 192 |
| | |
| Tableau 1 – Classes et formes des surtensions, des formes de tension normalisées et des essais de tension de tenue normalisée..... | 106 |
| Tableau 2 – Description de symbole | 116 |
| Tableau 3 – Comparaison de la sélection de tensions de tenue pour un matériel à courant alternatif avec celle pour le matériel d'une station de conversion CCHT..... | 119 |
| Tableau 4 – Protection par parafoudre du côté courant continu: Un seul convertisseur dodécaphasé (Figure 3) | 144 |
| Tableau 5 – Protection par parafoudre du côté courant continu: Deux convertisseurs dodécaphasés (Figure 1)..... | 144 |
| Tableau 6 – Événements contraignant des parafoudres: Un seul convertisseur dodécaphasé (Figure 3) | 146 |
| Tableau 7 – Types de contraintes sur les parafoudres en raison de différents événements: Un seul convertisseur dodécaphasé (Figure 3)..... | 146 |
| Tableau 8 – Exigences relatives aux parafoudres | 149 |
| Tableau 9 – Surtensions représentatives et tensions de tenue requises | 150 |
| Tableau 10 – Valeurs indicatives des rapports de la tension de tenue au choc requise sur le niveau de protection aux chocs | 153 |
| Tableau 11 – Origine des surtensions et gammes de fréquences associées..... | 155 |

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

COORDINATION DE L'ISOLEMENT –

**Partie 5: Procédures pour les stations de conversion
à courant continu haute tension (CCHT)**

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 60071-5 a été établie par le comité d'études 28 de l'IEC: Coordination de l'isolement.

La présente Norme internationale annule et remplace l'IEC TS 60071-5 parue en 2002. Suite à l'expérience technique acquise depuis la parution de la spécification technique, un consensus suffisant a émergé concernant la transformation de la Spécification technique en Norme internationale.

Le contenu technique est essentiellement le même que celui de la Spécification technique avec des amendements principalement apportés pour la commodité de l'utilisateur. La structure du document a été modifiée pour permettre la division et la subdivision en des parties intégrantes complètes pour faciliter la compréhension et le référencement.

Outre les révisions de haut niveau ci-dessus, les modifications techniques majeures suivantes ont été apportées par rapport à l'édition précédente:

- des parafoudres ont été ajoutés à plusieurs emplacements pour refléter une certaine pratique récente du schéma CCHT (courant continu à haute tension) de 800 kV, accompagnés de leur justification, des tensions attendues, des surtensions et des contraintes relatives aux parafoudres en service;
- des modifications majeures ont été apportées à l'Article 8 – tous les paragraphes relatifs aux caractéristiques, aux schémas, aux contraintes et aux spécifications des parafoudres ont été consolidés en une seule entité, l'Article 8;
- les implications d'une bobine d'inductance de lissage et d'un filtre de blocage neutre placé sur une barre de neutre (comme dans certains schémas récents de 800 kV), sur la coordination des parafoudres raccordés à l'extrémité neutre ont été ajoutées;
- l'utilisation possible de parafoudres sacrificiels sur la barre de neutre est introduite pour pourvoir à une énergie excessive des parafoudres dans l'éventualité plutôt peu probable d'un défaut rare particulier;
- tous les paragraphes traitant d'outils d'étude et de détails de modélisation ont été consolidés à l'Article 10;
- les lignes de fuite et les distances d'isolement dans l'air ont été respectivement consolidées à l'Article 11 et à l'Article 12, avec plus de détails ajoutés.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

| FDIS | Rapport de vote |
|------------|-----------------|
| 28/218FDIS | 28/221/RVD |

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

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

Une liste de toutes les parties de la série IEC 60071, publiées sous le titre général *Coordination de l'isolement*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

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. A 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.

INTRODUCTION

La série IEC 60071 comprend les parties suivantes, sous le titre général *Coordination de l'isolement*:

Partie 1: Définitions, principes et règles

Partie 2: Guide d'application

Partie 4: Computational guide to insulation co-ordination and modelling of electrical networks (disponible en anglais seulement)

Partie 5: Procédures pour les stations de conversion à courant continu haute tension (CCHT)

COORDINATION DE L'ISOLEMENT –

Partie 5: Procédures pour les stations de conversion à courant continu haute tension (CCHT)

1 Généralités

1.1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 60071 donne des lignes directrices sur les procédures pour la coordination de l'isolement des stations de conversion à courant continu haute tension (CCHT), sans imposer de niveaux d'isolement normalisés.

La présente norme s'applique seulement aux applications CCHT dans des systèmes de puissance alternative à haute tension et pas aux matériels de conversion industriels. Les principes et les lignes directrices donnés sont destinés aux seules fins de la coordination de l'isolement. Les exigences concernant la sécurité des personnes ne sont pas couvertes par la présente norme.

1.2 Contexte complémentaire

L'utilisation de valves électroniques à thyristors d'alimentation électrique dans un montage en série et/ou en parallèle, avec les stratégies de commande et de protection uniques utilisées dans le processus de conversion, a des ramifications exigeant la prise en compte particulière de la protection contre les surtensions du matériel dans des stations de conversion en comparaison aux postes (sous-stations) dans les réseaux à courant alternatif. La présente norme donne les grandes lignes des procédures d'évaluation des contraintes de surtension sur le matériel de la station de conversion soumis à une combinaison de tensions à fréquence industrielle en courant continu, en courant alternatif, de tensions harmoniques et de tensions de choc. Les critères pour déterminer les niveaux de protection des combinaisons de montages en série et/ou en parallèle des parafoudres utilisés pour assurer une protection optimale sont également présentés.

Les principes de base et les objectifs de conception de la coordination de l'isolement des stations de conversion, pour autant qu'ils diffèrent de la pratique normale des réseaux alternatifs, sont décrits.

Pour ce qui concerne la protection par parafoudres, la présente norme traite seulement des parafoudres à oxyde métallique, sans éclateurs, qui sont utilisés dans les stations de conversion CCHT modernes. Les caractéristiques de base des parafoudres, les exigences relatives à ces parafoudres et le processus d'évaluation des surtensions maximales auxquelles ils peuvent être exposés en service sont présentés. Les schémas types de protection par parafoudres ainsi que les contraintes typiques des parafoudres sont présentés, accompagnés de méthodes à appliquer pour déterminer ces contraintes.

La présente norme inclut la coordination de l'isolement du matériel connecté entre la barre à courant alternatif de convertisseur (y compris les filtres d'harmoniques de courant alternatif, le transformateur de convertisseur, les disjoncteurs) et le côté ligne à courant continu de la bobine d'inductance de lissage. Les terminaisons de lignes et de câbles, pour autant qu'elles aient une influence sur la coordination de l'isolement du matériel de station de conversion, sont également couvertes.

Bien que la présente norme soit principalement axée sur les systèmes CCHT conventionnels où la barre de tension de commutation est à la barre de filtrage côté courant alternatif, les grandes lignes de la coordination de l'isolement pour le convertisseur à condensateurs

commutés (CCC) et aussi pour le convertisseur à condensateurs en série contrôlés (CCSC) et quelques autres configurations spéciales de convertisseur sont couvertes dans les annexes.

La présente norme traite de la coordination de l'isolement relative aux stations munies de convertisseurs commutés par le réseau (LCC¹). La coordination de l'isolement des convertisseurs à source de tension (VSC²) ne fait pas partie de la présente norme.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. 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, *Technique 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 60071-2:1996, *Coordination de l'isolement – Partie 2: Guide d'application*

IEC 60099-4:2004, *Parafoudres – Partie 4: Parafoudres à oxyde métallique sans éclateurs pour réseaux à courant alternatif*

IEC 60633, *Terminologie pour le transport d'énergie en courant continu à haute tension (CCHT)*

IEC TS 60815-1:2008, *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 60815-2:2008, *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 60815-3:2008, *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)

¹ LCC = *line commutate converter*.

² VLC = *voltage sourced converter*.