

# INTERNATIONAL STANDARD

## NORME INTERNATIONALE



**Surge arresters –**

**Part 9: Metal-oxide surge arresters without gaps for HVDC converter stations**

**Parafoudres –**

**Partie 9: Parafoudres à oxyde métallique sans éclateur pour postes de conversion CCHT**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60099-9:2014



## THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2014 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester. If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

IEC Central Office  
3, rue de Varembe  
CH-1211 Geneva 20  
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11  
Fax: +41 22 919 03 00  
[info@iec.ch](mailto:info@iec.ch)  
[www.iec.ch](http://www.iec.ch)

### About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

### About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigenda or an amendment might have been published.

#### IEC Catalogue - [webstore.iec.ch/catalogue](http://webstore.iec.ch/catalogue)

The stand-alone application for consulting the entire bibliographical information on IEC International Standards, Technical Specifications, Technical Reports and other documents. Available for PC, Mac OS, Android Tablets and iPad.

#### IEC publications search - [www.iec.ch/searchpub](http://www.iec.ch/searchpub)

The advanced search enables to find IEC publications by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...). It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

#### IEC Just Published - [webstore.iec.ch/justpublished](http://webstore.iec.ch/justpublished)

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details all new publications released. Available online and also once a month by email.

#### Electropedia - [www.electropedia.org](http://www.electropedia.org)

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 30 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 14 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

#### IEC Glossary - [std.iec.ch/glossary](http://std.iec.ch/glossary)

More than 55 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

#### IEC Customer Service Centre - [webstore.iec.ch/csc](http://webstore.iec.ch/csc)

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: [csc@iec.ch](mailto:csc@iec.ch).

### A propos de l'IEC

La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des Normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

### A propos des publications IEC

Le contenu technique des publications IEC est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

#### Catalogue IEC - [webstore.iec.ch/catalogue](http://webstore.iec.ch/catalogue)

Application autonome pour consulter tous les renseignements bibliographiques sur les Normes internationales, Spécifications techniques, Rapports techniques et autres documents de l'IEC. Disponible pour PC, Mac OS, tablettes Android et iPad.

#### Recherche de publications IEC - [www.iec.ch/searchpub](http://www.iec.ch/searchpub)

La recherche avancée permet de trouver des publications IEC en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

#### IEC Just Published - [webstore.iec.ch/justpublished](http://webstore.iec.ch/justpublished)

Restez informé sur les nouvelles publications IEC. Just Published détaille les nouvelles publications parues. Disponible en ligne et aussi une fois par mois par email.

#### Electropedia - [www.electropedia.org](http://www.electropedia.org)

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 30 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 14 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

#### Glossaire IEC - [std.iec.ch/glossary](http://std.iec.ch/glossary)

Plus de 55 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

#### Service Clients - [webstore.iec.ch/csc](http://webstore.iec.ch/csc)

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: [csc@iec.ch](mailto:csc@iec.ch).

# INTERNATIONAL STANDARD

## NORME INTERNATIONALE



### Surge arresters –

### Part 9: Metal-oxide surge arresters without gaps for HVDC converter stations

### Parafoudres –

### Partie 9: Parafoudres à oxyde métallique sans éclateur pour postes de conversion CCHT

INTERNATIONAL  
ELECTROTECHNICAL  
COMMISSION

COMMISSION  
ELECTROTECHNIQUE  
INTERNATIONALE

PRICE CODE  
CODE PRIX

**XD**

ICS 29.120.50; 29.240.10

ISBN 978-2-8322-1644-6

**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.....                                                                                   | 7  |
| 1 Scope.....                                                                                    | 9  |
| 2 Normative references .....                                                                    | 9  |
| 3 Terms and definitions .....                                                                   | 10 |
| 4 Typical HVDC converter station schemes, arrester types, locations and operating voltage ..... | 19 |
| 5 Identification and classification .....                                                       | 24 |
| 5.1 Arrester identification .....                                                               | 24 |
| 5.2 Arrester classification .....                                                               | 25 |
| 6 Service conditions .....                                                                      | 25 |
| 6.1 Normal service conditions .....                                                             | 25 |
| 6.2 Abnormal service conditions .....                                                           | 25 |
| 7 Requirements .....                                                                            | 26 |
| 7.1 Insulation withstand of the arrester housing .....                                          | 26 |
| 7.2 Reference voltage.....                                                                      | 26 |
| 7.3 Residual voltage .....                                                                      | 26 |
| 7.4 Internal partial discharge .....                                                            | 27 |
| 7.5 Seal leak rate.....                                                                         | 27 |
| 7.6 Current distribution in a multi-column arrester and between matched arresters .....         | 27 |
| 7.7 Long term stability under continuous operating voltage .....                                | 27 |
| 7.8 Repetitive charge transfer withstand .....                                                  | 27 |
| 7.9 Thermal energy capability .....                                                             | 27 |
| 7.10 Short-circuit performance.....                                                             | 28 |
| 7.11 Requirements on internal grading components.....                                           | 28 |
| 7.12 Mechanical loads .....                                                                     | 28 |
| 7.12.1 General .....                                                                            | 28 |
| 7.12.2 Bending moment.....                                                                      | 28 |
| 7.12.3 Resistance against environmental stresses .....                                          | 28 |
| 7.12.4 Insulating base .....                                                                    | 28 |
| 7.12.5 Mean value of breaking load (MBL).....                                                   | 29 |
| 7.13 Electromagnetic compatibility.....                                                         | 29 |
| 7.14 End of life .....                                                                          | 29 |
| 8 General testing procedure .....                                                               | 29 |
| 8.1 Measuring equipment and accuracy .....                                                      | 29 |
| 8.2 Reference voltage measurements .....                                                        | 29 |
| 8.3 Test samples .....                                                                          | 29 |
| 8.3.1 General .....                                                                             | 29 |
| 8.3.2 Arrester section requirements.....                                                        | 30 |
| 9 Type tests (design tests) .....                                                               | 31 |
| 9.1 General.....                                                                                | 31 |
| 9.2 Insulation withstand test on the arrester housing.....                                      | 32 |
| 9.2.1 General .....                                                                             | 32 |
| 9.2.2 Tests on individual unit housings .....                                                   | 32 |
| 9.2.3 Tests on complete arrester housing assemblies.....                                        | 32 |

|        |                                                                                    |    |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 9.2.4  | Ambient air conditions during tests .....                                          | 32 |
| 9.2.5  | Wet test procedure .....                                                           | 33 |
| 9.2.6  | Lightning impulse voltage test.....                                                | 33 |
| 9.2.7  | Switching impulse voltage test.....                                                | 33 |
| 9.2.8  | Power-frequency voltage test.....                                                  | 34 |
| 9.3    | Short-circuit tests .....                                                          | 34 |
| 9.4    | Internal partial discharge tests .....                                             | 35 |
| 9.5    | Test of the bending moment.....                                                    | 36 |
| 9.5.1  | Test on porcelain-housed arresters.....                                            | 36 |
| 9.5.2  | Test on polymer-housed arresters .....                                             | 37 |
| 9.6    | Environmental tests .....                                                          | 43 |
| 9.6.1  | General .....                                                                      | 43 |
| 9.6.2  | Overview .....                                                                     | 43 |
| 9.6.3  | Sample preparation .....                                                           | 44 |
| 9.6.4  | Test procedure .....                                                               | 44 |
| 9.6.5  | Test evaluation .....                                                              | 44 |
| 9.7    | Weather ageing test.....                                                           | 44 |
| 9.7.1  | General .....                                                                      | 44 |
| 9.7.2  | Test specimens .....                                                               | 44 |
| 9.7.3  | Test procedure .....                                                               | 44 |
| 9.7.4  | Evaluation of the test.....                                                        | 45 |
| 9.8    | Seal leak rate test.....                                                           | 46 |
| 9.8.1  | General .....                                                                      | 46 |
| 9.8.2  | Overview .....                                                                     | 46 |
| 9.8.3  | Sample preparation .....                                                           | 46 |
| 9.8.4  | Test procedure .....                                                               | 46 |
| 9.8.5  | Test evaluation .....                                                              | 46 |
| 9.9    | Radio interference voltage (RIV) test .....                                        | 46 |
| 9.10   | Residual voltage test.....                                                         | 48 |
| 9.10.1 | General .....                                                                      | 48 |
| 9.10.2 | Steep current impulse residual voltage test.....                                   | 49 |
| 9.10.3 | Lightning impulse residual voltage test .....                                      | 49 |
| 9.10.4 | Switching impulse residual voltage test.....                                       | 50 |
| 9.11   | Test to verify long term stability under continuous operating voltage .....        | 50 |
| 9.11.1 | General .....                                                                      | 50 |
| 9.11.2 | Test procedure for arresters subjected to voltage reversal.....                    | 51 |
| 9.11.3 | Test procedure for arresters not subjected to voltage reversal .....               | 53 |
| 9.12   | Test to verify the repetitive charge transfer rating, $Q_{rs}$ .....               | 54 |
| 9.12.1 | General .....                                                                      | 54 |
| 9.12.2 | Test procedure .....                                                               | 55 |
| 9.12.3 | Test evaluation .....                                                              | 55 |
| 9.12.4 | Rated values of repetitive charge transfer rating, $Q_{rs}$ .....                  | 56 |
| 9.13   | Heat dissipation behaviour of test sample .....                                    | 56 |
| 9.13.1 | General .....                                                                      | 56 |
| 9.13.2 | Arrester section requirements.....                                                 | 56 |
| 9.13.3 | Procedure to verify thermal equivalency between arrester and arrester section..... | 56 |
| 9.14   | Test to verify the thermal energy rating, $W_{th}$ .....                           | 57 |
| 9.14.1 | General .....                                                                      | 57 |

|        |                                                                                                                  |    |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 9.14.2 | Arrester section requirements .....                                                                              | 57 |
| 9.14.3 | Test procedure .....                                                                                             | 57 |
| 9.15   | Test to verify the dielectric withstand of internal components .....                                             | 58 |
| 9.15.1 | General .....                                                                                                    | 58 |
| 9.15.2 | Test procedure .....                                                                                             | 59 |
| 9.15.3 | Test evaluation .....                                                                                            | 59 |
| 9.16   | Test of internal grading components .....                                                                        | 59 |
| 9.16.1 | Test to verify long term stability under continuous operating voltage .....                                      | 59 |
| 9.16.2 | Thermal cyclic test .....                                                                                        | 60 |
| 10     | Routine tests and acceptance test .....                                                                          | 61 |
| 10.1   | Routine tests .....                                                                                              | 61 |
| 10.2   | Acceptance tests .....                                                                                           | 62 |
| 10.2.1 | Standard acceptance tests .....                                                                                  | 62 |
| 10.2.2 | Special thermal stability test .....                                                                             | 62 |
| 11     | Test requirements on different types of arresters .....                                                          | 62 |
| 11.1   | General .....                                                                                                    | 62 |
| 11.2   | Valve arrester (V) .....                                                                                         | 62 |
| 11.2.1 | General .....                                                                                                    | 62 |
| 11.2.2 | Continuous operating voltage .....                                                                               | 62 |
| 11.2.3 | Equivalent continuous operating voltage .....                                                                    | 63 |
| 11.2.4 | Type tests .....                                                                                                 | 64 |
| 11.2.5 | Routine and acceptance tests .....                                                                               | 65 |
| 11.3   | Bridge arrester and HV and LV converter unit arresters (B, CH, CL) .....                                         | 65 |
| 11.3.1 | Continuous operating voltage .....                                                                               | 65 |
| 11.3.2 | Equivalent continuous operating voltage .....                                                                    | 66 |
| 11.3.3 | Type tests .....                                                                                                 | 66 |
| 11.3.4 | Routine and acceptance tests .....                                                                               | 66 |
| 11.4   | Converter unit arrester (C) .....                                                                                | 66 |
| 11.4.1 | General .....                                                                                                    | 66 |
| 11.4.2 | Continuous operating voltage .....                                                                               | 66 |
| 11.4.3 | Equivalent continuous operating voltage .....                                                                    | 66 |
| 11.4.4 | Type tests .....                                                                                                 | 67 |
| 11.4.5 | Routine and acceptance tests .....                                                                               | 67 |
| 11.5   | Mid-point d.c. bus arrester, mid-point bridge arresters and arrester between<br>converters (M, MH, ML, CM) ..... | 67 |
| 11.5.1 | Continuous operating voltage .....                                                                               | 67 |
| 11.5.2 | Equivalent continuous operating voltage .....                                                                    | 67 |
| 11.5.3 | Type tests .....                                                                                                 | 68 |
| 11.5.4 | Routine and acceptance tests .....                                                                               | 68 |
| 11.6   | Converter unit d.c. bus arrester (CB) .....                                                                      | 68 |
| 11.6.1 | Continuous operating voltage .....                                                                               | 68 |
| 11.6.2 | Equivalent continuous operating voltage .....                                                                    | 68 |
| 11.6.3 | Type tests .....                                                                                                 | 69 |
| 11.6.4 | Routine and acceptance tests .....                                                                               | 69 |
| 11.7   | DC bus and d.c. line/cable arrester (DB, DL/DC) .....                                                            | 69 |
| 11.7.1 | General .....                                                                                                    | 69 |
| 11.7.2 | Continuous operating voltage .....                                                                               | 69 |
| 11.7.3 | Equivalent continuous operating voltage .....                                                                    | 69 |
| 11.7.4 | Type tests .....                                                                                                 | 69 |

|                       |                                                                                         |    |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 11.7.5                | Routine and acceptance tests .....                                                      | 70 |
| 11.8                  | Neutral bus arresters (EB, E1, E) .....                                                 | 71 |
| 11.8.1                | Continuous operating voltage .....                                                      | 71 |
| 11.8.2                | Equivalent continuous operating voltage .....                                           | 71 |
| 11.8.3                | Type tests .....                                                                        | 71 |
| 11.8.4                | Routine and acceptance tests .....                                                      | 72 |
| 11.9                  | DC and AC filter arresters (FA, FD) .....                                               | 72 |
| 11.9.1                | Continuous operating voltage .....                                                      | 72 |
| 11.9.2                | Equivalent continuous operating voltage .....                                           | 72 |
| 11.9.3                | Type tests .....                                                                        | 74 |
| 11.9.4                | Routine and acceptance tests .....                                                      | 74 |
| 11.10                 | Electrode line and metallic return arresters (EL, EM) .....                             | 74 |
| 11.10.1               | Continuous operating voltage .....                                                      | 74 |
| 11.10.2               | Equivalent continuous operating voltage .....                                           | 74 |
| 11.10.3               | Type tests .....                                                                        | 74 |
| 11.10.4               | Routine and acceptance tests .....                                                      | 74 |
| 11.11                 | Smoothing reactor arrester (DR) .....                                                   | 74 |
| 11.11.1               | General .....                                                                           | 74 |
| 11.11.2               | Continuous operating voltage .....                                                      | 74 |
| 11.11.3               | Equivalent continuous operating voltage .....                                           | 74 |
| 11.11.4               | Type tests .....                                                                        | 74 |
| 11.11.5               | Routine and acceptance tests .....                                                      | 74 |
| 11.12                 | Capacitor arrester (CC) .....                                                           | 75 |
| 11.12.1               | General .....                                                                           | 75 |
| 11.12.2               | Continuous operating voltage .....                                                      | 75 |
| 11.12.3               | Equivalent continuous operating voltage .....                                           | 75 |
| 11.12.4               | Type tests .....                                                                        | 75 |
| 11.12.5               | Routine and acceptance tests .....                                                      | 75 |
| 11.13                 | Transformer valve winding arrester (T) .....                                            | 75 |
| 11.13.1               | General .....                                                                           | 75 |
| 11.13.2               | Continuous operating voltage .....                                                      | 76 |
| 11.13.3               | Equivalent continuous operating voltage .....                                           | 76 |
| 11.13.4               | Type tests .....                                                                        | 76 |
| 11.13.5               | Routine and acceptance tests .....                                                      | 76 |
| Annex A (normative)   | Test to verify thermal equivalency between complete arrester and arrester section ..... | 77 |
| Annex B (normative)   | Determination of the start temperature in the thermal recovery test .....               | 79 |
| Annex C (normative)   | Mechanical considerations .....                                                         | 80 |
| C.1                   | Test of bending moment .....                                                            | 80 |
| C.2                   | Seismic test .....                                                                      | 81 |
| C.3                   | Definition of mechanical loads .....                                                    | 81 |
| C.4                   | Definition of seal leak rate .....                                                      | 83 |
| C.5                   | Calculation of wind-bending-moment .....                                                | 83 |
| C.6                   | Procedures of tests of bending moment for porcelain and polymer-housed arresters .....  | 84 |
| Annex D (informative) | Different circuit configurations .....                                                  | 86 |
| Bibliography          | .....                                                                                   | 88 |

|                                                                                                                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 1 – Single line diagram of typical converter station with two 12-pulse converter bridges per pole.....                                                          | 20 |
| Figure 2 – Single line diagram of typical converter station with one 12-pulse converter bridge per pole.....                                                           | 21 |
| Figure 3 – Single line diagram of typical capacitor commutated converter (CCC) pole with two 12-pulse converters in series.....                                        | 22 |
| Figure 4 – Typical continuous operating voltages for different arresters – low-frequency modelling (location as per Figures 1 to 3, fundamental frequency 50 Hz).....  | 23 |
| Figure 5 – Typical continuous operating voltages for different arresters – high-frequency modelling (location as per Figures 1 to 3, fundamental frequency 50 Hz)..... | 24 |
| Figure 6 – Thermomechanical test .....                                                                                                                                 | 40 |
| Figure 7 – Example of the test arrangement for the thermomechanical test and direction of the cantilever load .....                                                    | 41 |
| Figure 8 – Water immersion .....                                                                                                                                       | 42 |
| Figure 9 – Test cycle for accelerated ageing test with polarity reversals, method a).....                                                                              | 52 |
| Figure 10 – Operating voltage of a valve arrester (V) (rectifier operation) and definition of PCOV and CCOV .....                                                      | 63 |
| Figure 11 – Operating voltage of a bridge arrester and definition of DCOV, PCOV and CCOV .....                                                                         | 65 |
| Figure 12 – Plot showing the relative duration of voltage above certain amplitudes.....                                                                                | 73 |
| Figure C.1 – Bending moment – multi-unit surge arrester.....                                                                                                           | 80 |
| Figure C.2 – Definitions of mechanical loads .....                                                                                                                     | 82 |
| Figure C.3 – Surge arrester unit.....                                                                                                                                  | 83 |
| Figure C.4 – Surge-arrester dimensions.....                                                                                                                            | 84 |
| Figure C.5 – Flow chart of bending moment test procedures .....                                                                                                        | 85 |
| Figure D.1 – Single line diagram of CSCC converter station with two 12-pulse converters in series .....                                                                | 86 |
| Figure D.2 – Single line diagram of back-to-back converter station with two 12-pulse converters in series .....                                                        | 87 |
| Table 1 – Summary of type tests – 1 .....                                                                                                                              | 64 |
| Table 2 – Summary of type tests – 2 .....                                                                                                                              | 71 |

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**SURGE ARRESTERS –****Part 9: Metal-oxide surge arresters without  
gaps for 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 60099-9 has been prepared by IEC technical committee 37: Surge arresters.

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

| FDIS        | Report on voting |
|-------------|------------------|
| 37/417/FDIS | 37/422/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 60099 series, published under the general title *Surge arresters*, 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.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60099-9:2014

## **SURGE ARRESTERS –**

### **Part 9: Metal-oxide surge arresters without gaps for HVDC converter stations**

#### **1 Scope**

This part of IEC 60099 applies to non-linear metal-oxide resistor type surge arresters without spark gaps designed to limit overvoltages in HVDC converter stations of two terminal, multiterminal and back-to-back type up to and including an operating voltage of 1 100 kV. The standard applies in general to porcelain-housed and polymer-housed type arresters but also to gas-insulated metal enclosed arresters (GIS-arresters) solely used as d.c. bus and d.c. line/cable arresters. Arresters for voltage source converters are not covered. Arresters applied on the a.c. systems at the converter station and subjected to power-frequency voltage of 50 or 60 Hz principally without harmonics are tested as per IEC 60099-4. The arresters on a.c.-filters are tested according to 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 60060-2, *High-voltage test techniques – Part 2: Measuring systems*

IEC 60068-2-11:1981, *Environmental testing – Part 2: Tests. Test Ka: Salt mist*

IEC 60068-2-14, *Environmental testing – Part 2-14: Tests – Test N: Change of temperature*

IEC 60068-2-17, *Basic environmental testing procedures – Part 2-17: Tests – Test Q: Sealing*

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

IEC TS 60071-5:2002, *Insulation co-ordination – Part 5: Procedures for high-voltage direct current (HVDC) converter stations*

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

IEC 60143-2, *Series capacitors for power systems – Part 2: Protective equipment for series capacitor banks*

IEC 60270, *High-voltage test techniques – Partial discharge measurements*

IEC 60721-3-2, *Classification of environmental conditions – Part 3: Classification of groups of environmental parameters and their severities – Section 2: Transportation*

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 62217, *Polymeric HV insulators for indoor and outdoor use – General definitions, test methods and acceptance criteria*

IEC 62271-200:2011, *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 62271-203:2011, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 203: Gas-insulated metal-enclosed switchgear for rated voltages above 52 kV*

CISPR 16-1-1, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 1-1: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – Measuring apparatus*

CISPR/TR 18-2, *Radio interference characteristics of overhead power lines and high-voltage equipment – Part 2: Methods of measurement and procedure for determining limits*

### 3 Terms and definitions

For the purpose of this document, the following terms and definitions apply.

#### 3.1 acceptance tests

tests made on arresters or representative samples after agreement between manufacturer and user

#### 3.2 bending moment

force perpendicular to the longitudinal axis of an arrester multiplied by the vertical distance between the mounting base (lower level of the flange) of the arrester and the point of application of the force

#### 3.3 breaking load

force perpendicular to the longitudinal axis of a porcelain-housed arrester leading to mechanical failure of the arrester housing

#### 3.4 continuous current of an arrester

current flowing through the arrester when energized at the continuous operating voltage

Note 1 to entry: The continuous current, which consists of a resistive and a capacitive component, may vary with temperature, stray capacitance and external pollution effects. The continuous current of a test sample may, therefore, not be the same as the continuous current of a complete arrester.

Note 2 to entry: The continuous current is, for comparison purposes, expressed either by its r.m.s. or peak value.

#### 3.5 continuous operating voltage of an HVDC-arrester

$U_{\text{CHVDC}}$

maximum continuous voltage characterized by the voltages CCOV, PCOV and DCOV and the frequency DFCOV where applicable and that may be applied continuously between the arrester terminals

#### 3.6 coordination current of an arrester

for a given system under study and for each class of overvoltage, the current through the arrester for which the representative overvoltage is determined

Note 1 to entry: Standard shapes of coordination currents for steep-front, lightning and switching current impulses are given in IEC 60099-4.

Note 2 to entry: The coordination currents are determined by system studies.

### 3.7

#### **crest value of continuous operating voltage**

##### **CCOV**

highest continuously occurring crest value of the voltage across the arrester excluding commutation overshoots and commutation notches and calculated with a system model valid for up to approximately 5 kHz

Note 1 to entry: As an example, see Figure 10, given for valve arresters.

### 3.8

#### **damage limit (mechanical)**

lowest value of a force perpendicular to the longitudinal axis of a polymer-housed arrester leading to mechanical failure of the arrester housing

### 3.9

#### **d.c. component of the continuous operating voltage**

##### **DCOV**

highest mean or average of the continuous operating voltage,  $U_{\text{CHVDC}}$ , across the arrester, excluding harmonics and commutation overshoots

Note 1 to entry: As an example, see Figure 11, given for bridge arrester.

### 3.10

#### **d.c. system voltage**

highest mean or average operating voltage to earth, excluding harmonics and commutation overshoots

### 3.11

#### **designation of an impulse shape**

combination of two numbers, the first representing the virtual front time ( $T_1$ ) and the second the virtual time to half-value on the tail ( $T_2$ )

Note 1 to entry: It is written as  $T_1/T_2$ , both in microseconds, the sign "/" having no mathematical meaning.

### 3.12

#### **discharge current of an arrester**

impulse current which flows through the arrester

### 3.13

#### **disruptive discharge**

phenomenon associated with the failure of insulation under electric stress, which includes a collapse of voltage and the passage of current

Note 1 to entry: The term applies to electrical breakdowns in solid, liquid and gaseous dielectric, and combinations of these.

Note 2 to entry: A disruptive discharge in a solid dielectric produces permanent loss of electric strength. In a liquid or gaseous dielectric the loss may be only temporary.

### 3.14

#### **dominant frequency of continuous operating voltage**

##### **DFCOV**

the frequency of the harmonic with highest rms-value in the voltage across d.c. and a.c. filter arresters

### 3.15

#### **electrical unit**

portion of an arrester in which each end of the unit is terminated with an electrode which is exposed to the external environment

Note 1 to entry: An electrical unit may have more than one mechanical unit (see Figure 4 of IEC 60099-4:2004/AMD1:2009).

### 3.16

#### **equivalent continuous operating voltage of an arrester**

##### **ECOV**

r.m.s. value of the sinusoidal power-frequency voltage or d.c. voltage at a metal-oxide surge arrester stressed by operating voltage of any wave shape that generates the same power losses in the metal-oxide material as the actual operating voltage

### 3.17

#### **flashover**

disruptive discharge over a solid surface

### 3.18

#### **front of an impulse**

part of an impulse which occurs prior to the peak

### 3.19

#### **gas-insulated metal enclosed surge arrester**

##### **GIS-arrester**

gas-insulated metal-enclosed metal-oxide surge arrester without any integrated series or parallel spark gaps, filled with gas other than air

Note 1 to entry: The gas pressure is normally higher than 1 bar =  $10^5$ Pa.

Note 2 to entry: A surge arrester used in gas-insulated switchgear.

### 3.20

#### **grading ring of an arrester**

metal part, usually circular in shape, mounted to modify electrostatically the voltage distribution along the arrester

### 3.21

#### **high current impulse of an arrester**

peak value of discharge current having a 4/10 impulse shape which is used to test the stability of the arrester on direct lightning strokes

### 3.22

#### **housing**

external insulating part of an arrester, which provides the necessary creepage distance and protects the internal parts from the environment

Note 1 to entry: Housing may consist of several parts providing mechanical strength and protection against the environment.

### 3.23

#### **impulse**

unidirectional wave of voltage or current which, without appreciable oscillations, rises rapidly to a maximum value and falls, usually less rapidly, to zero with small, if any, excursions of opposite polarity, with defining parameters being polarity, peak value, front time and time to half-value on the tail

**3.24****insulating base**

a short insulator (or set of insulators) on which the arrester is mounted to provide a means of connecting a current monitoring device between the base of the arrester and earth

**3.25****internal grading system of an arrester**

grading impedances, in particular grading capacitors connected in parallel to one single or to a group of non-linear metal-oxide resistors, to control the voltage distribution along the MO resistor stack

**3.26****internal parts**

MO resistors with supporting structure and internal grading system, if equipped

**3.27****lightning current impulse**

8/20 current impulse with limits on the adjustment of equipment such that the measured values are from 7  $\mu$ s to 9  $\mu$ s for the virtual front time and from 18  $\mu$ s to 22  $\mu$ s for the time to half-value on the tail

Note 1 to entry: The time to half-value on the tail is not critical and may have any tolerance during the residual voltage type tests (see 9.10).

**3.28****lightning impulse coordination current**

$I_{lco}$

a coordination current with a shape equal to the lightning current impulse

**3.29****long-duration current impulse**

rectangular current impulse which rises rapidly to maximum value, remains substantially constant for a specified period and then falls rapidly to zero, with defining parameters being polarity, peak value, virtual duration of the peak and virtual total duration

**3.30****mean breaking load**

**MBL**

the average breaking load for porcelain -housed arresters determined from tests

**3.31****mechanical unit**

portion of an arrester in which the MO resistors within the unit are mechanically restrained from moving in an axial direction

Note 1 to entry: An arrester may contain more than one mechanical units within an electrical unit (see Figure 13 of IEC 60099-4:2004/AMD1:2009).

Note 2 to entry: A mechanical unit may have more than one electrical unit (see Figure 13 of IEC 60099-4:2004/AMD1:2009).

**3.32****metal-oxide surge arrester without gaps**

arrester having non-linear MO resistors connected in series and/or in parallel without any integrated series or parallel spark gaps, incorporated in a housing with terminals for electrical and mechanical connection

Note 1 to entry: Wherever the term “arrester” or “surge arrester” is used in this document, the term refers to a metal-oxide surge arrester without gaps.

### 3.33

#### **non-linear metal-oxide resistor**

#### **MO resistor**

part of the surge arrester which, by its non-linear voltage versus current characteristics, acts as a low resistance to overvoltages, thus limiting the voltage across the arrester terminals, and as a high resistance at normal power-frequency voltage

### 3.34

#### **non-significant continuous operating voltage**

#### **NCOV**

continuous operating voltage which generates power losses in the arresters so low that no test is necessary to verify thermal stability after injection of a specified energy.

Note 1 to entry: It depends both on the applied voltage and on the design of the arrester if the continuous operating voltage ( $U_{CHVDC}$ ) shall be considered as significant or non-significant.

Note 2 to entry: Arresters on neutral bus, metallic return and electrode line and arresters across DC reactor are examples of arresters with non-significant continuous operating voltage.

### 3.35

#### **peak (crest) value of an impulse**

maximum value of a voltage or current impulse

Note 1 to entry: Superimposed oscillations may be disregarded.

### 3.36

#### **peak (crest) value of opposite polarity of an impulse**

maximum amplitude of opposite polarity reached by a voltage or current impulse when it oscillates about zero before attaining a permanent zero value

### 3.37

#### **peak value of continuous operating voltage**

#### **PCOV**

highest continuously occurring crest value of the voltage at the equipment on the d.c. side of the converter station including commutation overshoots, commutation notches and ripple calculated with a model which takes into account stray capacitances/inductances of converter transformers, valves, buswork, etc. and valid for at least 50 kHz

Note 1 to entry: As an example, see Figure 10, given for valve arresters.

### 3.38

#### **polymer-housed surge arrester**

arrester using polymeric and composite materials for housing.

Note 1 to entry: Designs with an enclosed gas volume are possible. Sealing may be accomplished by use of the polymeric material itself or by a separate sealing system.

### 3.39

#### **porcelain-housed surge arrester**

arrester using porcelain as housing material, with fittings and sealing systems

### 3.40

#### **pressure-relief device of an arrester**

means for relieving internal pressure in an arrester and preventing violent shattering of the housing following prolonged passage of fault current or internal flashover of the arrester

### 3.41

#### **prospective current of a circuit**

current which would flow at a given location in a circuit if it were short-circuited at that location by a link of negligible impedance

**3.42****protective characteristics of an arrester**

combination of the following:

- a) residual voltage for steep current impulse excluding and including inductive voltage contribution according to 9.10.2;

Note 1 to entry: The steep current impulse protection level of the arrester is the maximum residual voltage for the steep impulse coordination current.

- b) residual voltage for lightning current impulse according to 9.10.3;

Note 2 to entry: The lightning impulse protection level of the arrester is the maximum residual voltage for the lightning impulse coordination current.

- c) residual voltage for switching current impulse according to 9.10.4

Note 3 to entry: The switching impulse protection level of the arrester is the maximum residual voltage for the switching impulse coordination current.

**3.43****puncture  
breakdown**

disruptive discharge through a solid

**3.44****rated frequency of an arrester**

frequency of the power system on which the arrester is designed to be used

**3.45****rated voltage of an arrester**

$U_r$

r.m.s. value of power-frequency or d.c. voltage equal to the minimum reference voltage (a.c. or d.c.) multiplied by a factor specified by the manufacturer

Note 1 to entry: The rated voltage is used as a reference parameter for the specification of operating characteristics.

**3.46****reference current (a.c.) of an arrester**

$I_{\text{refAC}}$

peak value (the higher peak value of the two polarities if the current is asymmetrical) of the resistive component of power-frequency current used to determine the reference voltage (a.c.) of the arrester

Note 1 to entry: The reference current should be high enough to make the effects of stray capacitances at the measured reference voltage of the arrester units (with designed grading system) negligible and is to be specified by the manufacturer. The reference current will be typically in the range of 0,05 mA to 1,0 mA per square centimetre of disc area for single column arresters.

**3.47****reference current (d.c.) of an arrester**

$I_{\text{refDC}}$

peak value (the higher peak value of the two polarities if the current is asymmetrical) of the resistive current used to determine the reference voltage (d.c.) of the arrester

Note 1 to entry: The reference current will be typically in the range of 0,01 mA to 0,5 mA per square centimetre of disc area for single column arresters.

### 3.48

#### reference voltage (a.c.) of an arrester

$U_{\text{refAC}}$

peak value of power-frequency voltage divided by  $\sqrt{2}$  which is applied to the arrester to obtain the reference current

Note 1 to entry: The reference voltage of a multi-unit arrester is the sum of the reference voltages of the individual units.

Note 2 to entry: Measurement of the reference voltage is necessary for the selection of a correct test sample in the test to verify the thermal energy rating (see 9.14).

### 3.49

#### reference voltage (d.c.) of an arrester

$U_{\text{refDC}}$

DC voltage which is applied to the arrester to obtain the reference current

Note 1 to entry: The reference voltage of a multi-unit arrester is the sum of the reference voltages of the individual units.

Note 2 to entry: Measurement of the reference voltage is necessary for the selection of a correct test sample in the test to verify the thermal energy rating (see 9.14).

### 3.50

#### repetitive charge transfer rating

$Q_{\text{rs}}$

maximum specified charge transfer capability of an arrester, in the form of a single event or group of surges that may be transferred through an arrester without causing mechanical failure or unacceptable electrical degradation to the MO resistor.

Note 1 to entry: The charge is calculated as the absolute value of current integrated over time. For the purpose of this standard this is the charge that is accumulated in a single event or group of surges lasting for not more than 2 s and which may be followed by a subsequent event at a time interval not shorter than 60 s.

### 3.51

#### residual voltage of an arrester

$U_{\text{res}}$

peak value of voltage that appears between the terminals of an arrester during the passage of discharge current

Note 1 to entry: The term "discharge voltage" is used in some countries.

### 3.52

#### routine tests

tests made on each arrester, or on parts and materials, as required, to ensure that the product meets the design specifications

### 3.53

#### seal (gas/water tightness)

ability of an arrester to avoid ingress of matter affecting the electrical and/or mechanical behaviour into the arrester

### 3.54

#### section of an arrester

##### prorated section

complete, suitably assembled part of an arrester necessary to represent the behaviour of a complete arrester with respect to a particular test

Note 1 to entry: A section of an arrester is not necessarily a unit of an arrester. For certain tests, a MO resistor alone constitutes a section.

**3.55****shed**

insulating part projecting from the housing, intended to increase the creepage distance

**3.56****specified long-term load****SLL**

force perpendicular to the longitudinal axis of an arrester, allowed to be continuously applied during service without causing any mechanical damage to the arrester

**3.57****specified short-term load****SSL**

greatest force perpendicular to the longitudinal axis of an arrester, allowed to be applied during service for short periods and for relatively rare events (for example, short-circuit current loads and extreme wind gusts) without causing any mechanical damage to the arrester

Note 1 to entry: SSL does not relate to mechanical strength requirements for seismic loads (see C.2).

**3.58****steep current impulse**

current impulse with a virtual front time of 1  $\mu\text{s}$  with limits in the adjustment of equipment such that the measured values are from 0,9  $\mu\text{s}$  to 1,1  $\mu\text{s}$  and the virtual time to half-value on the tail is not longer than 20  $\mu\text{s}$

Note 1 to entry: The time to half-value on the tail is not critical and may have any tolerance during the residual voltage type tests (see 9.10).

**3.59****steep impulse coordination current** **$I_{\text{stico}}$** 

a coordination current with a shape equal to the steep current impulse

**3.60****switching current impulse of an arrester**

peak value of discharge current having a virtual front time greater than 30  $\mu\text{s}$  but less than 100  $\mu\text{s}$  and a virtual time to half-value on the tail of roughly twice the virtual front time

**3.61****switching impulse coordination current** **$I_{\text{swico}}$** 

a coordination current with a shape equal to the switching current impulse

**3.62****tail of an impulse**

part of an impulse which occurs after the peak

**3.63****terminal line force**

force perpendicular to the longitudinal axis of the arrester measured at the centre line of the arrester

**3.64****thermal energy rating** **$W_{\text{th}}$** 

maximum specified energy, given in kJ/kV of  $U_r$ , that may be injected into an arrester or arrester section in a thermal energy test within 3 minutes time duration without causing a thermal runaway.

Note 1 to entry: This rating is verified in the thermal energy test.

### 3.65

#### **thermal runaway of an arrester**

situation when the sustained power loss of an arrester exceeds the thermal dissipation capability of the housing and connections, leading to a cumulative increase in the temperature of the MO resistor elements culminating in failure

### 3.66

#### **thermal stability of an arrester**

state of an arrester if, after an operating duty causing temperature rise, the temperature of the MO resistors decreases with time when the arrester is energized at specified continuous operating voltage and at specified ambient conditions

### 3.67

#### **torsional loading**

each horizontal force at the top of a vertical mounted arrester housing which is not applied to the longitudinal axis of the arrester

### 3.68

#### **type tests**

#### **design tests**

tests which are made upon the completion of the development of a new arrester design to establish representative performance and to demonstrate compliance with the relevant standard

Note 1 to entry: Once made, these tests need not be repeated unless the design is changed so as to modify its performance. In such a case, only the relevant tests need be repeated.

### 3.69

#### **unipolar sine half-wave current impulse**

a unipolar current impulse consisting of one half-cycle of an approximately sinusoidal current

### 3.70

#### **unit of an arrester**

#### **arrester unit**

completely housed part of an arrester which may be connected in series and/or in parallel with other units to construct an arrester of higher voltage and/or current rating

Note 1 to entry: A unit of an arrester is not necessarily a section of an arrester.

### 3.71

#### **virtual duration of the peak of a rectangular impulse**

time during which the amplitude of the impulse is greater than 90 % of its peak value

### 3.72

#### **virtual front time of a current impulse**

$T_1$

time in microseconds equal to 1,25 multiplied by the time in microseconds for the current to increase from 10 % to 90 % of its peak value

Note 1 to entry: If oscillations are present on the front, the reference points at 10 % and 90 % should be taken on the mean curve drawn through the oscillations.

### 3.73

#### **virtual origin of an impulse**

point on a graph of voltage versus time or current versus time determined by the intersection between the time axis at zero voltage or zero current and the straight line drawn through two reference points on the front of the impulse

Note 1 to entry: For current impulses the reference points shall be 10 % and 90 % of the peak value.

Note 2 to entry: This definition applies only when scales of both ordinate and abscissa are linear.

Note 3 to entry: If oscillations are present on the front, the reference points at 10 % and 90 % should be taken on the mean curve drawn through the oscillations.

### 3.74

#### **virtual steepness of the front of an impulse**

quotient of the peak value and the virtual front time of an impulse

### 3.75

#### **virtual time to half-value on the tail of an impulse**

$T_2$

time interval between the virtual origin and the instant when the voltage or current has decreased to half its peak value, expressed in microseconds

### 3.76

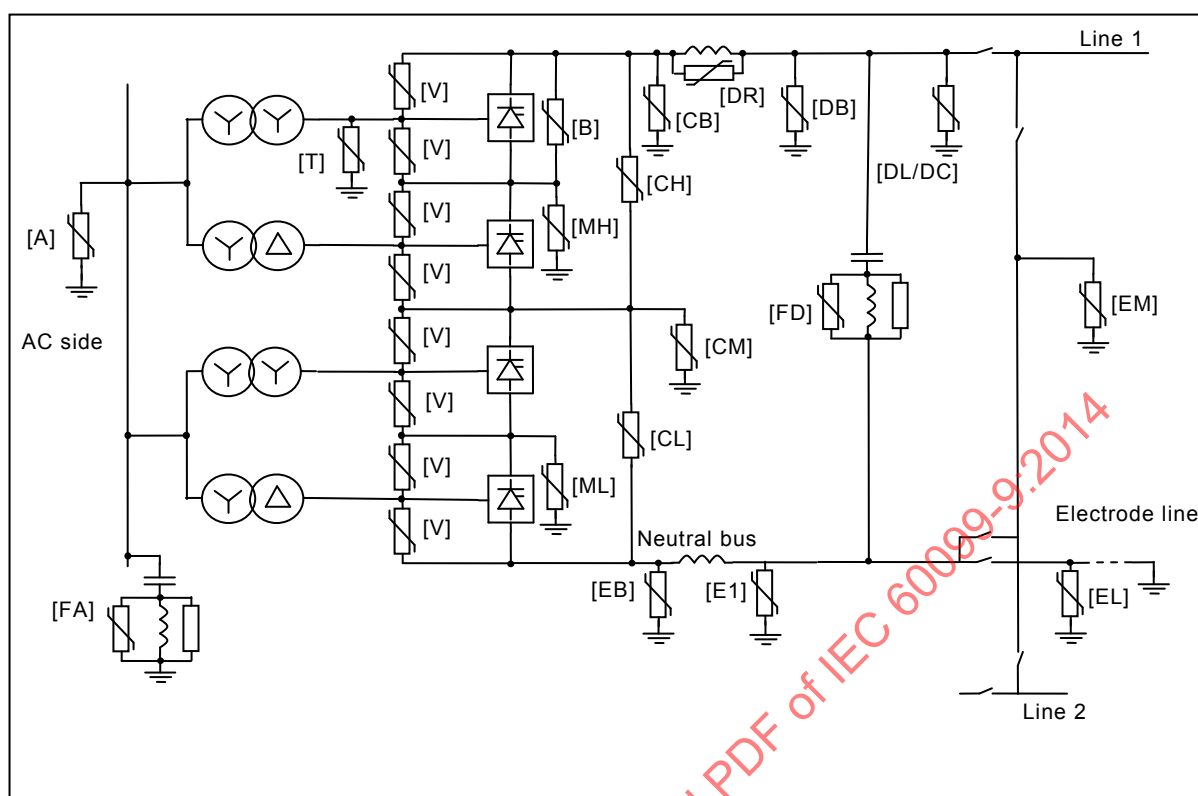
#### **virtual duration of a rectangular impulse**

time during which the amplitude of the impulse is greater than 10 % of its peak value

Note 1 to entry: If small oscillations are present on the front, a mean curve should be drawn in order to determine the time at which the 10 % value is reached.

## **4 Typical HVDC converter station schemes, arrester types, locations and operating voltage**

Figures 1 to 3 show the single line diagrams of typical HVDC converter stations equipped with one or two 12-pulse converter bridges in series. The main differences between the schemes consist in the presence, or not, of commutated capacitors or controlled series capacitors on the a.c. side of the HVDC converter station. Possible arrester locations are shown in Figures 1 to 3. Some of these arresters may be redundant and could be excluded depending on the specific design. In Figures 4 and 5 typical shapes of the operating voltages are shown. For the curves in Figure 4 a low-frequency model has been used to calculate the voltage curves which result in the “classic” shapes. For the curves in Figure 5 a more accurate high-frequency modelling has been used. In general the more accurate modelling gives higher voltage peaks which should be taken into account in the design and testing of the arresters. The low-frequency curves are given for a better understanding. In general the low-frequency modelling here is valid for up to approximately 5 kHz and the high-frequency modelling from 50 kHz to 1 MHz. For valve arresters normally the operating voltage is calculated with the arresters connected since the commutation overshoots may be affected by the arrester. If the voltage instead is calculated without the arresters this in general results in a more conservative result, i.e. higher voltage peaks. However, if the arrester is allowed to limit the commutation overshoots during service the continuous power losses in the arrester must be determined taking into account this limitation.



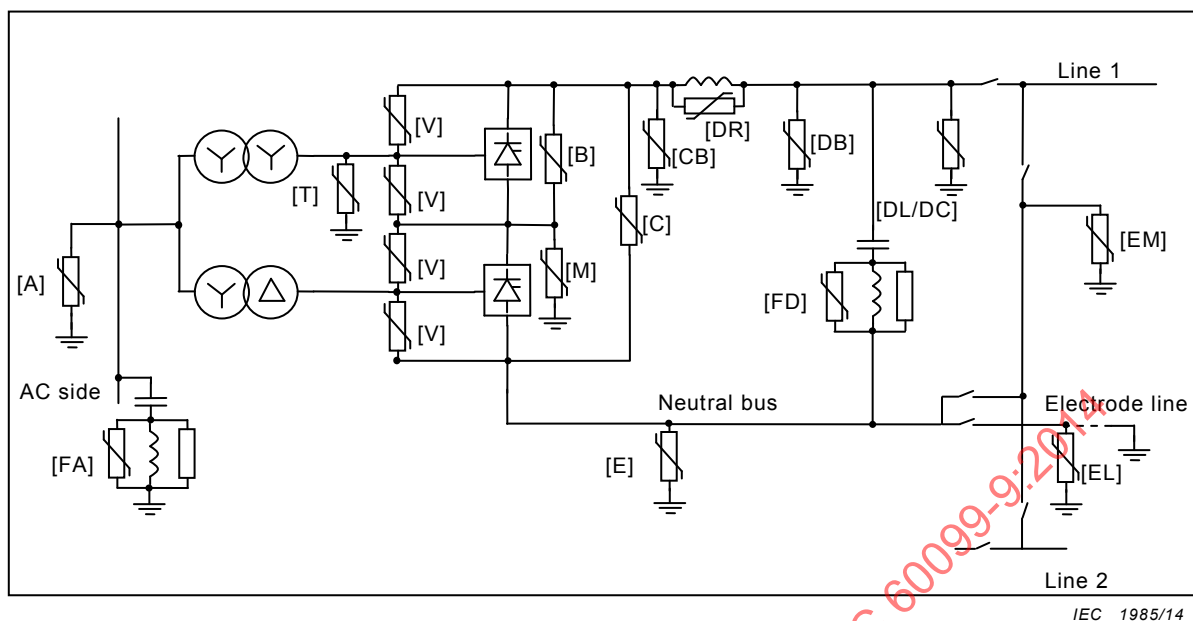
IEC 1984/14

# Key

|     |                                                  |        |                                                              |     |                                                 |
|-----|--------------------------------------------------|--------|--------------------------------------------------------------|-----|-------------------------------------------------|
| A:  | a.c. arresters                                   | DL/DC: | d.c. line/cable arrester                                     | FD: | d.c. filter arrester                            |
| B:  | bridge arrester                                  | DR:    | smoothing reactor arrester                                   | MH: | mid-point bridge arrester (high-voltage bridge) |
| CB: | converter unit d.c. bus arrester                 | EB:    | converter neutral arrester (valve side of smoothing reactor) | ML: | mid-point bridge arrester (low-voltage bridge)  |
| CH: | HV converter unit arrester (high voltage bridge) | EL:    | electrode line arrester                                      | T:  | transformer valve winding arrester              |
| CL: | LV converter unit arrester (low voltage bridge)  | EM:    | metallic return arrester                                     | V:  | valve arrester                                  |
| CM: | arrester between converters                      | E1:    | d.c. neutral bus arrester (line side of smoothing reactor)   |     |                                                 |
| DB: | d.c. bus arrester                                | FA:    | a.c. filter arrester                                         |     |                                                 |

NOTE The d.c. and a.c. filters may be much more complex than shown in the figure. Not all arresters are used for every project. The figure does not show exact location of the arresters e.g. the a.c. arresters are usually located close to the transformers.

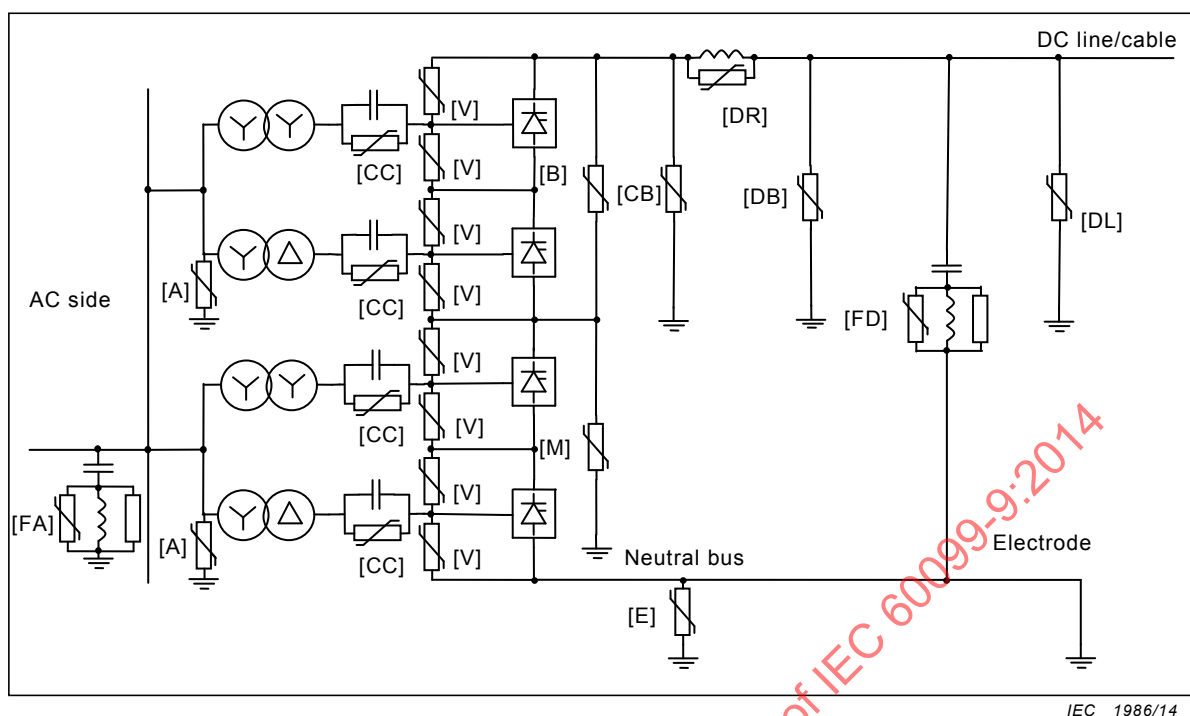
**Figure 1 – Single line diagram of typical converter station with two 12-pulse converter bridges per pole**

**Key**

|     |                                  |        |                            |     |                                    |
|-----|----------------------------------|--------|----------------------------|-----|------------------------------------|
| A:  | a.c. arresters                   | DL/DC: | d.c. line/cable arrester   | FA: | a.c. filter arrester               |
| B:  | bridge arrester (6-pulse)        | DR:    | smoothing reactor arrester | FD: | d.c. filter arrester               |
| C:  | converter unit arrester          | E:     | d.c. neutral bus arrester  | M:  | mid-point d.c. bus arrester        |
| CB: | converter unit d.c. bus arrester | EL:    | electrode line arrester    | T:  | transformer valve winding arrester |
| DB: | d.c. bus arrester                | EM:    | metallic return arrester   | V:  | valve arrester                     |

NOTE The d.c. and a.c. filters may be much more complex than shown in the figure. Not all arresters are used for every project.

**Figure 2 – Single line diagram of typical converter station with one 12-pulse converter bridge per pole**



IEC 1986/14

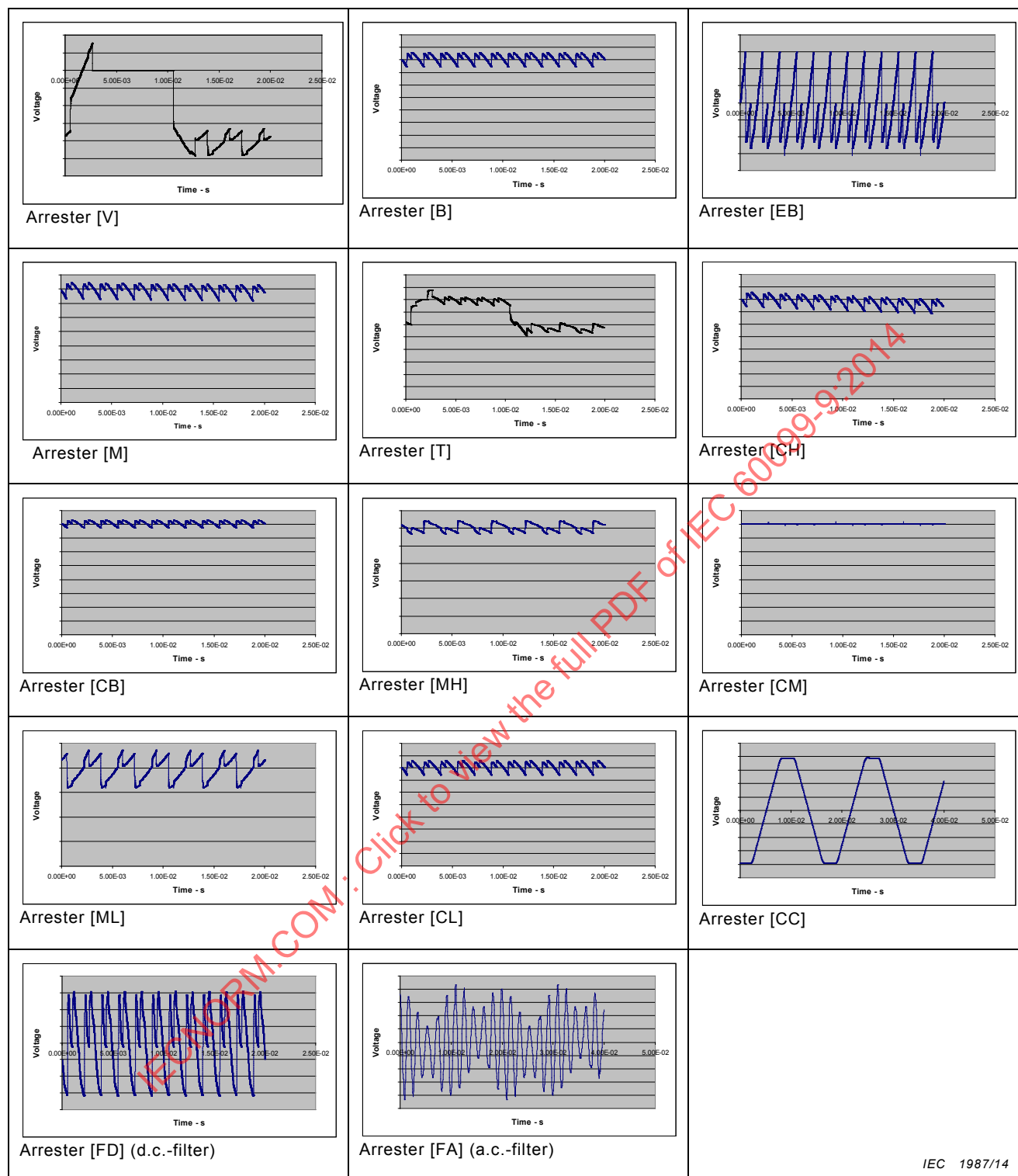
#### Key

|     |                                  |        |                            |     |                             |
|-----|----------------------------------|--------|----------------------------|-----|-----------------------------|
| A:  | a.c. arresters                   | DB:    | d.c. bus arrester          | FA: | a.c. filter arrester        |
| B:  | bridge arrester (6-pulse)        | DL/DC: | d.c. line/cable arrester   | FD: | d.c. filter arrester        |
| CB: | converter unit d.c. bus arrester | DR:    | smoothing reactor arrester | M:  | mid-point d.c. bus arrester |
| CC: | capacitor arrester               | E:     | d.c. neutral bus arrester  | V:  | valve arrester              |

NOTE The d.c. and a.c. filters may be much more complex than shown in the figure. Not all arresters are used for every project.

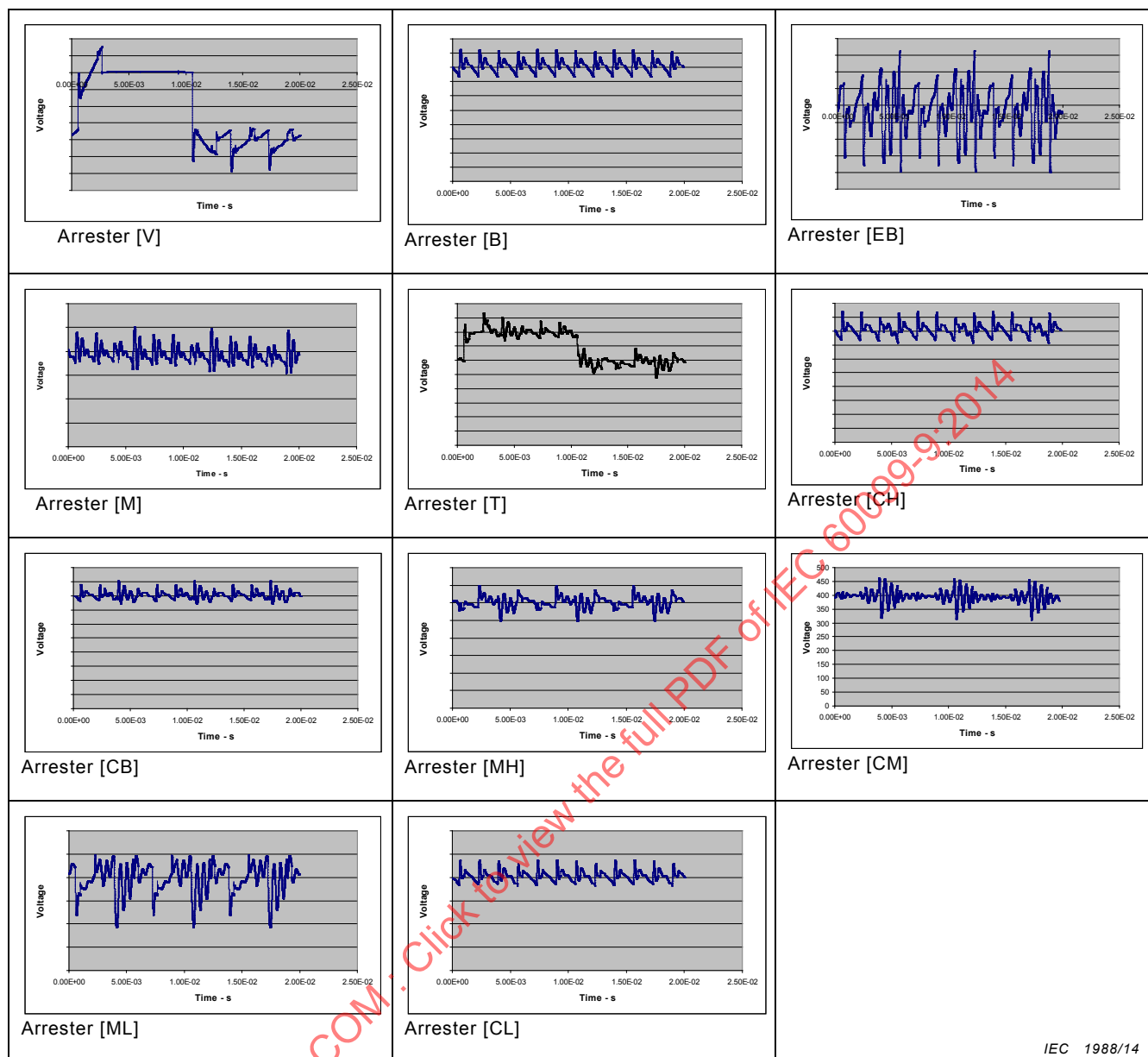
**Figure 3 – Single line diagram of typical capacitor commutated converter (CCC) pole with two 12-pulse converters in series**

Other circuit configurations are shown in Figures D.1 and D.2 in Annex D.



IEC 1987/14

**Figure 4 – Typical continuous operating voltages for different arresters – low-frequency modelling (location as per Figures 1 to 3, fundamental frequency 50 Hz)**



IEC 1988/14

**Figure 5 – Typical continuous operating voltages for different arresters – high-frequency modelling (location as per Figures 1 to 3, fundamental frequency 50 Hz)**

## 5 Identification and classification

### 5.1 Arrester identification

Metal-oxide surge arresters for HVDC applications shall be identified by the following minimum information which shall appear on a nameplate permanently attached to the arrester:

- continuous operating voltage where applicable defined by
  - CCOV
  - PCOV
  - DCOV
  - ECOV;
- rated voltage;

- rated short-circuit withstand current in kiloamperes (kA). For arresters for which no short-circuit rating is claimed, the sign “0” shall be indicated;
- residual voltage at specified coordination current (where applicable) given in x kV at y kA;
- the manufacturer’s name or trade mark, type and identification of the complete arrester;
- identification of the assembling position of the unit (for multi-unit arresters only);
- the year of manufacture;
- serial number;
- for GIS arresters the rated gas pressure for insulation at 20 °C.

## 5.2 Arrester classification

Surge arresters, covered by this standard, are classified by their location and main protection purpose (e.g. valve arrester, d.c. bus arrester, neutral bus arrester, etc.).

## 6 Service conditions

### 6.1 Normal service conditions

Surge arresters which conform to this standard shall be suitable for normal operation under the following service conditions:

- a) for outdoor installation ambient temperature within the range  $-40\text{ °C}$  to  $+40\text{ °C}$ ;
- b) solar radiation of maximum  $1,1\text{ kW/m}^2$ ;
- c) for indoor installation in valve halls ambient temperature within the range  $+5\text{ °C}$  to  $+60\text{ °C}$ . The temperature in the valve halls may be controlled to a lower value than  $60\text{ °C}$  which in such case could be considered in determining the start temperature in the thermal recovery test (see 9.14.3.2 and Annex B);
- d) altitude not exceeding 1 000 m;
- e) wind speed  $\leq 34\text{ m/s}$ ;
- f) vertical erection;
- g) voltage applied continuously between the terminals of the arrester not exceeding its continuous operating voltage.

### 6.2 Abnormal service conditions

Surge arresters subject to other than normal application or service conditions may require special consideration in design, manufacture or application. The use of this standard in case of abnormal service conditions is subject to agreement between the manufacturer and the user. Possible abnormal service conditions are:

- a) temperature in excess of  $+40\text{ °C}$  for outdoor installation and in excess of  $+60\text{ °C}$  for indoor installations or below  $-40\text{ °C}$ ;
- b) applications at altitude higher than 1 000 m;
- c) fumes or vapours which may cause deterioration of insulating surface or mounting hardware;
- d) excessive contamination by smoke, dirt, salt spray or other conducting materials;
- e) excessive exposure to moisture, humidity, dropping water or steam;
- f) live washing of arrester;
- g) explosive mixtures of dust, gases or fumes;
- h) abnormal mechanical conditions (earthquake (see Annex C.2), vibrations, wind velocity  $> 34\text{ m/s}$ , high ice loads, high cantilever stresses);
- i) unusual transportation or storage;

- j) heat sources near the arrester;
- k) non-vertical erection and suspended erection;
- l) torsional loading of the arrester;
- m) tensile loading of the arrester;
- n) use of the arrester as mechanical support;
- o) high magnetic fields due to close vicinity to reactors.

## 7 Requirements

### 7.1 Insulation withstand of the arrester housing

The arrester shall be designed such that the housings are able to adequately withstand voltages during conduction of lightning and switching impulse currents and during anticipated maximum power frequency and d.c. overvoltages. The external insulation withstand capability of the housings of porcelain and polymer-housed arresters shall be demonstrated by tests according to 9.2 and the insulation withstand capability of GIS arresters shall be tested in accordance with 11.7.4.2, while the internal insulation withstand capability shall be demonstrated by tests according to 9.15 or 9.14.3.1.

### 7.2 Reference voltage

The reference voltage ( $U_{\text{refAC}}$  or  $U_{\text{refDC}}$ ) (see 3.48 and 3.49) of each arrester shall be measured by the manufacturer at the reference current ( $I_{\text{refAC}}$  or  $I_{\text{refDC}}$ ) selected by the manufacturer (see 3.46 and 3.47). The minimum reference voltage of the arrester at the reference current for routine tests shall be specified and published in the manufacturer's data.

### 7.3 Residual voltage

The purpose of the measurement of residual voltages is to obtain the maximum residual voltages for a given design for all specified currents and wave shapes. These are derived from the type test data and from the maximum residual voltage at a lightning impulse current used for routine tests as specified and published by the manufacturer.

The maximum residual voltage of a given arrester design for any current and wave shape is calculated from the residual voltage of sections tested during type tests multiplied by a specific scale factor. This scale factor is equal to the ratio of the declared maximum residual voltage, as checked during the routine tests, to the measured residual voltage of the sections at the same current and wave shape.

Manufacturers' literature shall contain, for each arrester listed, the following residual voltage information:

- Maximum lightning impulse residual voltage at the lightning impulse coordination current of the arrester (see 9.10.3)
- Maximum switching impulse residual voltage at the switching impulse coordination current of the arrester (see 9.10.4)
- Maximum steep current impulse residual voltage, excluding inductive voltage contribution, for an impulse current having peak value equal to the steep impulse coordination current of the arrester (see 9.10.2)
- Maximum steep current impulse residual voltage, including inductive voltage contribution, for an impulse current having peak value equal to the steep impulse coordination current of the arrester. This residual voltage shall be equal to

Maximum steep current impulse residual voltage (see 9.10.2), excluding inductive voltage contribution + Magnitude of inductive voltage drop ( $U_L$ )

where  $U_L$  is calculated as follows:

$$U_L = L \times di/dt = L' \times h \times I_{stico}/T_f$$

where

$U_L$  is the peak value of the inductive voltage drop (kV);

$L'$  is the inductivity per unit length ( $\mu\text{H}/\text{m}$ );

$L' = 1$  for outdoor and indoor arresters except valve arrester;

$L' = 0,6$  for valve arresters if located in close vicinity (within a few meters) from the thyristor valves;

$L' = 0,3$  for GIS arresters;

$h$  is the terminal-to-terminal length of the arrester (m);

$T_f$  is the front time of the steep current impulse; equal to 1  $\mu\text{s}$ ;

$I_{stico}$  is the steep impulse coordination current (kA).

NOTE The contribution of inductive voltage drop is significant only for steep current impulses. It effectively increases the protective level of the arrester above the MO resistor-only steep current impulse residual voltage determined from 9.10.2. The maximum steep current impulse residual voltage including inductive voltage contribution is provided for users who wish to perform insulation coordination studies.

#### 7.4 Internal partial discharge

Under normal and dry operating conditions, internal partial discharges shall be below a level that might cause damage to internal parts. This shall be demonstrated by tests according to 9.4.

#### 7.5 Seal leak rate

For arresters having an enclosed gas volume and a separate sealing system, seal leak rates shall be specified as defined in 9.8 and item d) of 10.1.

#### 7.6 Current distribution in a multi-column arrester and between matched arresters

The manufacturer shall specify the highest allowed difference between currents in columns of a multi-column arrester, see item e) of 10.1, and between currents in arresters of a set of matched arresters, see item f) of 10.1.

#### 7.7 Long term stability under continuous operating voltage

MO resistors shall be subjected to an accelerated ageing test to provide assurance that they will exhibit stable conditions over the anticipated lifetime of the arrester (see 9.11).

#### 7.8 Repetitive charge transfer withstand

Arresters shall withstand repetitive charge transfers as checked during type tests (see 9.12).

The repetitive charge transfer withstand is demonstrated on individual MO resistors in the test to verify the repetitive charge transfer rating (see 9.12.2).

Due to the large number of MO resistors involved in HVDC projects and to ensure the validity, charge transfer capability shall be verified by tests on project basis but which have not to be performed more than once a year or by sample tests on every manufactured batch of MO resistors used for such projects.

NOTE There may be special applications where single event charge transfers cause energy dissipations higher than the rated thermal energy rating.

#### 7.9 Thermal energy capability

Arresters, except those with non-significant continuous operating voltage (3.34), shall have a thermal energy rating as checked by type tests (9.14).

### 7.10 Short-circuit performance

The manufacturer shall declare a short-circuit current rating for each family of arresters. Only for applications with expected short-circuit currents below 1 kA the rated value “zero” may be claimed. In this case “0” shall be indicated on the name plate (see 5.1). In any case, the arrester shall be subjected to a short-circuit test according to 9.3 to show that it will not fail in a manner that causes violent shattering of the housing and that self-extinguishing of open flames (if any) occurs within a defined period of time.

For GIS-arresters the design of the metallic enclosures shall meet the requirements of 5.103 of IEC 62271-203:2011 or 5.102 of IEC 62271-200:2011. If the arrester has a separate internal enclosure with a pressure-relief device different from that of the metallic vessel, 9.3 applies. In this case, it is necessary that a test be performed only with the rated short-circuit current.

### 7.11 Requirements on internal grading components

Internal grading components, if used in the arrester, shall be able to withstand the combination of stresses arising in service, and the impedance of the grading components shall also show sufficient stability during the service life. This shall be demonstrated by the test to verify the thermal energy rating (see 9.14.3) being performed with internal grading components included in the test sections.

Furthermore, the components shall withstand the accelerated ageing and cyclic tests as specified in 9.16.

NOTE If the arrester has a non-significant continuous operating voltage, 9.15 applies instead of 9.14.3.

### 7.12 Mechanical loads

#### 7.12.1 General

The manufacturer shall, except for GIS arresters, specify the maximum permissible terminal loads relevant for installation and service, such as cantilever, torque and tensile loads.

#### 7.12.2 Bending moment

The arrester shall be able to withstand the manufacturer's declared values for bending loads (see 9.5).

When determining the mechanical load applied to a surge arrester, the user should consider, for example, wind, ice and electromagnetic forces likely to affect the installation.

Surge arresters enclosed within their package should withstand the transportation loads specified by the user in accordance with IEC 60721-3-2, but not less than Class 2M1.

NOTE Unlike porcelain-housed arresters, polymer-housed arresters might show mechanical deflections in service.

#### 7.12.3 Resistance against environmental stresses

The arrester shall be able to withstand environmental stresses as defined in 9.6.

#### 7.12.4 Insulating base

When an arrester is fitted with an insulating base, this device shall withstand the requirements of the test of the bending moment (9.5) without damage.

#### **7.12.5 Mean value of breaking load (MBL)**

For porcelain-housed arresters the MBL shall be  $\geq 1,2$  times the specified short-term load (SSL) (see 9.5.1.4.1). This shall be demonstrated in the bending moment test of 9.5.

#### **7.13 Electromagnetic compatibility**

Arresters are not sensitive to electromagnetic disturbances and therefore no immunity test is necessary.

In normal dry operating conditions, surge arresters shall not emit significant disturbances. For arresters with a continuous operating voltage above 100 kV peak this shall be demonstrated by a radio interference voltage test (RIV) according to 9.9. If the arrester is installed at high potential to ground this should be considered.

#### **7.14 End of life**

On request from users, each manufacturer shall give enough information so that all the arrester components may be scrapped and/or recycled in accordance with international and national regulations.

### **8 General testing procedure**

#### **8.1 Measuring equipment and accuracy**

The measuring equipment shall meet the requirements of IEC 60060-2. The values obtained shall be accepted as accurate for the purpose of compliance with the relevant test clauses. Unless stated elsewhere, all tests with power-frequency voltages shall be made with an alternating voltage having a frequency between the limits of 48 Hz and 62 Hz and an approximately sinusoidal wave shape.

#### **8.2 Reference voltage measurements**

The reference voltage of an arrester (see 3.48 and 3.49) is measured at the reference current (see 3.46 and 3.47) on sections and units when required. The measurement shall be performed at an ambient temperature of  $20\text{ °C} \pm 15\text{ K}$  and this temperature shall be recorded.

As an acceptable approximation, for measurement of the reference voltage at a.c. the peak value of the resistive component of current may be taken to correspond to the momentary value of the current at the instant of voltage peak.

#### **8.3 Test samples**

##### **8.3.1 General**

Unless otherwise specified, all tests shall be made on the same arresters, arrester sections or arrester units. They shall be new, clean, completely assembled (for example, with grading rings if applicable) and arranged to simulate as closely as possible the conditions in service.

For tests involving verification of thermal stability the sections must contain the highest number of parallel columns of MO resistors that is assembled within one arrester housing for the actual design.

When tests are made on sections it is necessary that the sections represent the behaviour of all possible arresters within the manufacturer's tolerances with respect to a specific test.

In general, the samples to verify the repetitive charge transfer rating (see 9.12) shall cover the highest residual voltage specified for the type of MO resistors used in the arrester. In the test to verify thermal energy rating (9.14) the test samples in general shall cover a reference

voltage value at the lower end of the variation range declared by the manufacturer. In case of multi-column arresters, the highest value of uneven current distribution shall be considered. In order to comply with these demands the following shall be fulfilled.

- a) The ratio between the rated voltage of the complete arrester to the rated voltage of the section is defined as  $n$ . The volume of the resistor elements used as test samples shall not be greater than the minimum volume of all resistor elements used in the complete arrester divided by  $n$ .
- b) The reference voltage of the test section should be equal to  $k \times U_r/n$  where  $k$  is the ratio between the minimum reference voltage of the arrester and its rated voltage. If  $U_{ref} > k \times U_r/n$  for an available test sample, the factor  $n$  shall be reduced correspondingly. (If  $U_{ref} < k \times U_r/n$  the arrester may absorb too much energy. Such a section can be used only after agreement from the manufacturer)
- c) For multi-column arresters the distribution of the current between the columns shall be measured at the impulse current for current distribution test (see item e) of 10.1). The highest current value shall not be higher than an upper limit specified by the manufacturer. Furthermore, for tests that are required to be performed on test sections with multiple columns the discharge energy shall be increased by a factor  $\beta_g/\beta_a$  where  $\beta_g$  is the guaranteed current sharing factor and  $\beta_a$  is the actual current sharing factor for the test section. If the test is performed on single columns the energy shall be increased by a factor  $\beta_g$ .
- d) The samples in the test to verify the repetitive charge transfer rating shall be of the longest length of the type of MO resistors used in the design, and shall have a 10-kA residual voltage stress of not less than  $0,97 \times (U_{10 \text{ kA per mm of MO resistor length}})_{max}$ , where  $(U_{10 \text{ kA per mm of MO resistor length}})_{max}$  is the highest 10-kA residual voltage stress specified by the manufacturer for any length of the type of MO resistors used in the arrester. If only samples of lower 10-kA residual voltage stress are available, the required transferred charge shall be increased for the test by the factor  $(U_{10 \text{ kA per mm of MO resistor length}})_{max} / (U_{10 \text{ kA per mm of MO resistor length}})_{actual}$ .
- e) The continuous operating voltage, including CCOV, PCOV and DCOV where applicable, applied to the tests sections to verify thermal recovery shall fulfil the following requirements:
  - The ratio CCOV, PCOV and DCOV (where applicable) to the rated voltage of the section shall be not less than the maximum ratio claimed for the arrester type.

### 8.3.2 Arrester section requirements

#### 8.3.2.1 Thermally prorated section

The arrester section for thermal recovery tests shall thermally represent the arrester being modelled. Thermal equivalence shall be verified according to the procedure specified in Annex A.

The continuous operating voltage of the prorated section shall be at least 3 kV<sub>peak</sub>.

In order to achieve thermal equivalence it may be necessary to introduce components that are usually not part of the design. It has to be assured that these measures do not affect the dielectric strength of the sample during energy or charge injection.

A thermally prorated section may also be a real arrester of the design.

In case of designs with two or more MO columns in parallel the thermally prorated section shall contain the same number of parallel columns as the actual arrester.

Upon agreement between manufacturer and user the thermally prorated section of a multi-column design arrester may contain only one single column if thermal equivalence is achieved.

For GIS arresters (according to 3.19) of multi-column design the thermally prorated section may contain only one single column if thermal equivalence is achieved.

An exact drawing of the thermally prorated section shall be published in the test report.

No further requirements apply, especially not on the design of the prorated section. Therefore, the thermally prorated section needs not to be a sliced portion of the arrester and needs not contain only the same material as in the arrester. It may have a design different to that of the modelled arrester, as long as thermal equivalence and sufficient dielectric strength for the energy and charge injection, respectively, are assured.

Due to the usually very complex internal design of GIS arresters, it may not be practical to carry out the test on test samples with many MO resistor columns in parallel. On the other hand, to achieve thermal equivalence with single-column sections is more realistic in GIS arresters than in AIS arresters because of their better cooling characteristic. Therefore, for GIS arresters according to 3.19, single-column sections are accepted if thermal equivalence as per Annex A can be proven.

### **8.3.2.2 Dielectrically prorated section**

The arrester section for internal dielectric strength tests shall represent a sliced portion of the arrester being modelled, including the MO resistors, the housing and the supporting structure.

The continuous operating voltage of the prorated section shall be at least 3 kV<sub>peak</sub>.

The section shall meet the following requirements: it shall be an exact copy of the real arrester with regard to diameters, materials etc. The mechanically supporting structure shall be included. Elements that are only located at distributed positions in the arrester being modelled, such as distance holders and spacers, shall be present in the model. The active part shall have the same surrounding medium as in the real arrester.

A dielectrically prorated section may also be a real arrester or arrester unit of the design.

An exact drawing of the dielectrically prorated section shall be published in the test report.

For GIS arresters the clause does not apply. The internal components of a GIS arrester shall be tested as per 60099-4.

### **8.3.2.3 Section for residual voltage tests**

The arrester section for the residual voltage tests shall be a complete arrester unit, a stack of series connected MO resistors or an individual MO resistor in still air. For multi-column arresters the section may be made of the actual number of MO resistors or resistor columns in parallel or of only one MO resistor or resistor column, respectively.

### **8.3.2.4 Section for the test to verify the repetitive charge transfer rating, $Q_{rs}$**

The arrester section for the test to verify the repetitive charge transfer rating,  $Q_{rs}$ , shall be an individual MO resistor either in still air or in the actual surrounding medium of the design. The choice is at the discretion of the manufacturer.

## **9 Type tests (design tests)**

### **9.1 General**

Type tests defined in this clause apply to both porcelain-housed and polymer-housed surge arresters, if not specifically mentioned otherwise. All tests and test procedures which are valid for most types of arresters for HVDC stations are given in this clause. Exceptions for

specific arrester types are given in 11. For d.c. bus/line arresters GIS arresters are also considered and covered under 11.7.

NOTE Tests with d.c. voltage e.g. at 1,5 times the nominal d.c. voltage is not specified since such tests cannot be performed with the MO resistors in place and the internal design is tested elsewhere (see 9.14.3.1 and 9.15). The d.c. withstand voltage for external insulation is also relatively higher than for switching and power-frequency withstand voltages.

## **9.2 Insulation withstand test on the arrester housing**

### **9.2.1 General**

The voltage withstand tests demonstrate the voltage withstand capability of the external insulation of the arrester housing. For other designs the test has to be agreed upon between the manufacturer and the user.

The tests shall be performed in the conditions and with the test voltages specified below. The power-frequency voltage test may be replaced by a switching impulse voltage test. The choice is up to the manufacturer. The outside surface of insulating parts shall be carefully cleaned and the internal parts removed or replaced as further specified in 9.2.2 and 9.2.3.

If insulation withstand tests performed on other equipment include the arresters, e.g. test on the thyristor valves, no further tests are required on the arresters. Regarding the arrester housing during such tests 9.2.2 and 9.2.3 apply.

If any of the conditions relating dry arc distance to test voltage, as described in 9.2.6, 9.2.7 or 9.2.8, is fulfilled then the relevant test specified in 9.2.6, 9.2.7 or 9.2.8 need not be performed, since, under these conditions, the insulation withstand voltage of the arrester will inherently meet the minimum requirement.

### **9.2.2 Tests on individual unit housings**

The applicable tests shall be run on the longest arrester housing. If this does not represent the highest specific voltage stress per unit length, additional tests shall be performed on the unit housing having the highest specific voltage stress. For the test, the MO resistors shall be removed from the housing or replaced by insulators.

### **9.2.3 Tests on complete arrester housing assemblies**

For arresters with a CCOV  $\geq 250$  kV, tests shall be performed on completely assembled arresters, except that the MO resistors shall be replaced by resistors, capacitors or MO resistors to obtain, approximately, the same voltage grading of the arrester during high current discharges as would be given by the actual MO resistors used in the arrester. When using MO resistors they shall give a higher protection characteristic than the actual MO resistors. The characteristic of the MO resistors shall be selected to obtain at least 1 A peak during the insulation withstand test. This also means that MO resistors are an alternative for lightning and switching impulse voltage tests but not for a power-frequency voltage test. The tests shall be performed under as realistic conditions as possible with the arrester placed on a pedestal with the minimum height used.

### **9.2.4 Ambient air conditions during tests**

The voltage to be applied during a withstand test is determined by multiplying the specified withstand voltage by the correction factor taking into account density and humidity (see IEC 60060-1).

Humidity correction shall not be applied for wet tests.

### 9.2.5 Wet test procedure

The external insulation of outdoor arresters shall be subjected to wet withstand tests under the test procedure given in IEC 60060-1.

### 9.2.6 Lightning impulse voltage test

The arresters, except capacitor arresters as per 11.12, shall be subjected to a standard lightning impulse voltage dry test according to IEC 60060-1. The test voltage shall be at least equal to:

- The lightning impulse protection level of the arrester (see 3.42) multiplied by:
  - For outdoor arresters and arresters installed indoors at a maximum of the daily (24 h) average ambient temperatures during a year  $T \leq 40\text{ °C}$  with  $1,1 \times e^{1\,000/8\,150}$ .
  - For arresters installed indoors at a maximum of the daily (24 h) average ambient temperatures during a year  $T > 40\text{ °C}$  with  $1,1 \times e^{1\,000/8\,150} \times (273 + T)/313$  where  $T$  is the maximum average ambient temperature in °C.

NOTE The factors cover variation in atmospheric conditions and discharge currents higher than coordinating current. For altitude above 1 000 m (abnormal service condition) "1 000" in the formulas is replaced by actual altitude.

Fifteen consecutive impulses at the test voltage value shall be applied for each polarity. The arrester shall be considered to have passed the test if no internal disruptive discharges occur and if the number of the external disruptive discharges does not exceed two in each series of 15 impulses.

If the dry arcing distance or the sum of the partial dry arcing distances is larger than the test voltage divided by 500 kV/m, this test is not required.

### 9.2.7 Switching impulse voltage test

- The arresters with a CCOV  $\geq 250\text{ kV}$  shall be subjected to a standard switching impulse voltage test according to IEC 60060-1. Arresters for outdoor use shall be tested in wet conditions, arresters for indoor use in dry conditions. The test voltage shall be at least equal to:
- the switching impulse protection level of the arresters (see 3.42) multiplied by:
  - For outdoor arresters and arresters installed indoors at a maximum of the daily (24 h) average ambient temperatures during a year  $T \leq 40\text{ °C}$  with  $1,1 \times e^{m \times 1\,000/8\,150}$  where  $m$  is taken from IEC 60071-2:1996, Figure 9, phase-to-earth insulation and where the value on the abscissa in Figure 9 shall be 1,1 times the switching impulse protection level of the arrester.
  - For arresters installed indoors at a maximum of the daily (24 h) average ambient temperatures during a year  $T > 40\text{ °C}$  with  $1,1 \times e^{m \times 1\,000/8\,150} \times [(273+T)/313]^m$  where  $m$  is taken from IEC 60071-2:1996, Figure 9, phase-to-earth insulation and where the value on the abscissa in Figure 9 shall be 1,1 times the switching impulse protection level of the arrester.

NOTE 1 The factors cover variation in atmospheric conditions and discharge currents higher than coordinating current. For altitude above 1 000 m (abnormal service condition) "1 000" in the formulas is replaced by actual altitude.

When the insulation requirements of arresters calculated from the above are still higher than that decided for the protected equipments the same insulation levels should apply also for the arresters.

Fifteen consecutive impulses at the test voltage value shall be applied for each polarity. The arrester shall be considered to have passed the test if no internal disruptive discharges occur and if the number of the external disruptive discharges does not exceed two in each series of 15 impulses.

If the dry arcing distance or the sum of the partial dry arcing distances is larger than given by the equation  $d = 2,2 \times [e^{(U/1069)} - 1]$ , where  $d$  is the distance in m and  $U$  is the test voltage in kV, this test is not required.

NOTE 2 The equation is derived from formula G.3 of IEC 60071-2:1996, where  $U_{50}$  is given as  $k \times 1\,080 \times \ln(0,46 \times d + 1)$ ,  $k$  is the gap factor and  $d$  is the distance. For the purpose of this standard, the gap factor  $k$  is assumed to be equal to 1,1, and two standard deviations of 0,05 each are taken into account to achieve the withstand voltage.

### 9.2.8 Power-frequency voltage test

The arresters with a CCOV < 250 kV and capacitor arresters (11.12) shall be subjected to a power-frequency voltage test. The housings of arresters for outdoor use shall be tested in wet conditions, and housings of arresters for indoor use, in dry conditions.

- The test voltage, with a duration of 1 min, shall have a peak value at least equal to:
  - For outdoor arresters and arresters installed indoors at a maximum of the daily (24 h) average ambient temperatures during a year  $T \leq 40\text{ °C}$  the switching impulse protection level (see 3.42) multiplied with 1,06 or the lightning impulse protection level (see 3.42) multiplied with 0,88.
  - For arresters installed indoors at a maximum of the daily (24 h) average ambient temperatures during a year  $T > 40\text{ °C}$  the switching impulse protection level (see 3.42) multiplied with  $1,06 \times [(273 + T)/313]$  or the lightning impulse protection level (see 3.42) multiplied with  $0,88 \times [(273 + T)/313]$ .

NOTE 1 The factors 1,06 and 0,88 cover variation in atmospheric conditions and discharge currents higher than coordinating current. The factor 0,88 is obtained from a coordination factor of 1,15, a test conversion factor of 0,68 from lightning to power-frequency withstand voltage and an altitude factor of 1,13. The factor 1,06 is obtained from a coordination factor of 1,1, a test conversion factor of 0,85 from switching to power-frequency withstand voltage and an altitude factor of 1,13.

The housing for capacitor arresters (11.12) shall withstand a power-frequency voltage in wet conditions for arresters for outdoor use and in dry conditions for arresters housings for indoor use for a duration of 1 min and with a peak value equal to the switching impulse protection level (see 3.42) multiplied by:

- For outdoor arresters and arresters installed indoors at a maximum of the daily (24 h) average ambient temperatures during a year  $T \leq 40\text{ °C}$  with 1,2.
- For arresters installed indoors at a maximum of the daily (24 h) average ambient temperatures during a year  $T > 40\text{ °C}$  with  $1,2 \times [(273 + T)/313]$ .

If the dry arcing distance or the sum of the partial dry arcing distances is larger than given by the equation  $d = [1,82 \times e^{(U/859)} - 1]^{0,833}$ , where  $d$  is the distance in m and  $U$  is the peak value of the power-frequency test voltage in kV, this test is not required.

NOTE 2 The equation is derived from formula G.1 of IEC 60071-2:1996, where the peak value of  $U_{50}$  is given as  $750 \times \sqrt{2} \times \ln(1 + 0,55 \times d^{1,2})$ ,  $d$  being the distance. Following the recommendations given in IEC 60071-2, for the purpose of this standard the gap factor  $k$  is assumed to be equal to 1, the withstand voltage is assumed to be 90 % of  $U_{50}$  and a 10 % reduction in  $U_{50}$  is assumed for wet conditions compared to dry.

NOTE 3 The factor 1,2 is taken from IEC 60143-1.

### 9.3 Short-circuit tests

All arresters shall be tested in accordance with this subclause. The test shall be performed in order to show that an arrester failure does not result in a violent shattering of the arrester housing, and that self-extinguishing of open flames (if any) occurs within a defined period of time. Each arrester type is tested with up to four values of short-circuit currents. If the arrester is equipped with some other arrangement as a substitute for a conventional pressure relief device, this arrangement shall be included in the test.

The arrester shall be tested in accordance with the procedures and evaluation criteria given in IEC 60099-4 depending on the type of design the arrester belong to as per the classification in 60099-4.

The test currents shall be 100 %, 50 % and 25 % of the highest considered short-circuit current. In addition a test with 600 A shall be performed. The currents shall be applied for the actual duration except for the test with 600 Arms which shall be applied for 1 s. The ratio first current peak to r.m.s. value shall be as per IEC 60099-4 except that for “Design A” arresters as per IEC 60099-4 actual ratio is allowed to be used.

NOTE 1 If the arrester has a rated short-circuit current verified as per IEC 60099-4 no further tests are necessary if

- The actual short-circuit current is less than or equal to the rated short-circuit current and
- The actual duration of the short-circuit current does not exceed 0,2 s.

NOTE 2 If the actual maximum short-circuit current is  $\leq 6$  kArms the test at 50 and 25 % of maximum current need not to be performed.

## 9.4 Internal partial discharge tests

The test shall be performed on the longest electrical unit of the arrester. If this does not represent the highest specific voltage stress per unit length, additional tests shall be performed on the unit having the highest specific voltage stress. The test sample may be shielded against external partial discharges.

NOTE 1 Shielding against external partial discharges should have negligible effects on the voltage distribution.

A power-frequency voltage shall be used for the test and be as follows:

- For valve arresters the test voltage (r.m.s. value) shall be  $0,9/\sqrt{2}$  times PCOV.
- For d.c. bus arresters, d.c. line/cable arresters, for arresters at neutral bus located on line/cable side of smoothing reactor (if any), for arresters at neutral bus without smoothing reactor on the bus, for arresters on electrode line and metallic return and DC reactor arresters the test voltage shall be (r.m.s. value)  $1,05/\sqrt{2}$  times PCOV. As an alternative, on the choice of the manufacturer, the test on the d.c. bus arrester and d.c. line/cable arresters may be performed with a d.c. voltage 1,05 times the d.c. system voltage.
- For arresters at neutral bus located on the converter side of smoothing reactor (if any) the test voltage shall be (r.m.s. value)  $1,0/\sqrt{2}$  times PCOV.
- For converter unit and converter unit d.c. bus arresters the test voltage shall be (r.m.s. value)  $0,95/\sqrt{2}$  times PCOV. For mid-point d.c. bus arrester, mid-point bridge arresters, HV and LV converter unit arresters and arrester between converters the test voltage shall be (r.m.s. value)  $0,9/\sqrt{2}$  times PCOV.
- For transformer valve winding arrester the test voltage (r.m.s. value) shall be  $0,9/\sqrt{2}$  times PCOV.
- For arresters at d.c. and a.c. filters the test voltage shall be (r.m.s. value)  $1,05/\sqrt{2}$  times the PCOV.
- For capacitor arresters (11.12) the test voltage shall be (r.m.s. value)  $1,05/\sqrt{2}$  times the PCOV

The power-frequency voltage shall be increased to 1,05 times the test voltage of the sample, held for 2 s to 10 s, and then decreased to the test voltage of the sample. At that voltage, the partial discharge level shall be measured according to IEC 60270. The measured value for the internal partial discharge shall not exceed 10 pC.

If the test is performed as routine test on arrester units or complete arresters the type test need not to be performed

## **9.5 Test of the bending moment**

### **9.5.1 Test on porcelain-housed arresters**

#### **9.5.1.1 General**

The complete test procedure is shown by the flow chart in Annex C.

#### **9.5.1.2 Overview**

This test demonstrates the ability of the arrester to withstand the manufacturer's declared values for bending loads. Normally, an arrester is not designed for torsional loading. If an arrester is subjected to torsional loads, a specific test may be necessary by agreement between manufacturer and user.

The test shall be performed on complete arrester units without internal overpressure. For single-unit arrester designs, the test shall be performed on the longest unit of the design. Where an arrester contains more than one unit or where the arrester has different specified bending moments in both ends, the test shall be performed on the longest unit of each different specified bending moment, with loads determined according to C.1.

The test shall be performed in two parts that may be done in any order:

- a bending moment test to determine the mean value of breaking load (MBL);
- a static bending moment test with the test load equal to the specified short-term load (SSL), i.e. the 100 % value of C.3.

#### **9.5.1.3 Sample preparation**

One end of the sample shall be firmly fixed to a rigid mounting surface of the test equipment, and a load shall be applied to the other (free) end of the sample to produce the required bending moment at the fixed end. The direction of the load shall pass through and be perpendicular to the longitudinal axis of the arrester. If the arrester is not axi-symmetrical with respect to its bending strength, the manufacturer shall provide information regarding this non-symmetric strength, and the load shall be applied in an angular direction that subjects the weakest part of the arrester to the maximum bending moment.

#### **9.5.1.4 Test procedure**

##### **9.5.1.4.1 Test procedure to determine mean value of breaking load (MBL)**

Three samples shall be tested. If the test to verify the SSL (see 9.5.1.4.2) is performed first, then samples from that test may be used for determination of MBL. The test samples need not contain the internal parts. On each sample, the bending load shall be increased smoothly until breaking occurs within 30 s to 90 s. "Breaking" includes fracture of the housing and damages that may occur to fixing device or end fittings.

The mean breaking load, MBL, is calculated as the mean value of the breaking loads for the test samples.

NOTE The housing of an arrester may splinter under load and may present a handling hazard.

##### **9.5.1.4.2 Test procedure to verify the specified short-term load (SSL)**

Three samples shall be tested. The test samples shall contain the internal parts. Prior to the tests, each test sample shall be subjected to a leakage check (see item d) of 10.1) and an internal partial discharge test (see item c) of 10.1). If these tests have been performed as routine tests, they need not be repeated at this time.

On each sample, the bending load shall be increased smoothly to SSL, tolerance  $\pm 5\%$ , within 30 s to 90 s. When the test load is reached, it shall be maintained for 60 s to 90 s. During this time the deflection shall be measured. Then the load shall be released smoothly and the residual deflection shall be recorded. The residual deflection shall be measured in the interval 1 min to 10 min after the release of the load.

NOTE The housing of an arrester may splinter under load and may present a handling hazard.

#### 9.5.1.5 Test evaluation

The arrester shall have passed the test if

- the mean value of breaking load, MBL, is  $\geq 1,2 \times \text{SSL}$ ;
- for the SSL test
  - there is no visible mechanical damage;
  - the remaining permanent deflection is  $\leq 3 \text{ mm}$  or  $\leq 10 \%$  of maximum deflection during the test, whichever is greater;
  - the test samples pass the leakage test in accordance with item d) of 10.1;
- the internal partial discharge level of the test samples does not exceed the value specified in item c) of 10.1.

#### 9.5.2 Test on polymer-housed arresters

##### 9.5.2.1 General

This test applies to polymer housed arresters (with and without enclosed gas volume)

Arresters that have no declared cantilever strength shall be submitted to the terminal torque preconditioning according to 9.5.2.4.2.2, the thermal preconditioning according to 9.5.2.4.2.4 and the water immersion test according to 9.5.2.4.3 if the arresters are located outdoors.

The complete test procedure is shown by the flow chart in Annex C.

##### 9.5.2.2 Overview

This test demonstrates the ability of the arrester to withstand the manufacturer's declared values for bending loads. Normally, an arrester is not designed for torsional loading. If an arrester is subjected to torsional loads, a specific test may be necessary by agreement between manufacturer and user.

The test shall be performed on complete arrester units with the highest rated voltage of the unit. For single-unit arrester designs, the test shall be performed on the longest unit with the highest rated voltage of that unit of the design. Where an arrester contains more than one unit or where the arrester has different specified bending moments in both ends, the test shall be performed on the longest unit of each different specified bending moment, with loads determined according to C.1. However, if the length of the longest unit is greater than 800 mm, a shorter length unit may be used, provided the following requirements are met:

- the length is at least as long as the greater of
  - 800 mm
  - three times the outside diameter of the housing (excluding the sheds) at the point it enters the end fittings;
- the unit is one of the normal assortment of units used in the design, and is not specially made for the test;
- the unit has the highest rated voltage of that unit of the design.

A test in three steps shall be performed one after the other on three samples as follows:

- on all three test samples a cyclic test comprising 1 000 cycles with the test load equal to the specified long-term load (SLL);
- on two of the samples a static bending moment test with the test load equal to the specified short-term load (SSL), i.e. the 100 % value of C.3 and on the 3<sup>rd</sup> sample a mechanical preconditioning test as per 9.5.2.4.2;
- on all three samples a water immersion test as per 9.5.2.4.3.

Tolerance on specified loads shall be  $\pm 5\%$ .

### 9.5.2.3 Sample preparation

The test samples shall contain the internal parts.

Prior to the test, each test sample shall be subjected to the following tests:

- electrical tests made in the following sequence:
  - watt losses measured at ECOV and at an ambient temperature of  $20\text{ °C} \pm 15\text{ K}$ ;
  - internal partial discharge test according to item c) of 10.1;
  - residual voltage test at not less than (0,01 to 1) times the coordinating current; the current wave shape shall be in the range of  $T_1/T_2 = (4\text{ to }10)/(10\text{ to }25)\text{ }\mu\text{s}$ ;
- leakage tests in accordance with item d) of 10.1 for arresters with enclosed gas volume and separate sealing system.

If the partial discharge test according to item c) of 10.1 and the leakage test according to item d) of 10.1 have been performed as routine tests they need not be repeated at this time.

One end of the sample shall be firmly fixed to a rigid mounting surface of the test equipment, and a load shall be applied to the other (free) end of the sample to produce the required bending moment at the fixed end. The direction of the load shall pass through and be perpendicular to the longitudinal axis of the arrester. If the arrester is not axi-symmetrical with respect to its bending strength, the manufacturer shall provide information regarding this non-symmetric strength, and the load shall be applied in an angular direction that subjects the weakest part of the arrester to the maximum bending moment.

### 9.5.2.4 Test procedure

#### 9.5.2.4.1 General

The test shall be performed on three samples. The test is performed in three steps.

Step 1:

- Subject all three samples to 1 000 cycles of bending moment, each cycle comprising loading from zero to specified long-term load (SLL) in one direction, followed by loading to SLL in the opposite direction, then returning to zero load. The cyclic motion shall be approximately sinusoidal in form, with a frequency in the range 0,01 Hz to 0,5 Hz.

Due to the control of the testing machine it may take some cycles to obtain the SLL. The maximum number of these cycles shall be specified by the manufacturer. These cycles shall not be included in the prescribed 1 000 cycles.

The maximum deflection during the test and any residual deflection shall be recorded. The residual deflection shall be measured in the interval 1 min to 10 min after the release of the load.

Step 2.1:

Subject two of the samples from step 1 to a bending moment test. The bending load shall be increased smoothly to specified short-term load (SSL) within 30 s to 90 s. When the test load is reached, it shall be maintained for 60 s to 90 s. During this time the deflection shall be measured. Then the load shall be released smoothly.

The maximum deflection during the test and residual deflection shall be recorded. The residual deflection shall be measured within 1 min to 10 min after the release of the load.

Step 2.2:

Subject the third sample from Step 1 to mechanical/thermal preconditioning according to 9.5.2.4.2.

Step 3:

Subject all three samples to the water immersion test according to 9.5.2.4.3.

#### **9.5.2.4.2 Mechanical/thermal preconditioning**

##### **9.5.2.4.2.1 General**

This preconditioning constitutes part of the test procedure of 9.5.2.4 and shall be performed on one of the test samples as defined in 9.5.2.4.

##### **9.5.2.4.2.2 Terminal torque preconditioning**

The arrester terminal torque specified by the manufacturer shall be applied to the test sample for a duration of 30 s.

##### **9.5.2.4.2.3 Thermo-mechanical preconditioning**

This portion of the test applies only to arresters for which a cantilever strength is declared.

The test does not apply to arresters installed indoors in ambient conditions as per 6.1.

The sample is submitted to the specified long-term load (SLL) in four directions and in thermal variations as described in Figures 6 and 7.

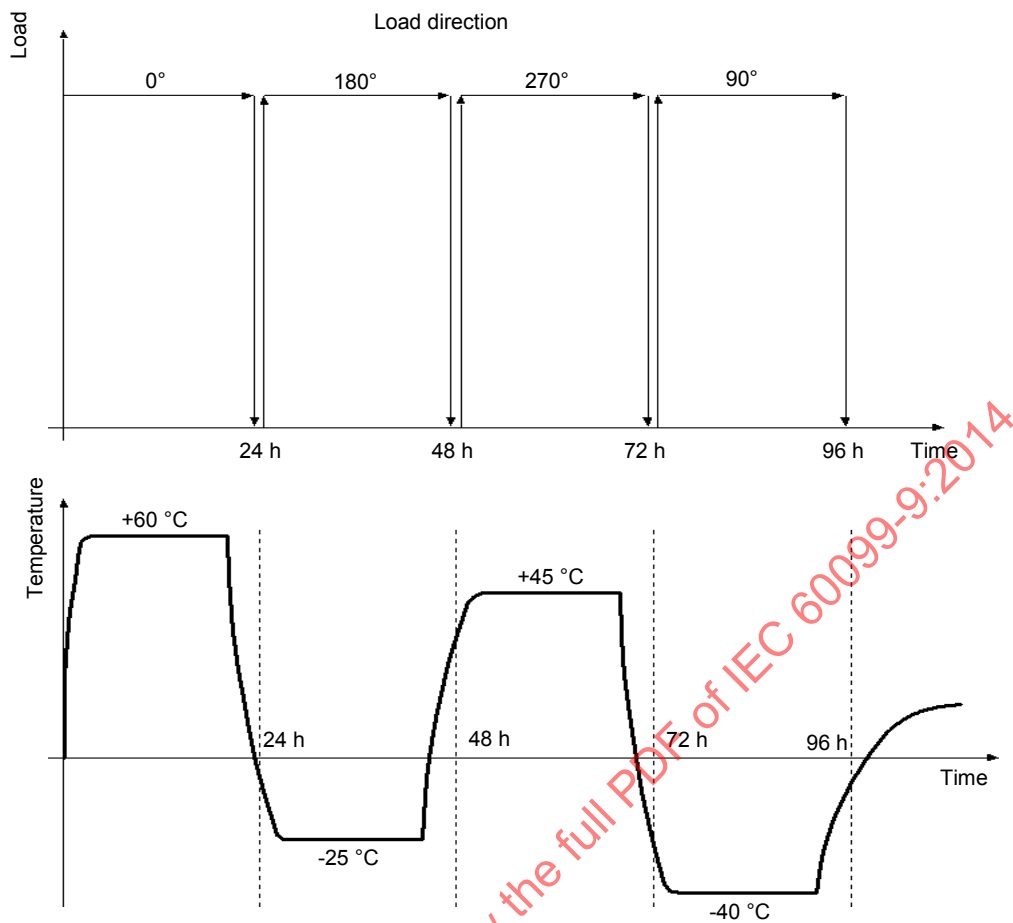
If, in particular applications, other loads are dominant, the relevant loads shall be applied instead. The total test time and temperature cycle shall remain unchanged.

The thermal variations consist of two 48 h cycles of heating and cooling as described in Figure 6. The temperature of the hot and cold periods shall be maintained for at least 16 h. The test shall be conducted in air. The temperature shall be measured in the surrounding air inside the test chamber.

The applied static mechanical load shall be equal to SLL defined by the manufacturer. Its direction changes every 24 h at any temperature in the transition from hot to cold, or from cold to hot, as defined in Figure 6.

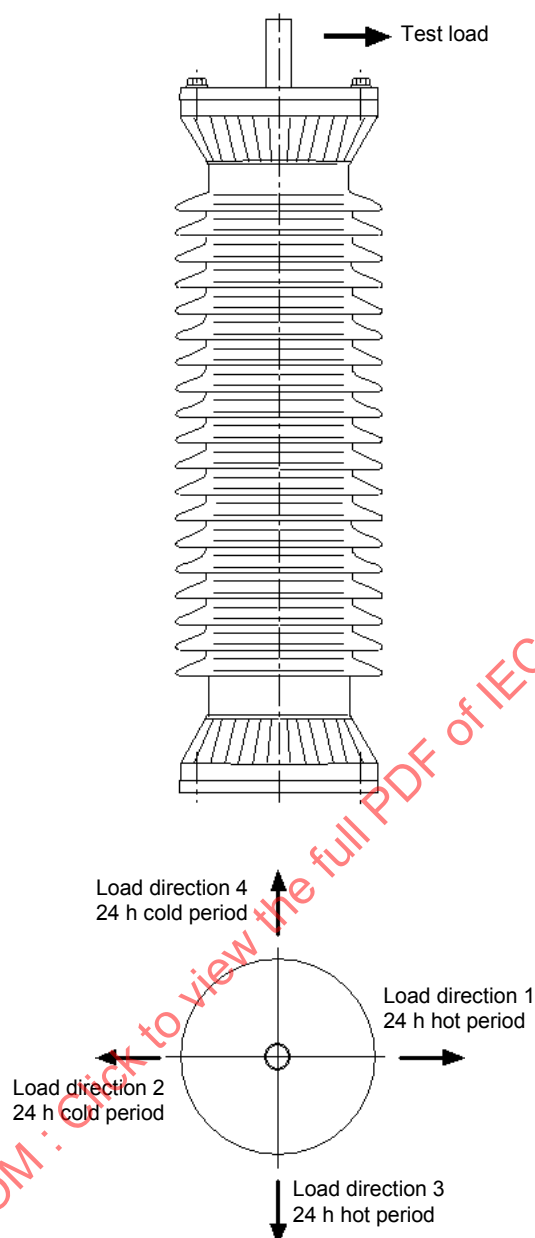
The test may be interrupted for maintenance for a total duration of 4 h and restarted after interruption. The cycle then remains valid.

Any residual deflection measured from the initial no-load position shall be reported. The residual deflection shall be measured within 1 min to 10 min after the release of the load.



IEC 1989/14

**Figure 6 – Thermomechanical test**



IEC 1965/14

**Figure 7 – Example of the test arrangement for the thermomechanical test and direction of the cantilever load**

#### 9.5.2.4.2.4 Thermal preconditioning

This portion of the test applies only to arresters for which no cantilever strength is declared.

The test does not apply to arresters installed indoors in ambient conditions as per 6.1.

The sample is submitted to the thermal variations as described in Figure 6 without any load applied.

The thermal variations consist of two 48 h cycles of heating and cooling as described in Figure 6. The temperature of the hot and cold periods shall be maintained for at least 16 h. The test shall be conducted in air.

### 9.5.2.4.3 Water immersion test

This test does not apply to arresters installed indoors e.g. in valve halls.

The test samples shall be kept immersed in a vessel, in boiling deionised water with 1 kg/m<sup>3</sup> of NaCl, for 42 h.

NOTE 1 The characteristics of the water described above are those measured at the beginning of the test.

NOTE 2 This temperature (boiling water) can be reduced to 80 °C (with a minimum duration of 52 h) by agreement between the user and the manufacturer, if the manufacturer claims that its sealing material is not able to withstand the boiling temperature for a duration of 42 h. This value of 52 h can be expanded up to 168 h (i.e. one week) after agreement between the manufacturer and the user.

At the end of the boiling, the arrester shall remain in the vessel until the water cools to approximately 50 °C and shall be maintained in the water at this temperature until verification tests can be performed. The arrester shall be removed from the water and cooled to ambient temperature for not longer than three thermal time constants of the sample (as derived from the cooling curves of Annex A). The 50 °C holding temperature is necessary only if it is necessary to delay the verification tests after the end of the water immersion test as shown in Figure 8. Evaluation tests shall be made within the time specified in 9.5.2.5. After removing the sample from the water it may be washed with tap water.

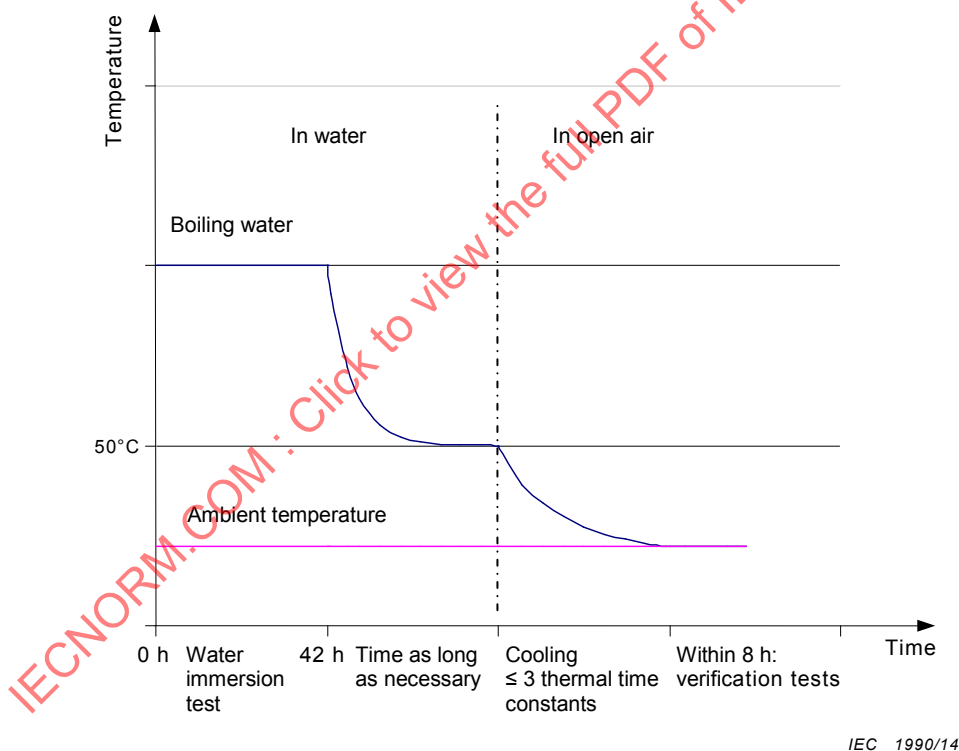


Figure 8 – Water immersion

### 9.5.2.5 Test evaluation

Tests according to 9.5.2.3 shall be repeated on each test sample.

The arrester shall have passed the test if the following is demonstrated:

After step 2:

- there is no visible damage;

- the slope of the force-deflection curve remains positive up to the SSL value except for dips not exceeding 5 % of SSL magnitude. The sampling rate of digital measuring equipment shall be at least  $10 \text{ s}^{-1}$ . The cut-off frequency of the measuring equipment shall be not less than 5 Hz.

Maximum deflection during step 1 and 2 and any remaining permanent deflection after the test shall be reported.

After step 3:

within 8 h after cooling as defined in Figure 8:

- the increase in watt losses, measured at ECOV and at an ambient temperature that does not deviate by more than 3 K from the initial measurements, is not more than the greater of 20 mW/kV of ECOV (measured at ECOV) or 20 %;
- the internal partial discharge measured at a voltage according to 9.4 does not exceed 10 pC;

at any time after the above watt losses and partial discharge measurements:

- for arresters with enclosed gas volume and separate sealing system, the samples pass the leakage test in accordance item d) of 10.1;
- the residual voltage measured on the complete sample at the same current value and wave shape as the initial measurement is not more than 5 % different from the initial measurement;
- the difference in voltage between two successive impulses at 10 kA discharge current does not exceed 2 %, and the oscillograms of voltage and current do not reveal any partial or full breakdown of the test sample. The current wave shape shall be in the range of  $T_1/T_2 = (4 \text{ to } 10)/(10 \text{ to } 25) \mu\text{s}$ , and the impulses shall be administered 50 to 60 s apart.

NOTE In case of extra long arresters where the blocks can be dismantled this part of the evaluation test can be performed on individual blocks or stacks of blocks. If the blocks cannot be dismantled a possible procedure would be to drill a hole in the arrester insulation to make contact with the internal stack at a metal spacer and in this way be able to test shorter arrester sections.

- the change in reference voltage measured before and after the two residual voltage tests does not exceed 2 %.

## 9.6 Environmental tests

### 9.6.1 General

These tests apply to porcelain-housed arresters. They do not apply to arresters installed indoors in e.g. valve or DC halls under controlled ambient conditions.

### 9.6.2 Overview

The environmental tests demonstrate by accelerated test procedures that the sealing mechanism and the exposed metal combinations of the arrester are not impaired by environmental conditions.

The test shall be performed on complete arrester units of any length.

For arresters with an enclosed gas volume and a separate sealing system, the internal parts may be omitted.

Arresters whose units differ only in terms of their lengths, and which are otherwise based on the same design and material, and have the same sealing system in each unit, are considered to be the same type of arrester.

### 9.6.3 Sample preparation

Prior to the tests, the test sample shall be subjected to the leakage check of d) of 10.1.

### 9.6.4 Test procedure

#### 9.6.4.1 General

The tests specified below shall be performed on one sample in the sequence given.

#### 9.6.4.2 Temperature cycling test

The test shall be performed according to test Nb of IEC 60068-2-14.

The hot period shall be at a temperature of at least +40 °C, but not higher than +70 °C. The cold period shall be at least 85 K below the value actually applied in the hot period; however, the lowest temperature in the cold period shall not be lower than –50 °C:

- temperature change gradient: 1 K/min;
- duration of each temperature level: 3 h;
- number of cycles: 10.

#### 9.6.4.3 Salt mist test

The test shall be performed according to Clause 4 and Subclause 7.6, as applicable, of IEC 60068-2-11:1981:

- salt solution concentration: 5 % ± 1 % by weight;
- test duration: 96 h.

### 9.6.5 Test evaluation

The arrester shall have passed the tests if the sample passes the leakage check in accordance with item d) of 10.1.

## 9.7 Weather ageing test

### 9.7.1 General

This test applies to polymer-housed arresters installed outdoors.

### 9.7.2 Test specimens

This test has a duration of 1 000 h under salt fog conditions. The test shall be performed on the longest electrical unit with the minimum specific creepage distance and the highest rated voltage recommended by the manufacturer for this unit.

### 9.7.3 Test procedure

The test is a time-limited continuous test under salt fog at constant voltage equal to the continuous operating voltage of the arrester. The applied voltage shall be a d.c. voltage for arresters located on the d.c. side of the converter and an a.c. voltage of 50 or 60 Hz for arresters on the a.c. side. For arresters subjected to a d.c. voltage the test voltage shall not be less than the DCOV for the arrester.

Filter arresters on either the d.c. side or the a.c. side of the converter subjected to an a.c. voltage with higher frequency than 50 to 60 Hz shall be tested with a.c. voltage of 50 to 60 Hz with an amplitude at least equal to the ECOV.

The test is carried out in a moisture-sealed corrosion-proof chamber. An aperture of not more than 80 cm<sup>2</sup> shall be provided for the natural evacuation of exhaust air. A turbo sprayer or room humidifier of constant spraying capacity shall be used as a water atomizer.

The fog shall fill up the chamber and not be directly sprayed onto the test specimen. The salt water prepared with NaCl and deionized water will be supplied to the sprayer. The power-frequency test voltage shall be obtained with a test transformer. The test circuit, when loaded

with a resistive current of 250 mA (r.m.s.) on the high-voltage side, shall experience a maximum voltage drop of 5 %. Not sufficient information is available on the necessary d.c. source but as an information when testing with d.c. voltage the test circuit when loaded with a current of 250 mA on the high-voltage side, should experience a maximum voltage drop of 5 %.

The protection level shall be set at 1 A (r.m.s.). The test specimen shall be cleaned with deionized water before starting the test.

The test specimen shall be tested when mounted vertically. There shall be enough clearance between the roof and walls of the chamber and the test specimen in order to avoid electrical field disturbance. These data shall be found in the manufacturer's installation instructions.

- Duration of the test            1 000 h
- Water flow rate                0,4 l/h/m<sup>3</sup> ± 0,1 l/h/m<sup>3</sup>
- Size of droplets                5 µm to 10 µm
- Temperature                  20 °C ± 5 K
- NaCl content of water        between 1 kg/m<sup>3</sup> to 10 kg/m<sup>3</sup>

The manufacturer shall state the starting value of the salt content of the water. The water flow rate is defined in litres per hour per cubic metre of the test chamber. It is not permitted to recirculate the water. Interruptions due to flashovers are permitted. If more than one flashover occurs, the test voltage is interrupted. However, the salt fog application shall continue until the washing of the arrester with tap water is started. Interruptions of salt fog application shall not exceed 15 min. The test shall then be re-started at a lower value of the salt content of the water. If again more than one flashover occurs, this procedure shall be repeated. Interruption times shall not be counted as part of the test duration.

The NaCl content of the water, the number of flashovers and the duration of the interruptions shall be noted. The number of overcurrent trip-outs shall be noted and taken into account in the evaluation of the duration of the test.

NOTE Within this range of salinity, lower salt content might increase test severity. Higher salt content increases flashover probability, which makes it difficult to run the test on larger diameter housings.

#### 9.7.4 Evaluation of the test

The test is regarded as passed, if no tracking occurs (see IEC 62217), if erosion does not occur through the entire thickness of any shed or other part of the external coating up to the next layer of material, if the sheds and housing are not punctured, if the reference voltage measured before and after the test at the same ambient temperature within ± 3 K has not decreased by more than 5 %, and if the partial discharge measurement performed before and after the test is satisfactory, i.e. the partial discharge level shall not exceed 10 pC as measured according to the procedure of 9.4.

For arresters with enclosed gas volume and separate sealing system a successful leakage test in accordance with item d) of 10.1 shall be performed

## 9.8 Seal leak rate test

### 9.8.1 General

This test applies to arresters having an enclosed gas volume and a separate sealing system. It does not apply to GIS arresters.

### 9.8.2 Overview

This test demonstrates the gas/water tightness of the complete system.

If a routine test for seal leak rate (see item d) of 10.1) is performed with acceptance criteria at least as stringent as specified in this clause, then a type test is not required. Otherwise, a type test shall be performed on one complete arrester unit. The internal parts may be omitted. If the arrester contains units with differences in their sealing system, the test shall be performed on one unit each, representing each different sealing system.

### 9.8.3 Sample preparation

The test sample shall be new and clean.

### 9.8.4 Test procedure

The manufacturer may use any sensitive method suitable for the measurement of the specified seal leak rate.

NOTE Some test procedures are specified in IEC 60068-2-17.

### 9.8.5 Test evaluation

The maximum seal leak rate (see Annex C.4) shall be lower than

$$1 \times 10^{-6} \text{ Pa} \times \text{m}^3/\text{s}$$

## 9.9 Radio interference voltage (RIV) test

These tests apply to open-air surge arresters having a CCOV above 100 kV. The test shall be performed on the longest arrester, with the highest continuous operating voltage used for a particular arrester type.

NOTE 1 A test on an element, part or unit of an arrester cannot be considered adequate because of the nonlinearity of the potential distribution along a complete arrester.

NOTE 2 For this test, particular arrester type means also to have identical grading rings configurations.

If it by calculations can be shown that for a specific arrester the electrical field at critical locations is less than or equal to the electrical field on an arrester which has been successfully tested at higher or equal voltage no test is required.

The test voltage for the different arresters shall be as follows:

- For valve arresters the maximum radio interference level of the arrester energized at a power-frequency voltage (r.m.s. value) of  $0,9/\sqrt{2}$  times the maximum peak value of continuous operating voltage including high-frequency transients shall not exceed 2 500  $\mu\text{V}$ .
- For d.c. bus arresters and d.c. line/cable arresters the maximum radio interference level of the arrester energized at a power-frequency voltage (r.m.s. value) of  $1,05/\sqrt{2}$  times the d.c. system voltage shall not exceed 2 500  $\mu\text{V}$ . As an alternative, on the choice of the manufacturer, the test may be performed with a d.c. voltage 1,05 times the d.c. system voltage. Both polarities shall be tested.

- For arresters at neutral bus located on line/cable side of smoothing reactor (if any) and for arresters at neutral bus without smoothing reactor on the bus the maximum radio interference level of the arrester energized at a power-frequency voltage (r.m.s. value) of  $1,05/\sqrt{2}$  times the maximum peak continuous operating voltage including high-frequency transients shall not exceed 2 500  $\mu\text{V}$ .
- for arresters at neutral bus located on the converter side of smoothing reactor (if any) the maximum radio interference level of the arrester energized at a power-frequency voltage (r.m.s. value) of  $1,0/\sqrt{2}$  times the maximum peak continuous operating voltage including high-frequency transients shall not exceed 2 500  $\mu\text{V}$ .
- For converter unit and converter unit d.c. bus arresters the maximum radio interference level of the arrester energized at a power-frequency voltage (r.m.s. value) of  $0,95/\sqrt{2}$  times the maximum peak continuous operating voltage including high-frequency transients shall not exceed 2 500  $\mu\text{V}$ .
- For mid-point d.c. bus arrester, mid-point bridge arresters, HV and LV converter unit arresters and arrester between converters the maximum radio interference level of the arrester energized at a power-frequency voltage (r.m.s. value) of  $0,9/\sqrt{2}$  times the maximum peak continuous operating voltage including high-frequency transients shall not exceed 2 500  $\mu\text{V}$ .
- For transformer valve winding arrester the maximum radio interference level of the arrester energized at a power-frequency voltage (r.m.s. value) of  $0,9/\sqrt{2}$  times the maximum peak continuous operating voltage including high-frequency transients shall not exceed 2 500  $\mu\text{V}$ .
- For arresters at d.c. and a.c. filters the maximum radio interference level of the arrester energized at a power-frequency voltage (r.m.s. value) of  $1,05/\sqrt{2}$  times the maximum peak continuous operating voltage shall not exceed 2 500  $\mu\text{V}$ .
- For capacitor arresters (11.12) the maximum radio interference level of the arrester energized at a power-frequency voltage (r.m.s. value) of  $1,05/\sqrt{2}$  times the maximum peak continuous operating voltage shall not exceed 2 500  $\mu\text{V}$ .

If the arrester is installed at high potential to ground this should be considered.

Surge arresters under test shall be fully assembled, and shall include the fittings (line and earth terminals, grading rings, etc.) that the manufacturer offers as standard equipment for the arrester.

The test voltage shall be applied between the terminals and the earthed base.

Earthed parts of the arrester shall be connected to earth. Care should be taken to avoid influencing the measurements by earthed or unearthed objects near to the surge arresters and to the test and measuring circuit.

The test connections and their ends shall not be a source of radio interference voltage of higher values than those indicated below.

The measuring circuit shall comply with CISPR 18-2 and CISPR 16-1-1 of the International Special Committee on Radio Interference (CISPR). The measuring circuit should preferably be tuned to a frequency within 10 % of 0,5 MHz but other frequencies in the range 0,5 MHz to 2 MHz may be used, the measuring frequency being recorded. The results shall be expressed in microvolts.

If measuring impedances different from those specified in the CISPR publications are used,

they shall be not more than 600  $\Omega$  nor less than 30  $\Omega$ ; in any case, the phase angle shall not exceed 20°. The equivalent radio interference voltage referred to 300  $\Omega$  can be calculated, assuming the measured voltage to be directly proportional to the resistance.

The filter F shall have a high impedance so that the impedance between the high-voltage conductor and earth is not appreciably shunted as seen from the surge arrester under test.

This filter also reduces circulating radiofrequency currents in the test circuit, generated by the high-voltage transformer or picked up from extraneous sources. A suitable value for its impedance has been found to be 10 000  $\Omega$  to 20 000  $\Omega$  at the measuring frequency.

Means shall be employed to ensure that the radio interference background level (radio interference level caused by external field and by the high-voltage transformer when magnetized at the full test voltage) is at least 6 dB and preferably 10 dB below the specified radio interference level of the surge arrester to be tested. Calibration methods for the measuring instrument are given in CISPR/TR 18-2.

As the radio interference level may be affected by fibres or dust settling on the insulators, it is permitted to wipe the insulators with a clean cloth before taking a measurement.

The atmospheric conditions during the test shall be recorded. It is not known what correction factors apply to radio interference testing but it is known that test may be sensitive to high relative humidity and the results of test may be open to doubt if the relative humidity exceeds 80 %.

The following test procedure shall be followed.

The voltage is increased to 1,05 times the test voltage given above and then lowered to the test voltage where it shall be maintained for 5 min. The voltage shall then be decreased by steps to 0,5 times the test voltage, raised again by steps to the test voltage for 5 min and finally decreased by steps to 0,5 times the test voltage. At each step, a radio interference measurement shall be taken and the radio interference level, as recorded during the last series of voltage reductions, shall be plotted versus the applied voltage; the curve so obtained is the radio interference characteristic of the surge arrester. The amplitude of voltage steps shall be approximately 0,1 times the test voltage.

The surge arrester shall have passed the test if the radio interference level at the test voltage and all lower voltage steps does not exceed 2 500  $\mu\text{V}$ .

This RIV test may be omitted, if the same arrester has passed the partial discharge test (in this case, internal and external discharges shall be measured, i.e. with no shielding devices used for the connections or the grading rings or other parts of the arresters).

The verification may also be performed in combination with tests on other equipments which the arresters are located very close to, e.g. the verification for valve arresters may be made when testing the thyristor valves.

## **9.10 Residual voltage test**

### **9.10.1 General**

The purpose of the residual voltage type test is to obtain the data necessary to derive the maximum residual voltages as explained in 7.3. It includes the calculation of the ratio between voltages at specified impulse currents and the voltage level checked in routine tests. The latter voltage shall be the residual voltage at a suitable lightning impulse current in the range 0,01 to 100 times the lightning impulse coordination current depending on the manufacturer's choice of routine test procedure.

The maximum residual voltage at a lightning impulse current used for routine tests shall be specified and published in the manufacturer's data. Maximum residual voltages of the design for all specified currents and wave shapes are obtained by multiplying the measured residual

voltages of the test sections by the ratio of the declared maximum residual voltage at the routine test current to the measured residual voltage for the section at the same current.

All residual voltage tests shall be made on the same three samples of complete arresters or arrester sections. The time between discharges shall be sufficient to permit the samples to return to approximately ambient temperature. For multi-column arresters the test may be performed on sections made of only one column; the residual voltages are then measured for currents obtained from the total currents in the complete arrester divided by the number of columns.

### 9.10.2 Steep current impulse residual voltage test

One steep current impulse (see 3.58) with a peak value equal to the steep impulse coordination current of the arrester  $\pm 5\%$  shall be applied to each of the three samples. The peak value and the impulse shape of the voltage appearing across the three samples shall be recorded and, if necessary, corrected for inductive effects of the voltage measuring circuit as well as the geometry of the test sample and the test circuit.

The following procedure shall be used to determine if an inductive correction is required:

- A steep current impulse as described above shall be applied to a non-ferrous metal block having the same dimensions as the resistor samples being tested. The peak value and the shape of the voltage appearing across the metal block shall be recorded.
- If the peak voltage on the metal block is less than 2 % of the peak voltage of the MO resistor samples, no inductive correction to the MO resistor measurements is required.
- If the peak voltage on the metal block is between 2 % and 20 % of the peak voltage on the MO resistor sample, then the impulse shape of the metal block voltage shall be subtracted from the impulse shape of each of the MO resistor voltages and the peak values of the resulting impulse shapes shall be recorded as the corrected MO resistor voltages.
- If the peak voltage on the metal block is greater than 20 % of the peak voltage on the MO resistor samples, then the test circuit and the voltage measuring circuit shall be improved and the test shall be repeated.

NOTE 1 A possible way to achieve identical current wave shapes during all measurements is to perform them with both the test sample and the metal block in series in the test circuit. Only their positions relative to each other need to be interchanged for measuring the voltage drop on the metal block or on the test sample.

The highest of the three measured residual voltages, corrected if necessary as indicated above, and multiplied by the scale factor (see 7.3) is defined as the maximum steep current impulse residual voltage, excluding inductive voltage contribution, of the arrester.

The maximum steep current impulse residual voltage, including inductive voltage contribution, of the arrester is calculated as per 7.3.

NOTE 2 Connecting leads to connect the arrester to the power system will introduce additional inductive voltage drop for steep current impulse currents.

### 9.10.3 Lightning impulse residual voltage test

One lightning current impulse (see 3.27) shall be applied to each of the three samples for each of the following three peak values of approximately 0,5, 1 and 2 times the lightning impulse coordination current of the arrester. Virtual front time shall be within 7  $\mu\text{s}$  to 9  $\mu\text{s}$  while the half-value time (which is not critical) may have any tolerance. The residual voltages are determined in accordance with 7.3. The maximum values of the determined residual voltages shall be drawn in a residual voltage versus discharge current curve. The residual voltage read on such a curve corresponding to the lightning impulse coordination current is defined as the lightning impulse protection level of the arrester.

If a complete arrester routine test cannot be carried out at one of the above currents, then additional type tests shall be carried out at a current in the range of 0,01 to 0,25 times lightning impulse coordination current for comparison to the complete arrester.

#### 9.10.4 Switching impulse residual voltage test

One switching current impulse (see 3.60) with a peak value equal to the switching impulse coordination current (see 3.61) of the arrester  $\pm 5\%$  shall be applied to each of the three samples. Virtual front time shall be within 30  $\mu\text{s}$  to 100  $\mu\text{s}$  while the half-value time (which is not critical) may have any tolerance. The residual voltages are determined in accordance with 7.3. The highest of these three voltages is defined as the switching impulse protection level of the arrester.

### 9.11 Test to verify long term stability under continuous operating voltage

#### 9.11.1 General

This test is designed to determine if the MO resistors show stable or decreasing power losses when energized at continuous operating voltage. Each type of MO resistor used in the design shall be tested. Those arresters, which are subjected to a voltage with a d.c. component and for which polarity reversals may occur frequently (within days or months) or at least within a period of time not longer than 3 years, shall be tested according to 9.11.2. Arresters which will never be subjected to a polarity reversal shall be tested in accordance with 9.11.3. If polarity reversals are foreseen after more than 3 years the manufacturer should be consulted.

NOTE 1 The expected increase in power losses immediately after a polarity reversal is actually not an ageing phenomena but instead due to material polarization which is a function of the duration of applied voltage.

NOTE 2 The time period of 3 years is calculated for a maximum ambient temperature of 60 °C and assuming an acceleration factor  $AF_T = 2,5^{5,5}$ .

Three MO resistor samples shall be stressed at a voltage equal to or higher than the corrected maximum continuous operating voltage of the sample ( $U_{ct}$ ) for 1 000 h, during which the temperature shall be controlled to keep the surface temperature of the MO resistor at  $115\text{ °C} \pm 4\text{ K}$ .

The corrected maximum continuous operating voltage ( $U_{ct}$ ) is the voltage which the MO resistors support in the arrester including voltage unbalance effects. This voltage should be determined by voltage distribution measurements or computations.

If the actual voltage waveform is not possible to apply the test voltage shall fulfil the following requirements:

- The d.c. component shall be not less than the DCOV (3.9) in the actual wave shape;
- The peak voltage shall not be less than the PCOV (3.37);
- The voltage peak except the PCOV shall not be less than the CCOV (3.7);
- For a.c. and d.c. filter arresters the frequency of the test voltage shall not be less than the DFCOV (3.14).

During the tests, the peak and r.m.s. value of the voltage shall not deviate from the specified values by more than  $\pm 1\%$ .

All material (solid or liquid) in direct contact with the MO resistors shall be present during the ageing test with the same design as used in the complete arrester.

During this accelerated ageing, the MO resistor shall be in the surrounding medium used in the arrester. In this case, the procedure shall be carried out on single MO resistors in a closed chamber where the volume of the chamber is at least twice the volume of the resistor and where the density of the medium in the chamber shall not be less than the density of the medium in the arrester.

NOTE 3 The medium surrounding the MO resistor within the arrester may be subject to a modification during the normal life of the arrester due to internal partial discharges. Possible change of the medium surrounding the resistor in the field can significantly increase the power losses.

If the manufacturer can prove that the test carried out in the open air is equivalent to that carried out in the actual medium, the ageing test may be carried out in open air.

## 9.11.2 Test procedure for arresters subjected to voltage reversal

### 9.11.2.1 General

Either one of the following test methods shall be applied:

- a) The MO resistors shall be subjected to the test voltage with polarity reversals as shown in Figure 9. The MO resistor power losses shall be measured at a voltage of  $U_{ct}$  0,5 h to 1 h after the voltage application, just before each polarity reversal, 0,5 h after each polarity reversal and, finally, after  $1\,000^{+100}_0$  h of ageing under the same conditions. Accidental intermediate de-energizing of the test samples, not exceeding a total duration of 24 h during the test period is permissible. The interruption will not be counted in the duration of the test. However, the final measurement shall be performed after not less than 100 h of continuous energizing. Within the temperature range allowed, all measurements shall be made at the same temperature  $\pm 1$  K. The polarity reversals shall take place within 3 minutes. At the discretion of the manufacturer, instead of circuit polarity reversals the MO resistors may instead be turned upside down at the specified time in the test cycle.

or

- b) The MO resistors shall be subjected to the test voltage with a single polarity reversal after 1 000 h. The initial power losses  $P_0$  shall be measured at a voltage of  $U_{ct}$  0,5 h to 1 h after the voltage application. The MO resistor power losses thereafter shall be measured once in every 100 h time span and given the designation  $P_1$  to  $P_9$ , after the first measurement giving  $P_0$ . Finally, the MO resistor power losses  $P_{10}$  shall be measured after  $1\,000^{+100}_0$  h of ageing under the same conditions. Accidental intermediate de-energizing of the test samples, not exceeding a total duration of 24 h during the test period is permissible. The interruption will not be counted in the duration of the test. However, the final measurement shall be performed after not less than 100 h of continuous energizing. Within the temperature range allowed, all measurements shall be made at the same temperature  $\pm 1$  K. The polarity reversal shall take place within 4 h after the measurement of  $P_{10}$  and shall take place within 3 minutes. The MO resistors shall be energized at  $U_{ct}$  after the measurement of  $P_{10}$  until polarity reversal has been performed. 0,5 h after the polarity reversal, tolerance  $\pm 1$  min, the power losses shall be measured given the designation  $P_{11}$ . At the discretion of the manufacturer, instead of circuit polarity reversals the MO resistors may instead be turned upside down.

The choice of method a) or b) is at the discretion of the manufacturer but method b) is considered to be most severe regarding change in power losses due to polarity reversal.

The applied voltage shall preferably have the same or similar wave shape as the actual voltage applied on the arrester. If not possible due to limitations in test equipments an equivalent voltage considered to give higher or equal stress must be applied. A pure d.c. test voltage is e.g. considered to be more severe than an actual d.c. voltage with superimposed transients if the amplitude of the applied pure d.c. test voltage is equal to or higher than the crest of the actual d.c. voltage including transient.

Testing time shall be increased if the arrester is installed in an ambient temperature which exceeds 60 °C (24 hours average value). The testing time shall be calculated as follows:

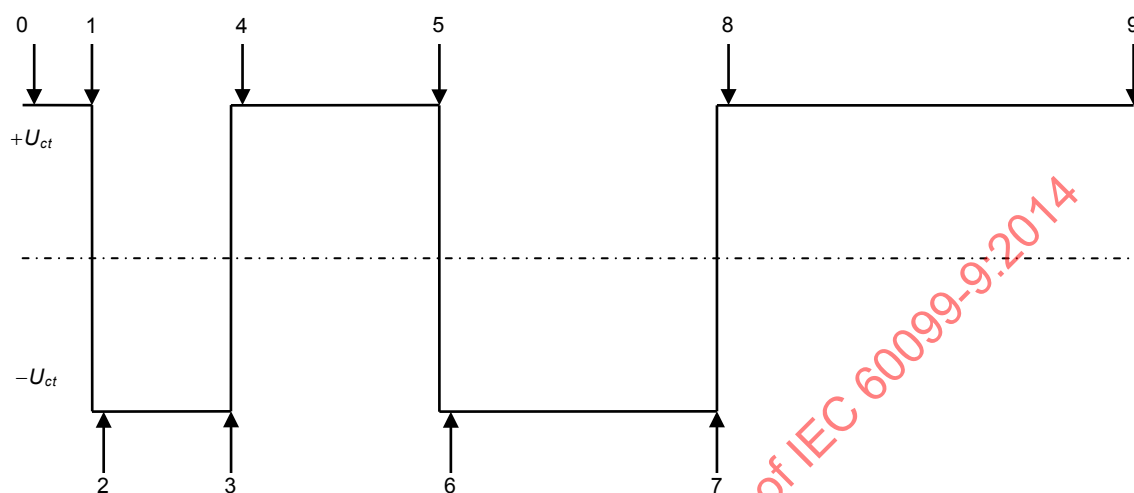
$$t = 154408 / (2,5^{(115-T_a)/10})$$

where

$t$  is the test duration in h

$T_a$  is the ambient temperature

Each time period shown in Figure 9 shall be increased in relative proportion.



IEC 1991/14

#### Key

| Point | Time                                     | Power losses measured |
|-------|------------------------------------------|-----------------------|
| 0     | 0,5 h to 1 h                             | $P_0$                 |
| 1     | $T_1=24 \text{ h} \pm 1 \text{ h}$       | $P_1$                 |
| 2     | $T_1+0,5 \text{ h} \pm 1 \text{ minute}$ | $P_2$                 |
| 3     | $T_2=72 \text{ h} \pm 2 \text{ h}$       | $P_3$                 |
| 4     | $T_2+0,5 \text{ h} \pm 1 \text{ minute}$ | $P_4$                 |
| 5     | $T_3=168 \text{ h} \pm 3 \text{ h}$      | $P_5$                 |
| 6     | $T_3+0,5 \text{ h} \pm 1 \text{ minute}$ | $P_6$                 |
| 7     | $T_4=360 \text{ h} \pm 4 \text{ h}$      | $P_7$                 |
| 8     | $T_4+0,5 \text{ h} \pm 1 \text{ minute}$ | $P_8$                 |
| 9     | $1\,000 \text{ h} \pm 100 \text{ h}$     | $P_9$                 |

Figure 9 – Test cycle for accelerated ageing test with polarity reversals, method a)

#### 9.11.2.2 Test evaluation

For method a) the test is passed and the test to verify thermal energy rating (9.14) shall be performed on new MO resistors without any corrections if for all three test samples:

- $P_1$  to  $P_9$  are equal to or less than 1,1 times  $P_0$

If  $P_1$ ,  $P_3$ ,  $P_5$ ,  $P_7$  and  $P_9$  are equal to or less than 1,1 times  $P_0$  but any of  $P_2$ ,  $P_4$ ,  $P_6$  and  $P_8$  are greater than 1,1 times  $P_0$  the test to verify thermal energy rating (9.14) shall be performed on test samples where the ECOV voltages are increased to correspond to the highest power losses of  $P_2$ ,  $P_4$ ,  $P_6$  and  $P_8$  for any of the test samples. On three samples comprising new MO resistors, in 9.14, the ECOV voltage is determined. At the starting temperature the power losses  $P_{ECOV}$  at ECOV are measured. Thereafter, the voltages are increased to ECOV\* so that the corresponding power losses fulfill the relation:

$$\frac{P_{ECOV*}}{P_{ECOV}} = K_{ECOV}$$

where

$K_{ECOV}$  is the highest ratio of  $P_2$ ,  $P_4$ ,  $P_6$  and  $P_8$  to  $P_0$  for any of the three test sections in the accelerated ageing test.

Otherwise the test is considered as failed.

For method b) the test is passed and the test to verify thermal energy rating (9.14) shall be performed on new MO resistors without any corrections if for all three test samples:

- $P_1$  to  $P_{11}$  are equal to or less than 1,1 times  $P_0$
- $P_{10}$  is not greater than 1,3 times the minimum value of  $P_1$  to  $P_9$

If  $P_1$  to  $P_{10}$  are equal to or less than 1,1 times  $P_0$ ,  $P_{10}$  not greater than 1,3 times the minimum value of  $P_1$  to  $P_9$  but  $P_{11}$  greater than 1,1 times  $P_0$  the test to verify thermal energy rating (9.14) shall be performed on test samples where the ECOV voltages are increased to correspond to the power losses  $P_{11}$  for any of the test samples. On three samples comprising new MO resistors, in 9.14, the ECOV voltage is determined. At the starting temperature the power losses  $P_{ECOV}$  at ECOV are measured. Thereafter, the voltages are increased to ECOV\* so that the corresponding power losses fulfill the relation:

$$\frac{P_{ECOV*}}{P_{ECOV}} = K_{ECOV}$$

where

$K_{ECOV}$  is the highest ratio of  $P_{11}$  to  $P_0$  for any of the three test sections in the accelerated ageing test.

Otherwise the test is considered as failed.

### 9.11.3 Test procedure for arresters not subjected to voltage reversal

#### 9.11.3.1 General

The MO resistor power losses  $P_0$  shall be measured at a voltage of  $U_{ct}$  0,5 h to 1 h after the voltage application. The MO resistor power losses shall be measured once in every 100 h time span and given the designation  $P_1$  to  $P_9$ , after the first measurement giving  $P_0$ . Finally, the MO resistor power losses  $P_{10}$  shall be measured after  $1\,000^{+100}_0$  h of ageing under the same conditions. Accidental intermediate de-energizing of the test samples, not exceeding a total duration of 24 h during the test period is permissible. The interruption will not be counted in the duration of the test. However, the final measurement shall be performed after not less than 100 h of continuous energizing. Within the temperature range allowed, all measurements shall be made at the same temperature  $\pm 1$  K.

The applied voltage shall preferably have the same or similar wave shape as the actual voltage applied on the arrester. If not possible due to limitations in test equipments an equivalent voltage considered to give higher or equal stress must be applied. A pure d.c. test voltage is e.g. considered to be more severe than an actual d.c. voltage with superimposed transients if the amplitude of the applied pure d.c. test voltage is equal to or higher than the crest of the actual d.c. voltage including transient.

Testing time shall be increased if the arrester is installed in an ambient temperature which exceeds 60 °C (24 hours average value). The testing time shall be calculated as follows:

$$t = 154408 / (2,5^{(115-T_a)/10})$$

where

$t$  is the test duration in h

$T_a$  is the ambient temperature

### 9.11.3.2 Test evaluation

The test shall be considered passed if for all three MO resistors:

- $P_1$  to  $P_{10}$  are equal to or less than 1,1 times  $P_0$
- $P_{10}$  is not greater than 1,3 times the minimum value of  $P_1$  to  $P_9$

Otherwise the test is considered as failed.

## 9.12 Test to verify the repetitive charge transfer rating, $Q_{rs}$

### 9.12.1 General

The purpose of this test is to verify the repetitive charge transfer rating,  $Q_{rs}$ , of an arrester.

Repetitive charge transfer capability is specified as an impulse current stress that can be withstood by the MO resistors of an arrester twenty times without mechanical or unacceptable electrical damage. One impulse current stress is considered to represent a charge transfer event in the time range of 200  $\mu$ s to 2 s in real system conditions.

For some arresters e.g. a.c. and d.c. filter arresters the decisive case may in general result in current pulses of less duration than 200  $\mu$ s. In such case the repetitive charge transfer test shall be performed with an impulse current of the actual or shorter duration.

The repetitive charge transfer rating is related to a certain very low failure probability and is thus not a deterministic but a statistical value. The test is performed on individual MO resistors at a charge value in the range 1,1 to 1,2 times the rated value selected from the list in 9.12.4. By this approach it is assumed that the performance of the individual MO resistors can also be assigned to a full arrester built from these MO resistors, based on the test requirements and the chosen statistical approach.

Charge has been chosen as a test basis for the purpose of better comparison between different makes of MO resistors.

For this test long-duration impulse currents or unipolar sine half-wave current impulses of similar time durations shall be applied.

Charge and energy handling capability is typically higher for lightning impulse discharges compared to long-duration current impulses. However, if the actual event is related to current impulses of shorter duration than 200  $\mu$ s the test shall be carried out by impulses with this duration or shorter.

An arrester shall be assigned a  $Q_{rs}$  value from the list given in 9.12.4.

A first test sequence shall be performed on 10 samples of MO resistors selected according to 8.3.1 d). If not more than one MO resistor fails, the entire test is passed. If two MO resistors fail, a second sequence identical to the first shall be performed on an additional 10 samples. The entire test shall then be passed if there is no failure of an MO resistor during this second sequence. If more than two MO resistors fail in the first test sequence or any MO resistor fails in the second test sequence, the entire test is failed.

### 9.12.2 Test procedure

Ten test samples shall be tested in the first sequence. Depending on the test results, it may be necessary to test an additional ten samples in a second sequence.

The samples shall consist of individual MO resistors either in still air or in the actual surrounding medium of the design. The choice is at the discretion of the manufacturer.

The samples shall fulfil the requirements in 8.3.

The following procedure shall be followed:

- Each sample shall be subjected to a residual voltage test at 10 kA discharge current and a reference voltage test at specified reference current before and after the test.
- Each sample shall be subjected to twenty current impulses administered in ten groups of two impulses, with time between impulses within a group of 50 s to 60 s and time between groups sufficient for cooling to ambient temperature.
- The current impulses either shall be long-duration (rectangular) impulses of 2 ms to 4 ms virtual total duration or unipolar sine half-wave impulses of 2 ms to 4 ms total duration.
- The charge content of each impulse shall be as follows:
  - a) for single-column arresters: at least equal to the claimed repetitive charge transfer rating (selected from the list given in 9.12.4) multiplied by 1,1;
  - b) for multi-column arresters: at least equal to the claimed repetitive charge transfer rating (selected from the list given in 9.12.4) multiplied by 1,1, then divided by the number of columns, and then multiplied by the current sharing factor,  $\beta_g$  (see item c) of 8.3.1).

NOTE 1 The requirement of testing at least 1,1 times the rated charge values is considered to give sufficient confidence that the performance of the individual MO resistors can also be assigned to complete arresters built from this type of MO resistors.

NOTE 2 If MO resistors tested with charge values for single-column arresters are used in a multi-column arrester and no new test is performed the repetitive charge transfer rating for the complete multi-column arrester is the next lower or equal value in the list (9.12.4) to the repetitive charge transfer rating of the MO resistors times the number of columns and divided by the current sharing factor.

### 9.12.3 Test evaluation

The full test shall be considered passed if either

- not more than one sample failed during the first sequence, or
- not more than two samples failed during two sequences.

Otherwise, the test is considered as failed and a lower charge level,  $Q_{rs}$ , from the list shown in 9.12.4 shall be selected, and the test shall be repeated for this lower charge level following the procedure given in 9.12.2.

NOTE 1 If only one failure occurs during the first sequence and this happens, in the worst case, at the very first impulse application, 180 impulses without failure will have been applied at the end, giving a failure probability of  $\max. 1/181 = 0,0056$  or 0,56 % for the complete test. If two failures occur during the first sequence and this happens, again as a worst case, at the very first applications on two of the samples, 360 impulses without failure will have been applied at the end of both sequences, giving again a failure probability of  $\max. 2/362 = 0,0056$  or 0,56 % for the complete test.

Each individual sample shall be considered to have withstood the complete series of impulses if all the following criteria are met:

- there is no indication of mechanical damage (puncture, flashover or cracking);
- any change of the reference voltage before and after the test, measured at the same temperature  $\pm 3$  K, is within  $\pm 5$  %;

- any change of the residual voltage at 10 kA discharge current before and after the test is within  $\pm 5\%$ ;
- a final application of a current impulse  $8/20\ \mu\text{s}$  of an amplitude of at least 20 kA is passed without mechanical damage.

NOTE 2 Burning or arcing damage to the metallization is not considered a mechanical damage if all other pass criteria are met.

#### 9.12.4 Rated values of repetitive charge transfer rating, $Q_{rs}$

The repetitive charge transfer rating values shall be taken from the following list:

- from 0,1 C to 1,2 C in steps of 0,1 C
- from 1,2 C to 4,4 C in steps of 0,4 C
- from 4,4 C up to 10,0 C in steps of 0,8 C
- from 10 C to 20 C in steps of 2 C
- from 20 C upward in steps of 4 C

NOTE The following factors to calculate corresponding impulse current amplitudes from the charge values are given for guidance:

- Long-duration current, 2 ms:  $i_{\text{peak}} / A \approx 500 \times Q_{rs} / C$
- Long-duration current, 4 ms:  $i_{\text{peak}} / A \approx 250 \times Q_{rs} / C$
- Unipolar sine half-wave, 2 ms:  $i_{\text{peak}} / A \approx 786 \times Q_{rs} / C$
- Unipolar sine half-wave, 4 ms:  $i_{\text{peak}} / A \approx 393 \times Q_{rs} / C$

The resulting current amplitudes are informative and are approximate values, calculated under the assumption of an ideally rectangular impulse current shape in case of the long-duration current impulses. As an actual current shape will deviate from the ideal shape the actual amplitudes necessary to reach the rated charge values may differ from the values listed here.

### 9.13 Heat dissipation behaviour of test sample

#### 9.13.1 General

In the test to verify the thermal energy rating (9.14) the behaviour of the test sample is to a great extent dependent on the ability of the sample to dissipate heat, i.e. to cool down after being stressed by a discharge.

Consequently, the test samples shall have a transient and a steady-state heat dissipation capability and heat capacity equivalent to the complete arrester if correct information is to be obtained from the test. For the same ambient conditions the MO resistors in the sample and in the complete arrester should in principle reach the same temperature when subjected to the same voltage stress.

A test shall be performed to demonstrate this equivalency (see 9.13.3).

#### 9.13.2 Arrester section requirements

The requirements are specified in 8.3.2.1.

#### 9.13.3 Procedure to verify thermal equivalency between arrester and arrester section

Thermal equivalency between the complete arrester and the arrester section shall be demonstrated following the procedure of Annex A.

## 9.14 Test to verify the thermal energy rating, $W_{th}$

### 9.14.1 General

The purpose of this test is to verify the arrester's ability to thermally recover after injection of the rated thermal energy,  $W_{th}$ , and following continuous operating voltage conditions. Due to the generally complex waveforms for arresters in HVDC stations the energy due to any temporary overvoltage conditions shall be included in the rated thermal energy.

The measuring equipment shall meet the requirements given in 8.1. The peak value of the applied continuous operating voltage shall not vary by more than 1 % from no-load to full-load condition. During the tests, the peak and r.m.s. value of the voltage shall not deviate from the specified values by more than  $\pm 1$  %.

NOTE 1 Arresters with non-significant continuous operating voltage (3.34) need not to be tested.

NOTE 2 The rated thermal energy is taken from system studies and can be any value.

### 9.14.2 Arrester section requirements

The thermal recovery part of this test (9.14.3.2) shall be performed on thermally prorated sections of the real arrester as specified in 8.3.2.1. A temperature sensor shall be integrated in the sample such that the temperature of its active part can be measured.

The characterization and conditioning part (9.14.3.1) of the test may be performed at an ambient temperature of  $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 15\text{ K}$  on the MO resistors in still air or in the dielectrically prorated section according to 8.3.2.2. The test shall be performed on three test samples.

NOTE Although thermal stability has basically no statistical character, three test samples are specified. This compensates for statistical factors such as incorrect voltage adjustment, stray in the power loss characteristic, tolerance during energy injection etc.

The samples shall fulfil the requirements in 8.3.

The start temperature,  $\vartheta_{start}$ , of the thermal recovery part of the test shall be  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  if the average operating temperature  $T_{ars}$  determined as per Annex B is not higher than  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Otherwise the start temperature shall be equal to  $T_{ars}$ . If the last paragraph of Annex A applies the start temperature shall be adjusted accordingly.

### 9.14.3 Test procedure

#### 9.14.3.1 Characterization and conditioning

The following procedure shall be applied for characterization and conditioning:

- Each sample shall be subjected to a residual voltage test at the 10 kA discharge current and a reference voltage test at specified reference current only before the test. The reference voltage test is necessary to calculate the continuous operating voltage and the rated voltage. For multi-column arresters the distribution of the current between the columns shall be measured at the impulse current for current distribution test (see item e) of 10.1). The highest current value shall not be higher than an upper limit specified by the manufacturer. It is allowed not to measure the current distribution at impulse current but in that case  $\beta_a$  as per item c) of 8.3 shall be set to 1.
- For the purpose of conditioning, the samples shall be subjected to two high current impulses having at least amplitudes of 100 kA. This conditioning may be performed in the dielectrically prorated section, and the first high current impulse application may be considered the test to verify dielectric withstand of the internal components of an arrester (9.15) if all other requirements of 9.15 are also fulfilled. There shall be sufficient time between and after the impulses to allow for cooling to ambient temperature. The impulses shall be of same polarity, and their polarity shall be the same as that of the current

impulses for energy injection and charge transfer, respectively, in the thermal recovery part of the test.

- After application of the high current impulses the samples shall be stored at room temperature. If the conditioning has been performed on the dielectrically prorated section the MO resistors shall be removed from the section before storage. The samples shall not subsequently be energized by any kind of voltage or current stress before the thermal recovery test is performed.

For some applications like e.g. filter arresters the actual current may exceed 100 kA. In this case the test shall be made with actual current amplitude or if a multi-column arrester is used the current could be scaled down with respect to the number of columns and the test performed on separate columns.

NOTE Heating the samples for longer time at very high temperatures, application of alternating voltage or application of impulse currents of opposite polarity may lead to recovery from possible electrical ageing effects and is therefore not permitted.

### 9.14.3.2 Thermal recovery test

The following test procedure shall be applied for the thermal recovery part of the test:

- The complete test sample shall be preheated to a temperature of at least the start temperature,  $\vartheta_{\text{Start}}$ . The preheating shall not take more than twenty hours.
- The temperature of the MO resistors immediately prior to the injection of energy shall be at least the start temperature,  $\vartheta_{\text{Start}}$ , measured by the temperature sensor.
- The energy shall be injected within 3 minutes by one or more long-duration current impulses of approximately (2 to 4) ms virtual total duration or by unipolar sine half-wave current impulses of approximately (2 to 4) ms total duration. The current amplitude and number of the impulses is not critical, but shall be chosen such that the total discharged energy meets at least the required thermal energy rating. The injected amount of energy shall be measured (time integral of  $u(t) \times i(t)$ ). The amplitude of the current impulses may be adjusted for each individual impulse in order to meet the required overall energy value. For multi-column arresters the energy shall be adjusted as per item c) of 8.3.
- Within 100 ms from the energy application, a voltage equal to the continuous operating voltage,  $U_{\text{CHVDC}}$ , or ECOV shall be applied for a minimum of 30 minutes to demonstrate thermal stability. The voltage shall be corrected as per 9.11.2.2 if necessary. Resistive component of current or power dissipation or temperature or any combination of them shall be monitored until the measured value is appreciably reduced (success), but for at least 30 minutes, or thermal runaway condition (failure) is evident.

### 9.14.3.3 Test Evaluation

The test shall be considered passed if all the following criteria are met:

- thermal recovery has been demonstrated;
- no physical damage is evident;
- any change of the residual voltage at 10 kA discharge current before and after the test is within  $\pm 5\%$ .

## 9.15 Test to verify the dielectric withstand of internal components

### 9.15.1 General

The purpose of this test is to verify the internal dielectric withstand capability of an arrester even under impulse currents of amplitudes higher than nominal discharge current.

If it can be demonstrated by calculations that, for a specific arrester, the electrical field at critical locations is less than or equal to the electrical field on an arrester which has been successfully tested at higher or equal voltage, no test is required. Additionally the test is

required only if the conditioning part of the thermal recovery test (9.14.3.1) was not performed on a dielectrically prorated section.

The test shall be performed on one test sample.

The test sample shall be a dielectrically prorated section according to 8.3.2.2. No internal temperature sensor shall be installed.

### 9.15.2 Test procedure

The test sample shall be heated in an oven for a time sufficient to obtain thermal equilibrium to at least 60 °C. The test shall be performed within 10 minutes after removing the sample from the oven. The test consists of one application of a high-current impulse with amplitude 100 kA and waveform 4/10 µs.

Oscillograms of current and voltage shall be taken for the impulse application.

### 9.15.3 Test evaluation

The sample has passed the test if

- there is no evidence of a dielectric breakdown from the oscillograms;
- examination after the test reveals no evidence of puncture, flashover or cracking of the MO resistors or damage to the supporting elements.

If the manufacturer declares that the resistors may be removed from the test sample, a visual examination of the resistors shall be made to verify that the test has not caused puncture, flashover or cracking of the resistors. Otherwise, additional tests shall be performed to be sure that no damage occurred during the test as follows.

- After the tests, two current impulses 8/20 of an amplitude of 20 kA are applied to the sample. The first impulse is applied after sufficient time to allow the cooling of the sample to ambient temperature. The second impulse is applied between 50 s to 60 s after the first one.
- During the two impulses, the oscillograms of both voltage and current shall not reveal any breakdown. The variation of the residual voltage between the initial measurement and the last impulse shall not be greater than 5 %.

## 9.16 Test of internal grading components

### 9.16.1 Test to verify long term stability under continuous operating voltage

If internal grading components such as capacitors or (non-linear) resistors are used in the arrester they shall be tested in an accelerated test to verify long term stability under continuous operating voltage under the same test conditions as the MO resistors (see 9.11). The test samples may be individual components or a stack of such components.

All material (solid or liquid) in direct contact with the grading components in the arrester shall be present during the ageing test with the same design as used in the complete arrester.

During the test, the test samples shall be placed in a temperature-controlled oven in the same surrounding medium as used in the arrester. The volume of the oven chamber shall be at least twice the volume of the test sample and the density of the medium in the chamber shall not be less than the density of the medium in the arrester.

NOTE The medium surrounding the grading components within the arrester might be subject to a modification during the normal life of the arrester due to internal partial discharges. Possible change of the medium surrounding the grading components in the field can significantly change their electrical properties.

A suitable test procedure taking into account such modifications is under consideration. During this time an alternative procedure consists in performing the test in  $N_2$  or  $SF_6$  (for GIS-arresters) with a low oxygen concentration (less than 0,1 % in volume). This ensures that even in the total absence of oxygen, the grading components will not age.

If the manufacturer can prove that the test carried out in the open air is equivalent to that carried out in the actual medium, the ageing procedure can be carried out in the open air.

Three samples shall be tested for 1 000 h, during which the temperature shall be controlled to keep the surface of the samples at  $115\text{ °C} \pm 4\text{ K}$ . During the 1 000 h test, the samples shall be energized at a voltage corresponding to the corrected maximum operating voltage (see 9.11) for the number of MO resistors installed in parallel to the grading components in the arrester. The impedance of the grading components shall be measured at  $20\text{ °C} \pm 15\text{ K}$  before and after the 1 000 h test.

The samples shall have passed this part of the test if

- there is no evidence of a dielectric breakdown;
- examination after the test reveals no evidence of puncture, flashover or cracking of the grading components;
- a partial discharge test at the test voltage reveal partial discharges not exceeding 10 pC;
- the change in impedance of the grading components due to the 1 000 h test is not greater than  $\pm 5\%$ .

If the samples pass the above evaluation criteria, then MO resistors, equal in number to those used in parallel to the grading components in the arrester and fulfilling the requirements as per 8.3, shall be connected in parallel to the test sample, and two 8/20 lightning impulses of amplitude 20 kA shall be applied to the sample. The first impulse shall be applied after sufficient time to allow the cooling of the sample to ambient temperature. The second impulse is applied between 50 s to 60 s after the first impulse. The impedance of the grading components shall be measured at  $20\text{ °C} \pm 15\text{ K}$  before and after the two impulses. The samples shall have passed the test if

- oscillograms of voltage and current taken during each impulse reveal no electrical breakdown
- the change in impedance of the grading components due to the two impulses is not greater than  $\pm 5\%$

#### 9.16.2 Thermal cyclic test

Three samples shall be subjected to thermal variations without voltage applied. The thermal variations consist of five 48 h cycles of heating and cooling to  $60\text{ °C}$  and  $-40\text{ °C}$  respectively. The hot and cold periods shall be maintained for at least 16 h. the test shall be conducted in air.

NOTE For components used in arrester located indoors the minimum temperature might be as low as  $5\text{ °C}$ .

The samples have passed the test if

- examination after the test reveals no evidence of cracking of the grading components;
- a partial discharge test at the test voltage corresponding to the corrected maximum operating voltage (see 9.11) for the number of MO resistors installed in parallel to the grading components in the arrester reveal partial discharges not exceeding 10 pC;
- the change in impedance of the grading components due to the thermal cycles is not greater than  $\pm 5\%$ .

If the samples pass the above evaluation criteria, then MO resistors, equal in number to those used in parallel to the grading components in the arrester and fulfilling the requirements as per 8.3, shall be connected in parallel to the test sample, and two 8/20 lightning impulses of

amplitude 20 kA shall be applied to the sample. The first impulse shall be applied after sufficient time to allow the cooling of the sample to ambient temperature. The second impulse is applied between 50 s to 60 s after the first impulse. The impedance of the grading components shall be measured at  $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 15\text{ K}$  before and after the two impulses. The samples shall have passed the test if

- oscillograms of voltage and current taken during each impulse reveal no electrical breakdown;
- the change in impedance of the grading components due to the two impulses is not greater than  $\pm 5\%$ .

## 10 Routine tests and acceptance test

### 10.1 Routine tests

The minimum requirements for routine tests to be made by the manufacturer shall be

- measurement of reference voltage ( $U_{\text{ref}}$ ) (see 3.48, 3.49 and 7.2). The measured values shall be within a range specified by the manufacturer;
- residual voltage test. The test may be performed either on complete arresters, assembled arrester units or on a sample comprising one or several MO resistors. The manufacturer shall specify a suitable lightning impulse current in the range between 0,01 and 100 times the lightning impulse coordination current at which the residual voltage is measured. If not directly measured, the residual voltage of the complete arrester is taken as the sum of the residual voltages of the MO resistors or the individual arrester units. The residual voltage for the complete arrester shall not be higher than the value specified by the manufacturer;
- internal partial discharge test. This test shall be performed on each arrester unit. The test sample may be shielded against external partial discharges. The test voltages and test procedure according to 9.4 shall be followed;
- for arrester units with an enclosed gas volume and a separate sealing system, a leakage check shall be made on each unit by any sensitive method adopted by the manufacturer. In order to reduce test efforts during production, higher values of seal leak rate than required for type testing (see 8.13.4) may be used in this routine test for verification of correct assembly;
- current distribution test for multi-column arrester with all columns in the same housing. This test shall be carried out on all groups of parallel MO resistors. A group of parallel MO resistors means a part of the assembly where no intermediate electrical connection between the columns is used. The manufacturer shall specify a suitable impulse current in the range 0,01 to 2 times the switching impulse coordination current at which the current through each column shall be measured.

The highest current value shall not be higher than an upper limit specified by the manufacturer. The current impulse shall have a virtual front time of not less than 7  $\mu\text{s}$  and the half-value time may have any value.

**NOTE** If the residual voltage of the groups of parallel MO resistors used in the design is too high compared to available test facilities, the residual voltage of the group of parallel MO resistors used in this test can be reduced by introducing intermediate electrical connections between the columns, thereby establishing several artificial groups of parallel MO resistors. Each such artificial group will then pass the current distribution test specified.

- current distribution test for matched arresters and arresters with parallel columns in separate housings. A maximum accepted deviation in current sharing between parallel columns of MO resistors within a complete arrester or within a set of matched arresters has to be specified by the manufacturer. Further, the manufacturer shall present the routine test procedure to demonstrate that the current sharing will be within given tolerances.
- For an arrester comprising several housings with several columns of resistors in each housing both the current sharing within the individual housings as well as between housings shall be demonstrated.

## 10.2 Acceptance tests

### 10.2.1 Standard acceptance tests

When the user specifies acceptance tests in the purchase agreement, the following tests shall be made on the nearest lower whole number to the cube root of the number of arresters to be supplied.

- a) Measurement of reference voltage, a.c. or d.c. depending on arrester type, on the complete arrester or on arrester units. The measured value shall be within a range specified by the manufacturer.
- b) Lightning impulse residual voltage on the complete arrester or arrester unit (see 9.10), at the lightning impulse coordination current if possible or at a current value chosen according to 9.10. In this case, the virtual time to half-value on the tail is less important and need not be complied with. The residual voltage of a complete arrester is taken as the sum of the residual voltages of the individual arrester units. The residual voltage for the complete arrester shall not be higher than a value specified by the manufacturer.
- c) Internal partial discharge test. The test shall be performed on the complete arrester or, for multiple unit arresters, individual units of the arrester. The test sample may be shielded against external partial discharges. The power-frequency test voltage and test procedure shall be as per 9.4. The measured value for the internal partial discharge shall not exceed 10 pC.

Any alteration in the number of test samples or type of test shall be negotiated between the manufacturer and the user.

### 10.2.2 Special thermal stability test

The following test requires additional agreement between manufacturer and user prior to the commencement of arrester assembly.

This test shall be performed on three sections using MO resistors taken from current routine production and having the same dimensions and characteristics as those of the arresters under test. The test consists of repeating the test to verify the thermal energy rating as per 9.14.

MO resistor temperature or resistive component of current or power dissipation shall be monitored during the application of the continuous operating voltage,  $U_{CHVDC}$ , or ECOV to prove thermal stability. The test is passed if thermal stability occurs in all three samples (see 9.14.3.2). If one sample fails, agreement shall be reached between the manufacturer and the user regarding any further tests.

## 11 Test requirements on different types of arresters

### 11.1 General

If any test requirements differ from the general type test procedure under Clause 9, specific test procedures are given here. The designation of the different arrester types is taken from IEC/TS 60071-5 and also shown in Figures 1 to 3.

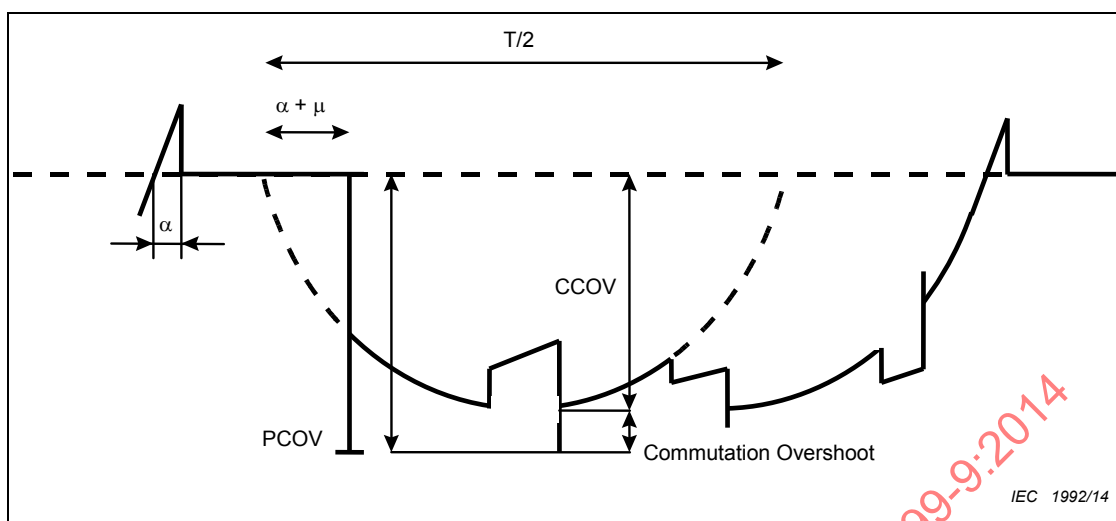
### 11.2 Valve arrester (V)

#### 11.2.1 General

The arrester is connected directly across a thyristor valve.

#### 11.2.2 Continuous operating voltage

The general shape of the voltage is given in Figure 10.



**Figure 10 – Operating voltage of a valve arrester (V) (rectifier operation) and definition of PCOV and CCOV**

### 11.2.3 Equivalent continuous operating voltage

The ECOV is determined as follows:

- On three test samples the power losses are measured at actual voltage waveform at temperatures 60 °C, 100 °C and 160 °C ± 10 K;
- At the same temperatures, within ± 5 K, a power-frequency voltage is applied and adjusted to obtain the same power losses as for the actual voltage waveform;
- The ratio power-frequency voltage to reference voltage is determined for the three temperatures and plotted in a diagram as function of temperature;
- A smooth curve is drawn through the points;
- The maximum ratio times the reference voltage obtained from the diagram at the maximum expected temperature and for any of the test samples is the ECOV and shall be applied in the test to verify thermal energy rating.

If the actual voltage waveform from high-frequency modelling is not possible to apply the voltage used shall fulfil the following requirements:

- The d.c. component shall be not less than the DCOV (3.9) in the actual wave shape
- The peak voltage shall not be less than the PCOV (3.37)
- The voltage peak except the PCOV shall not be less than the CCOV (3.7)
- The base and number of the commutation overshoots shall be not less than for the actual waveform

If the actual waveform is possible to apply only on a test sample with lower reference voltage than the samples intended to be used in the test to verify thermal energy rating, ECOV could be determined for the test sample with lower reference voltage and then the same factor in ratio of reference voltage is applied to the samples for the thermal test. All test samples shall fulfil the requirements as per 8.3 and the MO resistors shall be of the same design. Only the height is allowed to be different.

**NOTE 1** For valve arresters normally the operating voltage is calculated with the arresters connected since the commutation overshoots might be affected by the arrester. If the voltage is calculated without the arresters this in general results in a more conservative result i.e. higher voltage peaks.

**NOTE 2** If the expected temperature in the test to verify thermal rating is less than 160 °C, a test at a lower temperature is acceptable.

### 11.2.4 Type tests

In Table 1, with reference to Clause 9, relevant type tests and their applicability are listed.

**Table 1 – Summary of type tests – 1**

| Arrester type                                                                | Valve arrester (V) | Bridge arrester and HV and LV converter unit arresters (B, CH, CL) | Converter unit arrester (C) | Mid-point d.c. bus arrester, mid-point bridge arresters and arrester between converters (M, MH, ML, CM) | Converter unit d.c. bus arrester (CB) | DC bus and d.c. line/cable arrester (DB, DL/DC) |
|------------------------------------------------------------------------------|--------------------|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------|
| 1 Insulation withstand tests                                                 | 9.2                | 9.2                                                                | 9.2                         | 9.2                                                                                                     | 9.2                                   | 9.2/11.7.4.2.1 <sup>f</sup>                     |
| 2 Short-circuit tests                                                        | 9.3                | 9.3                                                                | 9.3                         | 9.3                                                                                                     | 9.3                                   | 9.3                                             |
| 3 Internal partial discharge tests                                           | 9.4                | 9.4                                                                | 9.4                         | 9.4                                                                                                     | 9.4                                   | 9.4                                             |
| 4 Test of the bending moment                                                 | 9.5 <sup>b</sup>   | 9.5 <sup>b</sup>                                                   | 9.5 <sup>b</sup>            | 9.5 <sup>b</sup>                                                                                        | 9.5 <sup>b</sup>                      | 9.5 <sup>b</sup>                                |
| 5 Environmental tests                                                        | 9.6 <sup>c</sup>   | 9.6 <sup>c</sup>                                                   | 9.6 <sup>c</sup>            | 9.6 <sup>c</sup>                                                                                        | 9.6 <sup>c</sup>                      | 9.6 <sup>c</sup>                                |
| 6 Weather ageing test                                                        | 9.7 <sup>d</sup>   | 9.7 <sup>d</sup>                                                   | 9.7 <sup>d</sup>            | 9.7 <sup>d</sup>                                                                                        | 9.7 <sup>d</sup>                      | 9.7 <sup>d</sup>                                |
| 7 Seal leak rate test                                                        | 9.8 <sup>e</sup>   | 9.8 <sup>e</sup>                                                   | 9.8 <sup>e</sup>            | 9.8 <sup>e</sup>                                                                                        | 9.8 <sup>e</sup>                      | 9.8 <sup>e</sup>                                |
| 8 Radio interference voltage (RIV) test                                      | 9.9                | 9.9                                                                | 9.9                         | 9.9                                                                                                     | 9.9                                   | 9.9                                             |
| 9 Residual voltage test                                                      | 9.10               | 9.10                                                               | 9.10                        | 9.10                                                                                                    | 9.10                                  | 9.10                                            |
| 10 Test to verify the long term stability under continuous operating voltage | 9.11               | 9.11                                                               | 9.11                        | 9.11                                                                                                    | 9.11                                  | 9.11                                            |
| 11 Test to verify the repetitive charge transfer rating                      | 9.12               | 9.12                                                               | 9.12                        | 9.12                                                                                                    | 9.12                                  | 9.12                                            |
| 12 Heat dissipation behaviour of test samples                                | 9.13               | 9.13                                                               | 9.13                        | 9.13                                                                                                    | 9.13                                  | 9.13                                            |
| 13 Test to verify the thermal energy rating                                  | 9.14               | 9.14                                                               | 9.14                        | 9.14                                                                                                    | 9.14                                  | 9.14                                            |
| 14 Test to verify the dielectric withstand of internal components            | 9.15               | 9.15                                                               | 9.15                        | 9.15                                                                                                    | 9.15                                  | 9.15                                            |

| Arrester type                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Valve arrester (V) | Bridge arrester and HV and LV converter unit arresters (B, CH, CL) | Converter unit arrester (C) | Mid-point d.c. bus arrester, mid-point bridge arresters and arrester between converters (M, MH, ML, CM) | Converter unit d.c. bus arrester (CB) | DC bus and d.c. line/cable arrester (DB, DL/DC) |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------|
| 15 Test of internal grading components                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 9.16               | 9.16                                                               | 9.16                        | 9.16                                                                                                    | 9.16                                  | 9.16                                            |
| <p>Numbers in rows 1 to 15 refer to clauses and subclauses in this standard</p> <p><sup>b</sup> Applies except that for GIS arresters and for arresters directly suspended to the thyristor valves or suspended hanging and located indoors no test is required</p> <p><sup>c</sup> Applies if the arrester is of type porcelain-housed and is installed outdoors</p> <p><sup>d</sup> Applies if the arrester is of type polymer-housed and is installed outdoors</p> <p><sup>e</sup> Applies if the arrester is of a type specified in 7.5</p> <p><sup>f</sup> 11.7.4.2.1 applies for GIS arrester</p> |                    |                                                                    |                             |                                                                                                         |                                       |                                                 |

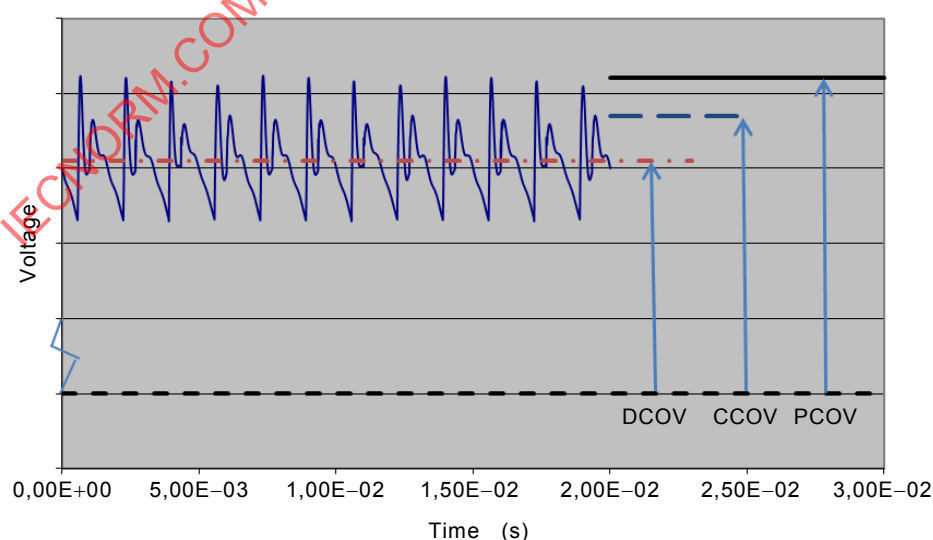
### 11.2.5 Routine and acceptance tests

Clause 10 applies.

### 11.3 Bridge arrester and HV and LV converter unit arresters (B, CH, CL)

#### 11.3.1 Continuous operating voltage

The voltage is a d.c. voltage with voltage ripple. Typical shape of the voltage is shown in Figures 4 and 5. In Figure 11 definitions of DCOV, CCOV and PCOV are given for a typical shape.



IEC 1993/14

**Figure 11 – Operating voltage of a bridge arrester and definition of DCOV, PCOV and CCOV**

### 11.3.2 Equivalent continuous operating voltage

The ECOV is determined as follows:

- On three test samples the power losses are measured at actual voltage waveform at temperatures 60 °C, 100 °C and 160 °C  $\pm$  10 K;
- At the same temperatures, within  $\pm$  5 K, a power–frequency voltage is applied and adjusted to obtain the same power losses as for the actual voltage waveform;
- The ratio power-frequency voltage to reference voltage is determined for the three temperatures and plotted in a diagram as function of temperature;
- A smooth curve is drawn through the points;
- The maximum ratio times the reference voltage obtained from the diagram at the maximum expected temperature and for any of the test samples is the ECOV and shall be applied in the test to verify thermal energy rating.

If the actual voltage waveform is not possible to apply or as a conservative alternative the ECOV is set equal to a d.c. voltage with the amplitude equal to the actual voltage including voltage ripple.

If the actual waveform is possible to apply only on a test sample with lower reference voltage than the samples intended to be used in the test to verify thermal energy rating, ECOV could be determined for the test sample with lower reference voltage and then the same factor in ratio of reference voltage is applied to the samples for the thermal test. All test samples shall fulfil the requirements as per 8.3 and the MO resistors shall be of the same design. Only the height is allowed to be different.

NOTE If the expected temperature in the test to verify thermal rating is less than 160 °C, a test at a lower temperature is acceptable.

### 11.3.3 Type tests

In Table 1, with reference to Clause 9, relevant type tests and their applicability are listed.

### 11.3.4 Routine and acceptance tests

Clause 10 applies.

## 11.4 Converter unit arrester (C)

### 11.4.1 General

A converter unit arrester (shown in Figure 2) is connected between the d.c. terminals i.e. between the neutral bus and the d.c. bus on the station side of the d.c. reactor.

### 11.4.2 Continuous operating voltage

The voltage is a d.c. voltage with voltage ripple.

### 11.4.3 Equivalent continuous operating voltage

The ECOV is determined as follows:

- On three test samples the power losses are measured at actual voltage waveform at temperatures 60 °C, 100 °C and 160 °C  $\pm$  10 K;
- At the same temperatures, within  $\pm$  5 K, a power–frequency voltage is applied and adjusted to obtain the same power losses as for the actual voltage waveform;
- The ratio power-frequency voltage to reference voltage is determined for the three temperatures and plotted in a diagram as function of temperature;

- A smooth curve is drawn through the points;
- The maximum ratio times the reference voltage obtained from the diagram at the maximum expected temperature and for any of the test samples is the ECOV and shall be applied in the test to verify thermal energy rating.

If the actual voltage waveform is not possible to apply or as a conservative alternative the ECOV is set equal to a d.c. voltage with the amplitude equal to the actual voltage including voltage ripple.

If the actual waveform is possible to apply only on a test sample with lower reference voltage than the samples intended to be used in the test to verify thermal energy rating, ECOV could be determined for the test sample with lower reference voltage and then the same factor in ratio of reference voltage is applied to the samples for the thermal test. All test samples shall fulfil the requirements as per 8.3 and the MO resistors shall be of the same design. Only the height is allowed to be different.

NOTE If the expected temperature in the test to verify thermal rating is less than 160 °C, a test at a lower temperature is acceptable.

#### 11.4.4 Type tests

In Table 1, with reference to Clause 9, relevant type tests and their applicability are listed.

#### 11.4.5 Routine and acceptance tests

Clause 10 applies.

### 11.5 Mid-point d.c. bus arrester, mid-point bridge arresters and arrester between converters (M, MH, ML, CM)

#### 11.5.1 Continuous operating voltage

The voltage is the sum of the voltage across a part of the converter and the neutral bus voltage. Typical shape of the voltage is shown in Figures 4 and 5 for the arresters.

#### 11.5.2 Equivalent continuous operating voltage

The ECOV is determined as follows:

- On three test samples the power losses are measured at actual voltage waveform at temperatures 60 °C, 100 °C and 160 °C ± 10 K;
- At the same temperatures, within ± 5 K, a power-frequency voltage is applied and adjusted to obtain the same power losses as for the actual voltage waveform;
- The ratio power-frequency voltage to reference voltage is determined for the three temperatures and plotted in a diagram as function of temperature;
- A smooth curve is drawn through the points;
- The maximum ratio times the reference voltage obtained from the diagram at the maximum expected temperature and for any of the test samples is the ECOV and shall be applied in the test to verify thermal energy rating.

If the actual voltage waveform is not possible to apply the voltage used shall fulfil the following requirements:

- The d.c. component shall be not less than the DCOV (3.9) in the actual wave shape
- The peak voltage shall not be less than the PCOV (3.37)
- The voltage peak except the PCOV shall not be less than the CCOV (3.7)
- The base of the commutation overshoot shall be not less than for the actual waveform

As an alternative the ECOV is set equal to a d.c. voltage with the amplitude equal to the peak value of the actual voltage.

If the actual waveform is possible to apply only on a test sample with lower reference voltage than the samples intended to be used in the test to verify thermal energy rating, ECOV could be determined for the test sample with lower reference voltage and then the same factor in ratio of reference voltage is applied to the samples for the thermal test. All test samples shall fulfil the requirements as per 8.3 and the MO resistors shall be of the same design. Only the height is allowed to be different.

NOTE If the expected temperature in the test to verify thermal rating is less than 160 °C, a test at a lower temperature is acceptable.

### 11.5.3 Type tests

In Table 1, with reference to Clause 9, relevant type tests and their applicability are listed.

### 11.5.4 Routine and acceptance tests

Clause 10 applies.

## 11.6 Converter unit d.c. bus arrester (CB)

### 11.6.1 Continuous operating voltage

The voltage is a d.c. voltage with voltage ripple. Typical shape of the voltage is shown in Figures 4 and 5.

### 11.6.2 Equivalent continuous operating voltage

The ECOV is determined as follows:

- On three test samples the power losses are measured at actual voltage waveform at temperatures 60 °C, 100 °C and 160 °C  $\pm$  10 K;
- At the same temperatures, within  $\pm$  5 K, a power-frequency voltage is applied and adjusted to obtain the same power losses as for the actual voltage waveform;
- The ratio power-frequency voltage to reference voltage is determined for the three temperatures and plotted in a diagram as function of temperature;
- A smooth curve is drawn through the points;
- The maximum ratio times the reference voltage obtained from the diagram at the maximum expected temperature and for any of the test samples is the ECOV and shall be applied in the test to verify thermal energy rating.

If the actual voltage waveform is not possible to apply or as a conservative alternative the ECOV is set equal to a d.c. voltage with the amplitude equal to the actual voltage including voltage ripple.

If the actual waveform is possible to apply only on a test sample with lower reference voltage than the samples intended to be used in the test to verify thermal energy rating, ECOV could be determined for the test sample with lower reference voltage and then the same factor in ratio of reference voltage is applied to the samples for the thermal test. All test samples shall fulfil the requirements as per 8.3 and the MO resistors shall be of the same design. Only the height is allowed to be different.

NOTE If the expected temperature in the test to verify thermal rating is less than 160 °C, a test at a lower temperature is acceptable.

### 11.6.3 Type tests

In Table 1, with reference to Clause 9, relevant type tests and their applicability are listed.

### 11.6.4 Routine and acceptance tests

Clause 10 applies.

## 11.7 DC bus and d.c. line/cable arrester (DB, DL/DC)

### 11.7.1 General

The arrester is connected on the line/cable side of the smoothing reactor. This arrester could be porcelain- or polymer-housed or a gas-insulated metal enclosed arrester (GIS-arrester).

### 11.7.2 Continuous operating voltage

The voltage is an almost smooth d.c. voltage with some small voltage ripple.

### 11.7.3 Equivalent continuous operating voltage

The ECOV is obtained as a d.c. voltage with amplitude equal to the actual continuous operating voltage including possible voltage ripple.

### 11.7.4 Type tests

#### 11.7.4.1 General

In Table 1, with reference to Clause 9, relevant type tests and their applicability are listed.

#### 11.7.4.2 Insulation withstand tests on GIS-arresters

##### 11.7.4.2.1 General

These tests demonstrate the ability of the insulation to withstand the required voltage stresses between the internal parts and the metal housing.

The insulation withstand tests shall also assure that all internal components are tested at least to the equivalent of the highest stresses in service. A separate test of single components may therefore be necessary to verify the required withstand voltage (see 11.7.4.2.5).

The test shall be performed on the complete arrester with the metal oxide resistors replaced by insulating parts. Grading elements may be used instead of insulating parts in order to control the voltage distribution along the arrester axis. The test voltages shall be at least equal to:

- The lightning impulse withstand voltage of the equipment to be protected or the lightning impulse protection level of the arrester multiplied by 1,3, whichever is lower.

NOTE 1 The 1,3 factor covers discharge currents higher than coordinating current. Variations in atmospheric conditions, as given for porcelain-housed and polymer-housed arresters, are not relevant for GIS-arresters. Nevertheless, the factor of 1,3 is retained to provide additional security.

- For arresters with a CCOV  $\geq 250$  kV, the switching impulse withstand voltage of the equipment to be protected or the switching impulse protection level of the arrester multiplied by 1,25, whichever is lower.

NOTE 2 The 1,25 factor covers discharge currents higher than coordinating current. Variations in atmospheric conditions, as given for porcelain-housed and polymer-housed arresters, are not relevant for GIS-arresters. Nevertheless, the factor 1,25 is retained to provide additional security.

- For arresters with a CCOV < 250 kV, the power- frequency withstand voltage of the equipment to be protected or a power-frequency voltage with a peak value equal to the switching impulse protection level multiplied by 1,2 for a duration of 1 min, whichever is lower.

When the insulation requirements of arresters calculated from the above are still higher than that decided for the protected equipment, the same insulation levels should apply also for the arresters.

NOTE 3 Due to the strong influence of earth capacitances in GIS arresters, it may be difficult or even impossible to achieve a linear voltage distribution by grading elements. Performing the test with an uneven voltage distribution or without any grading elements represents the worst case, and test results remain conservative.

During the tests, the insulating gas shall have the minimum functional density specified for the arrester.

#### **11.7.4.2.2 Lightning impulse voltage test**

The arresters shall be subjected to a standard lightning impulse voltage according to IEC 60060-1.

The test voltage shall be as specified in 11.7.4.2.1.

Fifteen consecutive impulses at the test voltage value shall be applied for each polarity. The arrester has passed the test if no disruptive discharges occur. In the case of disruptive discharges, the pass criteria in IEC 62271-203 and IEC 62271-200 shall be observed.

#### **11.7.4.2.3 Switching impulse voltage test**

The arresters shall be subjected to a standard switching impulse voltage according to IEC 60060-1.

The test voltage shall be as specified in 11.7.4.2.1.

Fifteen consecutive impulses at the test voltage value shall be applied for each polarity. The arrester has passed the test if no disruptive discharges occur. In case of disruptive discharges, the pass criteria in IEC 62271-203 and IEC 62271-200 shall be observed.

#### **11.7.4.2.4 Power-frequency voltage test**

The test voltage shall be as specified in 11.7.4.2.1.

The arrester has passed the test if no disruptive discharge occurs.

#### **11.7.4.2.5 Withstand test on the active part of GIS-arresters**

For a GIS-arrester with an active part containing the resistor elements electrically connected in series but geometrically arranged in parallel by using insulating material, the voltage withstand capability of the insulating material, the resistance of the supporting structure and the insulation between the resistor columns shall be tested.

The test shall be performed in such a way that all possible voltage stresses mentioned above are taken into consideration.

During the test, the samples may be surrounded by the actual gas of a density corresponding to the minimum density specified for the complete arrester.

#### **11.7.5 Routine and acceptance tests**

Clause 10 applies.

## 11.8 Neutral bus arresters (EB, E1, E)

### 11.8.1 Continuous operating voltage

Normally the neutral bus voltage consists of a d.c. offset voltage and ripple. In the case of a smoothing reactor on the neutral line the ripple can be substantial for arrester EB.

### 11.8.2 Equivalent continuous operating voltage

The voltage is considered as non-significant continuous operating voltage as per 3.34.

### 11.8.3 Type tests

In Table 2, with reference to Clause 9, relevant type tests and their applicability are listed.

It is acceptable that the accelerated ageing test (9.11) is not passed due to the in general very low relative continuous operating voltage applied with respect to reference voltage but if the accelerated ageing test (9.11) is not passed the test to verify the thermal energy rating (9.14) has to be performed on MO resistors which previously have been subjected to the accelerated ageing test. The rated voltage of the test samples shall be determined before the accelerated ageing test is performed. In addition the test to verify the heat dissipation behaviour of test samples (9.13) has to be performed.

**Table 2 – Summary of type tests – 2**

| Arrester type                                                                | Neutral bus arresters (EB, E1, E) | DC and AC filter arresters (FA, FD) | Electrode line and metallic return arresters (EL, EM) | DC reactor arrester (DR) | Capacitor arrester (CC) | Transformer valve winding arrester (T) |
|------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------------|----------------------------------------|
| 1 Insulation withstand tests                                                 | 9.2                               | 9.2                                 | 9.2                                                   | 9.2                      | 9.2 <sup>f</sup>        | 9.2                                    |
| 2 Short-circuit tests                                                        | 9.3                               | 9.3                                 | 9.3                                                   | 9.3                      | 9.3                     | 9.3                                    |
| 3 Internal partial discharge tests                                           | 9.4                               | 9.4                                 | 9.4                                                   | 9.4                      | 9.4                     | 9.4                                    |
| 4 Test of the bending moment                                                 | 9.5 <sup>b</sup>                  | 9.5 <sup>b</sup>                    | 9.5 <sup>b</sup>                                      | 9.5 <sup>b</sup>         | 9.5 <sup>b</sup>        | 9.5 <sup>b</sup>                       |
| 5 Environmental tests                                                        | 9.6 <sup>c</sup>                  | 9.6 <sup>c</sup>                    | 9.6 <sup>c</sup>                                      | 9.6 <sup>c</sup>         | 9.6 <sup>c</sup>        | 9.6 <sup>c</sup>                       |
| 6 Weather ageing test                                                        | 9.7 <sup>d</sup>                  | 9.7 <sup>d</sup>                    | Not required                                          | 9.7 <sup>d</sup>         | 9.7 <sup>d</sup>        | 9.7 <sup>d</sup>                       |
| 7 Seal leak rate test                                                        | 9.8 <sup>e</sup>                  | 9.8 <sup>e</sup>                    | 9.8 <sup>e</sup>                                      | 9.8 <sup>e</sup>         | 9.8 <sup>e</sup>        | 9.8 <sup>e</sup>                       |
| 8 Radio interference voltage (RIV) test                                      | 9.9                               | 9.9                                 | 9.9                                                   | 9.9                      | 9.9                     | 9.9                                    |
| 9 Residual voltage test                                                      | 9.10                              | 9.10                                | 9.10                                                  | 9.10                     | 9.10                    | 9.10                                   |
| 10 Test to verify the long term stability under continuous operating voltage | 9.11                              | 9.11                                | 9.11                                                  | Not required             | 9.11                    | 9.11                                   |

| Arrester type                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Neutral bus arresters (EB, E1, E) | DC and AC filter arresters (FA, FD) | Electrode line and metallic return arresters (EL, EM) | DC reactor arrester (DR) | Capacitor arrester (CC) | Transformer valve winding arrester (T) |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------------|----------------------------------------|
| 11 Test to verify the repetitive charge transfer rating                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 9.12                              | 9.12                                | 9.12                                                  | 9.12                     | 9.12                    | 9.12                                   |
| 12 Heat dissipation behaviour of test samples                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Not required <sup>f)</sup>        | 9.13                                | Not required <sup>f)</sup>                            | Not required             | 9.13                    | 9.13                                   |
| 13 Test to verify the thermal energy rating                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Not required <sup>f)</sup>        | 9.14                                | Not required <sup>f)</sup>                            | Not required             | 9.14                    | 9.14                                   |
| 14 Test to verify the dielectric withstand of internal components                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 9.15                              | 9.15                                | 9.15                                                  | 9.15                     | 9.15                    | 9.15                                   |
| 15 Test of internal grading components                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 9.16                              | 9.16                                | 9.16                                                  | 9.16                     | 9.16                    | 9.16                                   |
| <p><sup>a</sup> Numbers in rows 1 to 15 refer to clauses and subclauses in this standard</p> <p><sup>a</sup> Applies except that for arresters directly suspended to the thyristor valves or suspended hanging and located indoors no test is required</p> <p><sup>b</sup> Applies if the arrester is of type porcelain-housed and is installed outdoors</p> <p><sup>c</sup> Applies if the arrester is of type polymer-housed and is installed outdoors</p> <p><sup>d</sup> Applies if the arrester is of a type specified in 7.5</p> <p><sup>e</sup> Applies but only a power-frequency voltage test is required</p> <p><sup>f</sup> Required if the accelerated ageing test (9.11) is not passed</p> |                                   |                                     |                                                       |                          |                         |                                        |

#### 11.8.4 Routine and acceptance tests

Clause 10 applies.

#### 11.9 DC and AC filter arresters (FA, FD)

##### 11.9.1 Continuous operating voltage

The operating voltage is a combination of a great number of harmonics with individual amplitudes. A conservative approach is to consider the phase angles as zero for the different harmonics. The total voltage would then be a linear sum of the amplitudes of the harmonics. Typical shape of the voltage across d.c. and a.c. filter arresters are shown in Figures 4 and 5.

##### 11.9.2 Equivalent continuous operating voltage

The ECOV is determined as follows:

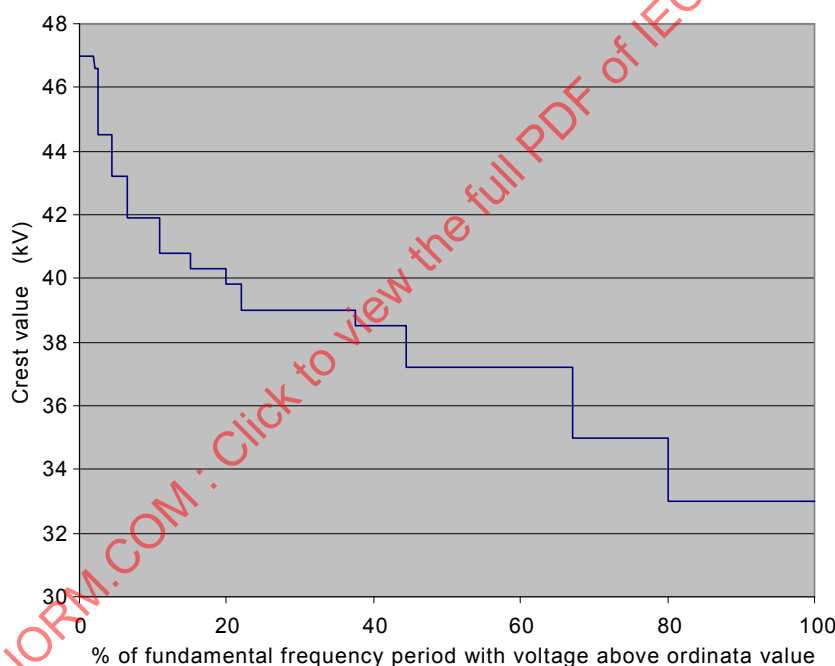
- On three test samples the power losses are measured at actual voltage waveform at temperatures 60 °C, 100 °C and 160 °C ± 10 K;
- At the same temperatures, within ± 5 K, a power-frequency voltage is applied and adjusted to obtain the same power losses as for the actual voltage waveform;
- The ratio power-frequency voltage to reference voltage is determined for the three temperatures and plotted in a diagram as function of temperature;

- A smooth curve is drawn through the points;
- The maximum ratio times the reference voltage obtained from the diagram at the maximum expected temperature and for any of the test samples is the ECOV and shall be applied in the test to verify thermal energy rating.

If the actual voltage waveform is not possible to apply the power losses on three test samples energized at the DFCOV at temperatures 60, 100 and 160 °C  $\pm$  10 K and at voltage amplitudes 0,5 to 1,0 of the actual voltage amplitude are measured. The actual waveform is then plotted in a diagram showing the % of fundamental frequency period the voltage exceeds a certain value. An example is shown in Figure 12.

If the actual waveform is possible to apply only on a test sample with lower reference voltage than the samples intended to be used in the test to verify thermal energy rating, ECOV could be determined for the test sample with lower reference voltage and then the same factor in ratio of reference voltage is applied to the samples for the thermal test. All test samples shall fulfil the requirements as per 8.3 and the MO resistors shall be of the same design. Only the height is allowed to be different.

NOTE If the expected temperature in the test to verify thermal rating is less than 160 °C, a test at a lower temperature is acceptable.



IEC 1994/14

**Figure 12 – Plot showing the relative duration of voltage above certain amplitudes**

The ECOV is determined as follows:

- The total power consumption is determined as the integral of the measured power losses at the DFCOV as function of voltage multiplied by the duration of the voltage according to the diagram and divided by the period time. The calculation is made for all the three temperatures and three test samples;
- At the same temperatures, within  $\pm$  5 K, a power–frequency voltage is applied and adjusted to obtain the same power losses as calculated above;
- The ratio power-frequency voltage to reference voltage is determined for the three temperatures and plotted in a diagram as function of temperature;
- A smooth curve is drawn through the points;

- The maximum ratio times the reference voltage obtained from the diagram at the maximum expected temperature and for any of the test samples is the ECOV and shall be applied in the test to verify thermal energy rating.

### **11.9.3 Type tests**

In Table 2, with reference to Clause 9, relevant type tests and their applicability are listed.

### **11.9.4 Routine and acceptance tests**

Clause 10 applies.

## **11.10 Electrode line and metallic return arresters (EL, EM)**

### **11.10.1 Continuous operating voltage**

Normally the operating voltage is insignificant.

### **11.10.2 Equivalent continuous operating voltage**

The voltage is considered as non-significant continuous operating voltage as per 3.34.

### **11.10.3 Type tests**

In Table 2, with reference to Clause 9, relevant type tests and their applicability are listed.

It is acceptable that the accelerated ageing test (9.11) is not passed due to the in general very low relative continuous operating voltage applied with respect to reference voltage but if the accelerated ageing test (9.11) is not passed the test to verify the thermal energy rating (9.14) has to be performed on MO resistors which previously have been subjected to the accelerated ageing test. The rated voltage of the test samples shall be determined before the accelerated ageing test is performed. In addition the test to verify the heat dissipation behaviour of test samples (9.13) has to be performed.

### **11.10.4 Routine and acceptance tests**

Clause 10 applies.

## **11.11 Smoothing reactor arrester (DR)**

### **11.11.1 General**

The arrester is connected across the smoothing reactor.

### **11.11.2 Continuous operating voltage**

The voltage consists of a voltage ripple equal to the difference between the smooth d.c. voltage on the d.c. bus and the voltage on the converter d.c. bus (Figure 1).

### **11.11.3 Equivalent continuous operating voltage**

The voltage is considered as non-significant continuous operating voltage as per 3.34.

### **11.11.4 Type tests**

In Table 2, with reference to Clause 9, relevant type tests and their applicability are listed.

### **11.11.5 Routine and acceptance tests**

Clause 10 applies.

## 11.12 Capacitor arrester (CC)

### 11.12.1 General

The arrester is connected across the series capacitor in a capacitor commutated converter (CCC).

### 11.12.2 Continuous operating voltage

The operating voltage is a power-frequency voltage with a clipped peak as shown in Figure 4.

### 11.12.3 Equivalent continuous operating voltage

The ECOV is determined as follows:

- On three test samples the power losses are measured at actual voltage waveform at temperatures 60 °C, 100 °C and 160 °C  $\pm$  10 K;
- At the same temperatures, within  $\pm$  5 K, a power-frequency voltage is applied and adjusted to obtain the same power losses as for the actual voltage waveform;
- The ratio power-frequency voltage to reference voltage is determined for the three temperatures and plotted in a diagram as function of temperature;
- A smooth curve is drawn through the points;
- The maximum ratio times the reference voltage obtained from the diagram at the maximum expected temperature and for any of the test samples is the ECOV and shall be applied in the test to verify thermal energy rating.

If the actual voltage waveform is not possible to apply the ECOV is set equal to a power-frequency voltage of the same fundamental frequency (50 or 60 Hz) as for the actual waveform and with the absolute instantaneous value higher than for the actual waveform during the whole period.

If the actual waveform is possible to apply only on a test sample with lower reference voltage than the samples intended to be used in the test to verify thermal energy rating, ECOV could be determined for the test sample with lower reference voltage and then the same factor in ratio of reference voltage is applied to the samples for the thermal test. All test samples shall fulfil the requirements as per 8.3 and the MO resistors shall be of the same design. Only the height is allowed to be different.

NOTE If the expected temperature in the test to verify thermal rating is less than 160 °C, a test at a lower temperature is acceptable.

### 11.12.4 Type tests

In Table 2, with reference to Clause 9, relevant type tests and their applicability are listed.

### 11.12.5 Routine and acceptance tests

Clause 10 applies.

## 11.13 Transformer valve winding arrester (T)

### 11.13.1 General

The arrester is connected between the valve winding of the high-voltage converter transformer for 6 pulse converters and ground.

### 11.13.2 Continuous operating voltage

The operating voltage is a d.c. voltage with a superimposed power-frequency voltage plus voltage ripple. Typical shape of the voltage is shown in Figures 4 and 5.

### 11.13.3 Equivalent continuous operating voltage

The ECOV is determined as follows:

- On three test samples the power losses are measured at actual voltage waveform at temperatures 60 °C, 100 °C and 160 °C  $\pm$  10 K;
- At the same temperatures, within  $\pm$  5 K, a power–frequency voltage is applied and adjusted to obtain the same power losses as for the actual voltage waveform;
- The ratio power-frequency voltage to reference voltage is determined for the three temperatures and plotted in a diagram as function of temperature;
- A smooth curve is drawn through the points;
- The maximum ratio times the reference voltage obtained from the diagram at the maximum expected temperature and for any of the test samples is the ECOV and shall be applied in the test to verify thermal energy rating.

If the actual voltage waveform is not possible to apply or as a conservative alternative the ECOV is set equal to a d.c. voltage with the amplitude equal to the actual voltage including voltage ripple.

If the actual waveform is possible to apply only on a test sample with lower reference voltage than the samples intended to be used in the test to verify thermal energy rating, ECOV could be determined for the test sample with lower reference voltage and then the same factor in ratio of reference voltage is applied to the samples for the thermal test. All test samples shall fulfil the requirements as per 8.3 and the MO resistors shall be of the same design. Only the height is allowed to be different.

NOTE If the expected temperature in the test to verify thermal rating is less than 160 °C, a test at a lower temperature is acceptable.

### 11.13.4 Type tests

In Table 2, with reference to Clause 9, relevant type tests and their applicability are listed.

### 11.13.5 Routine and acceptance tests

Clause 10 applies.

## **Annex A**

(normative)

### **Test to verify thermal equivalency between complete arrester and arrester section**

For tests involving thermal recovery in which prorated arrester sections are used, it is required that the sections are thermally equivalent to the complete arrester. The following procedure shall be followed to demonstrate this equivalency. It involves tests first on the complete arrester or, in case of a multi-unit arrester, the unit containing the most MO resistors per unit length, followed by a test on the prorated section.

a) Test on the complete arrester or unit:

The complete arrester or the unit containing the most MO resistors per unit length of a multi-unit arrester is placed in a still air ambient temperature of  $20\text{ °C} \pm 15\text{ K}$ . The ambient temperature shall remain within  $\pm 3\text{ K}$  during the test. Thermocouples and/or some sensors, for example, utilizing optical fibre technique to measure temperature are attached to the resistors. A sufficient number of points shall be checked to calculate a mean temperature or the manufacturer may choose to measure the temperature at only one point located between 1/2 to 1/3 of the arrester length from the top. The latter will give a conservative result, thus justifying the simplified method.

The MO resistors shall be heated within a maximum of 1 hour to a temperature of at least  $140\text{ °C}$  by the application of power-frequency voltage with an amplitude above reference voltage. This temperature shall be determined by the mean value if the temperature is measured on several MO resistors or the single value if only the 1/2 to 1/3 point is checked.

In case of multi-column internal design, measures may have to be taken to achieve equal temperatures of all MO resistor columns, e.g. by adding one or more linear resistors to each of the columns in each unit. These resistors shall have a mass of not more than 5 % of the mass of MO resistors in the related columns, and they shall be positioned directly on the top or bottom of the column. If this measure cannot be taken, an alternative is to use small bushings in the metal flanges and place the linear resistors outside the housing.

The temperature shall be measured on all individual MO resistor columns and the average temperature be used as column temperature. The difference between the highest and the lowest temperature among the individual columns measured at the same height shall not be greater than  $20\text{ K}$  at an average temperature of  $140\text{ °C}$ .

When this predetermined temperature is reached, the voltage source shall be disconnected and the cooling time curve shall be determined over a period of not less than 2 h. The temperature shall be measured at least every minute. In the case of several measuring points a mean temperature curve shall be constructed.

b) Test on the thermally prorated section:

The thermally prorated section shall be tested in still air in the same manner as the complete arrester or arrester unit was tested.

The ambient temperature shall be within  $\pm 10\text{ K}$  of the ambient temperature during the test on the complete arrester or arrester unit and remain within  $\pm 3\text{ K}$  during the test. The section shall be heated by the application of power-frequency voltage to a temperature rise above ambient that is within  $\pm 10\text{ K}$  of the temperature rise that occurred for the complete arrester or unit. The voltage amplitude is chosen to give a heating time approximately the same as for the complete arrester or unit.

If the prorated section contains only one column with several MO resistors in series the temperature of all MO resistors shall be measured and a mean value calculated for comparison with the complete arrester.

If, in case of designs with two or more MO resistor columns in parallel, it is not possible to achieve a difference between the highest and lowest temperature among the individual

columns not greater than 20 K at the maximum heating temperature by alternating current heating one of the following methods shall be applied:

- a) External linear resistors shall be used to balance the current distribution among the columns. Each column shall be connected to the alternating voltage source by a small individual bushing. Application of internal linear series resistors to achieve equal temperatures is not allowed.

or

- b) Heating shall be performed by application of long-duration current impulses at time intervals such that the same overall heating time is achieved as previously for the complete arrester or arrester unit.

A mean temperature shall be determined by measuring the temperature of several MO resistors in each column. Alternatively, the temperature may be measured on one MO resistor in each column located between 1/2 to 1/3 of the section from the top. When the section has reached the predetermined temperature, the voltage source shall be disconnected and the cooling time curve shall be determined over a period of not less than 2 h.

Cooling curves displaying the relative overtemperature of the complete arrester or unit and of the section shall be plotted, the relative overtemperature,  $T_{rel}$ , being given by

$$T_{rel} = (T - T_A) / (T_0 - T_A) \quad (A.1)$$

Where

$T$  is the measured temperature during cooling;

$T_A$  is the ambient temperature;

$T_0$  is the maximum heating temperature.

To prove thermal equivalency, the cooling curve of the test section shall for all instants have a relative overtemperature value equal to or higher than that of the complete arrester or unit.

If, at any time, the measured cooling curve of the section falls below the measured cooling curve of the complete arrester or unit, compensation may be made by adding a factor,  $k$ , to the relative overtemperature,  $T_{rel}$ , such that the cooling curve of the section is at or above the cooling curve of the complete arrester or unit over the entire cooling period. The corresponding temperature which shall be added to the start temperature for the thermal recovery tests is calculated as:  $k * (T_0 - T_A)$  where  $(T_0 - T_A)$  is the maximum temperature difference for either the section or the complete arrester or arrester unit.

## Annex B (normative)

### Determination of the start temperature in the thermal recovery test

Due to the complex voltage waveforms for most arresters in HVDC stations, except for those located on DC line/cable, tests on complete arresters to determine temperatures under continuous operating voltage is not possible except if tests are performed in an actual station. Determination of the start temperature in the thermal recovery test, therefore, has to be performed by tests on sections.

The following procedure shall be followed.

Energize a thermally prorated section (verified as per Annex A) at a voltage  $ECOV \times U_{\text{ref(testsection)}}/U_{\text{refmin(arrester)}}$  or, if possible, at actual  $U_{\text{CHVDC}} \times U_{\text{ref(testsection)}}/U_{\text{refmin(arrester)}}$  in still air ambient temperature of 40 °C for arresters located outdoors and 60 °C for arresters located indoors until steady state temperatures are reached on the metal-oxide resistors. For multi-column designs it is essential to ensure that the different columns have approximately the same power losses. The reference voltage of the columns, measured before the start of the test, therefore, shall not deviate by more than  $\pm 1\%$  and the temperature increase shall not deviate by more than  $\pm 20\%$  between the different columns. Determine the average temperature,  $T_{\text{ars}}$ , of the metal-oxide resistors. If the result is higher than 60 °C this temperature shall be used as the preheating temperature otherwise 60 °C shall be used.

NOTE 1 If the maximum indoor temperature is lower than 60 °C the actual maximum temperature is used.

NOTE 2 The scaling of ECOV and  $U_{\text{CHVDC}}$  more accurately could be done with respect to maximum acceptable power losses at continuous operating voltage. However, it is recognized that the actual voltage waveform in general cannot be applied in routine tests. Using the reference voltages therefore is an acceptable compromise.

## Annex C (normative)

### Mechanical considerations

#### C.1 Test of bending moment

In the case of a multi-unit arrester, each unit shall be tested with the bending moment according to Figure C.1. The required load is calculated as given below. If the units differ only in length, but are otherwise identical from material and design, it is not necessary to test each unit.

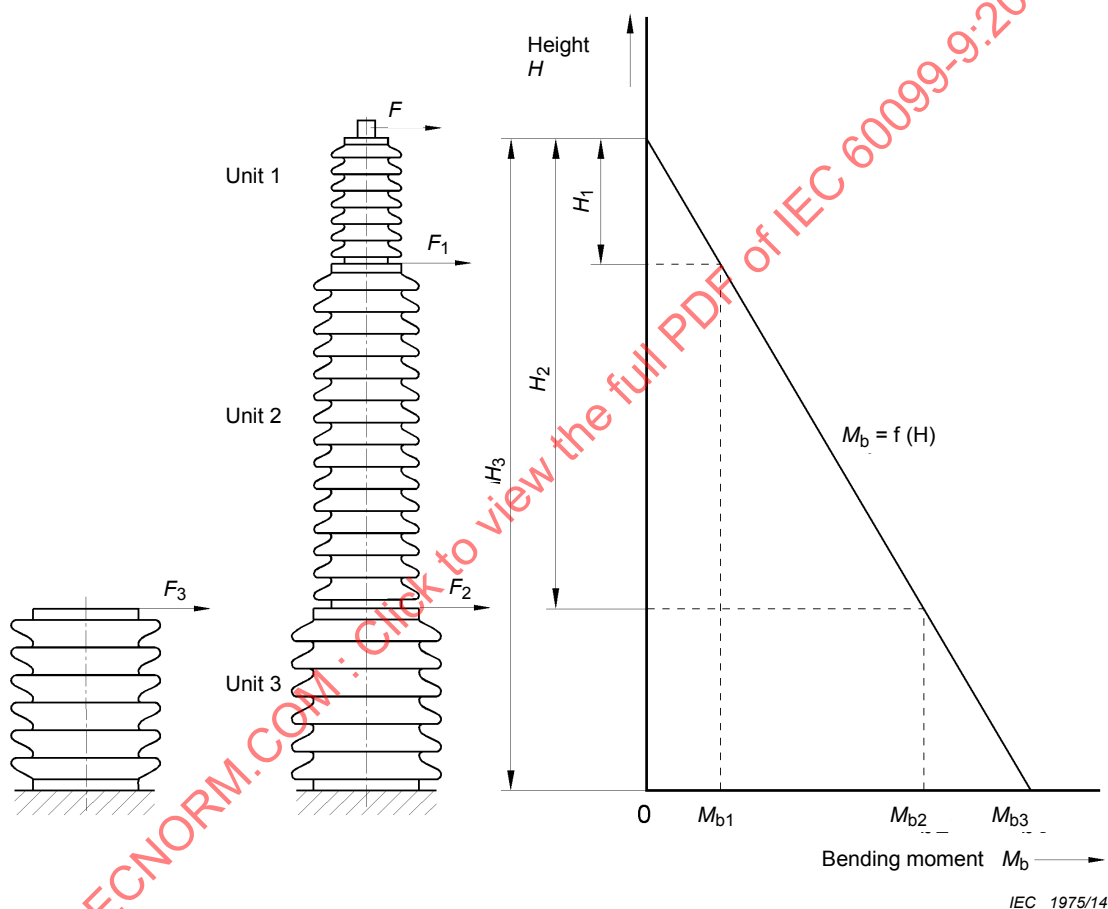


Figure C.1 – Bending moment – multi-unit surge arrester

Testing the complete arrester, the moment affecting the bottom flange is  $M_{b3} = F \times H_3$ .

The moment affecting the top flange of the bottom unit is  $M_{b2} = F \times H_2$ .

If one unit is tested separately (example for unit 3), the test force  $F_2$  for the test of the bottom flange of unit 3 is as follows:

$$F_2 \times (H_3 - H_2) = F \times H_3;$$

$$F_2 = \frac{F \times H_3}{(H_3 - H_2)}$$

The test of the top flange of unit 3 shall be performed with the unit in reversed position. Test force  $F_3$  for the test of the top flange of unit 3 is as follows:

$$F_3 \times (H_3 - H_2) = F \times H_2$$

$$F_3 = \left( \frac{F \times H_2}{H_3 - H_2} \right)$$

## C.2 Seismic test

If, after agreement between the manufacturer and the user, seismic tests are performed, relevant standards are:

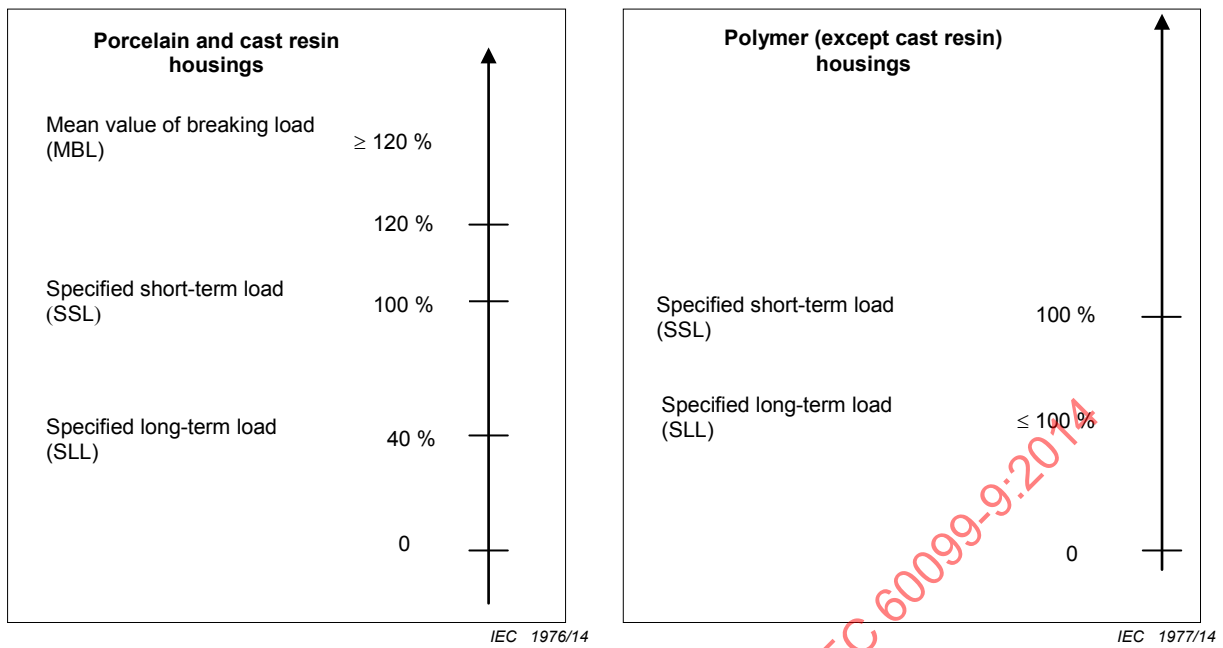
- IEC 62271-207
- IEC 62271-300
- IEC/TS 61463
- GB 50260
- JEAG 5003
- IEEE 693

In order to detect any significant changes in the arrester performance before and after the seismic test the following tests shall be performed:

- Measurement of reference voltage
- Internal partial discharge test
- Leakage check (for arrester with enclosed gas volume and a separate sealing system)

## C.3 Definition of mechanical loads

Figure C.2 indicates the relationships between mechanical load ratings.

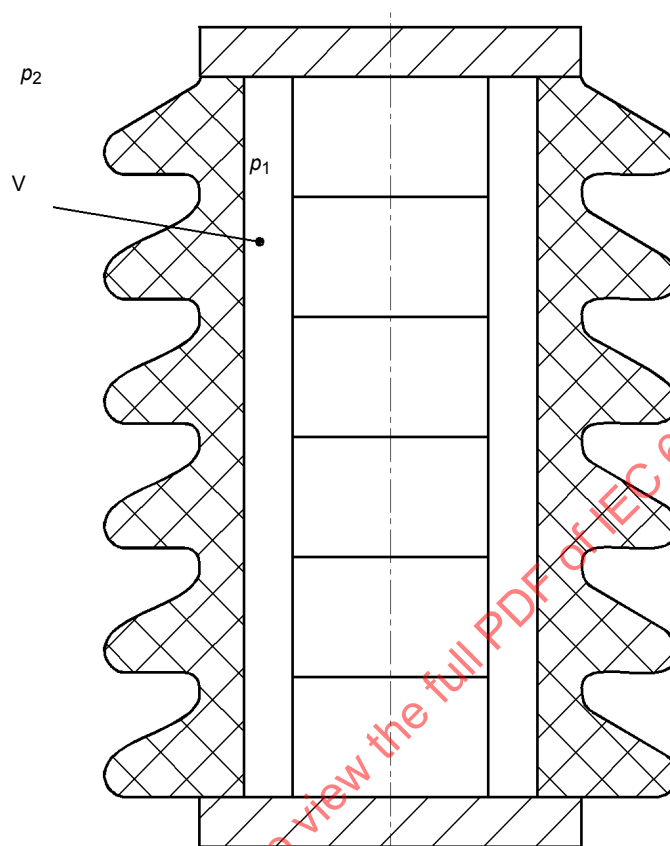


**Figure C.2 – Definitions of mechanical loads**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60099-9:2014

#### C.4 Definition of seal leak rate

Figure C.3 schematically represents an arrester unit.



IEC 1978/14

**Figure C.3 – Surge arrester unit**

The seal leak rate specifies the quantity of gas per unit of time which passes the seals of the housing at a pressure difference of at least 70 kPa. If the efficiency of the sealing system depends on the direction of the pressure gradient, the worst case shall be considered.

$$\text{Seal leak rate} = \frac{\Delta p_1 \times V}{\Delta t} \text{ at } |p_1 - p_2| \geq 70 \text{ kPa and at a temperature of } +20 \text{ }^\circ\text{C} \pm 15 \text{ K,}$$

where

$$\Delta p_1 = p_1(t_2) - p_1(t_1);$$

$p_1(t)$  is the internal gas pressure of the arrester housing as a function of time (Pa);

$p_2$  is the gas pressure exterior to the arrester (Pa);

$t_1$  is the start time of the considered time interval (s);

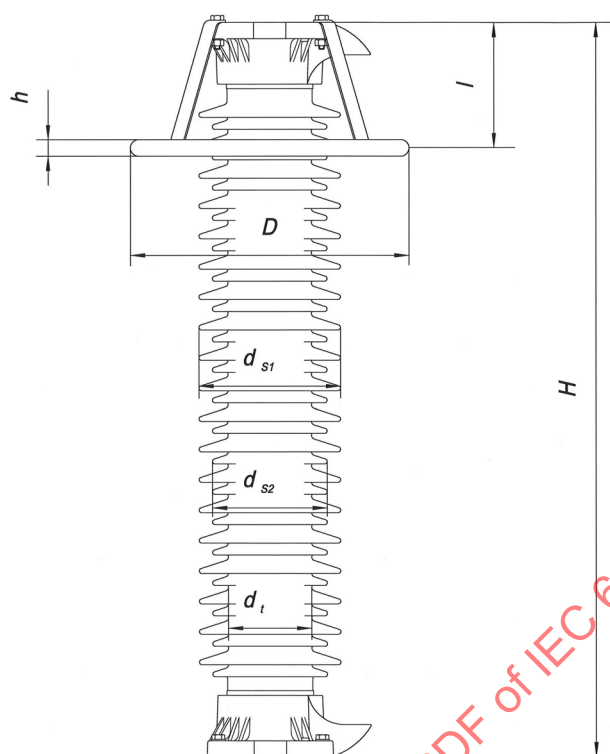
$t_2$  is the end time of the considered time interval (s);

$$\Delta t = t_2 - t_1;$$

$V$  is the internal gas volume of the arrester (m<sup>3</sup>).

#### C.5 Calculation of wind-bending-moment

Figure C.4 schematically represents an assembled arrester.



IEC 1979/14

**Figure C.4 – Surge-arrester dimensions**

The wind-bending moment is given by

$$M_w = P \times H \times d_a \times C \times H/2 + P \times D \times h \times (H - l)$$

where

$$P = (P_1/2) \times V^2;$$

$$d_a = (2d_t + d_{s1} + d_{s2})/4 \text{ as per IEC 60815-2 } (d_{s1} = d_{s2} \text{ for non-alternating sheds})$$

$M_w$  is the bending moment caused by the wind (Nm);

$H$  is the height of the arrester (m);

$d_a$  is the mean value of the insulator diameter (m);

$h$  is the thickness of the grading ring (m);

$D$  is the diameter of the grading ring (m);

$l$  is the grading ring distance to the top (m);

$C$  is the coefficient of drag for cylindrical parts; equal to 0,8;

$P$  is the dynamic pressure of the wind (N/m<sup>2</sup>);

$P_1$  is the density of air at 1,013 bar and 0 °C; equal to 1,29 kg/m<sup>3</sup>;

$V$  is the wind velocity (m/s).

## C.6 Procedures of tests of bending moment for porcelain and polymer-housed arresters

A flow chart of the procedures is shown in Figure C.5.

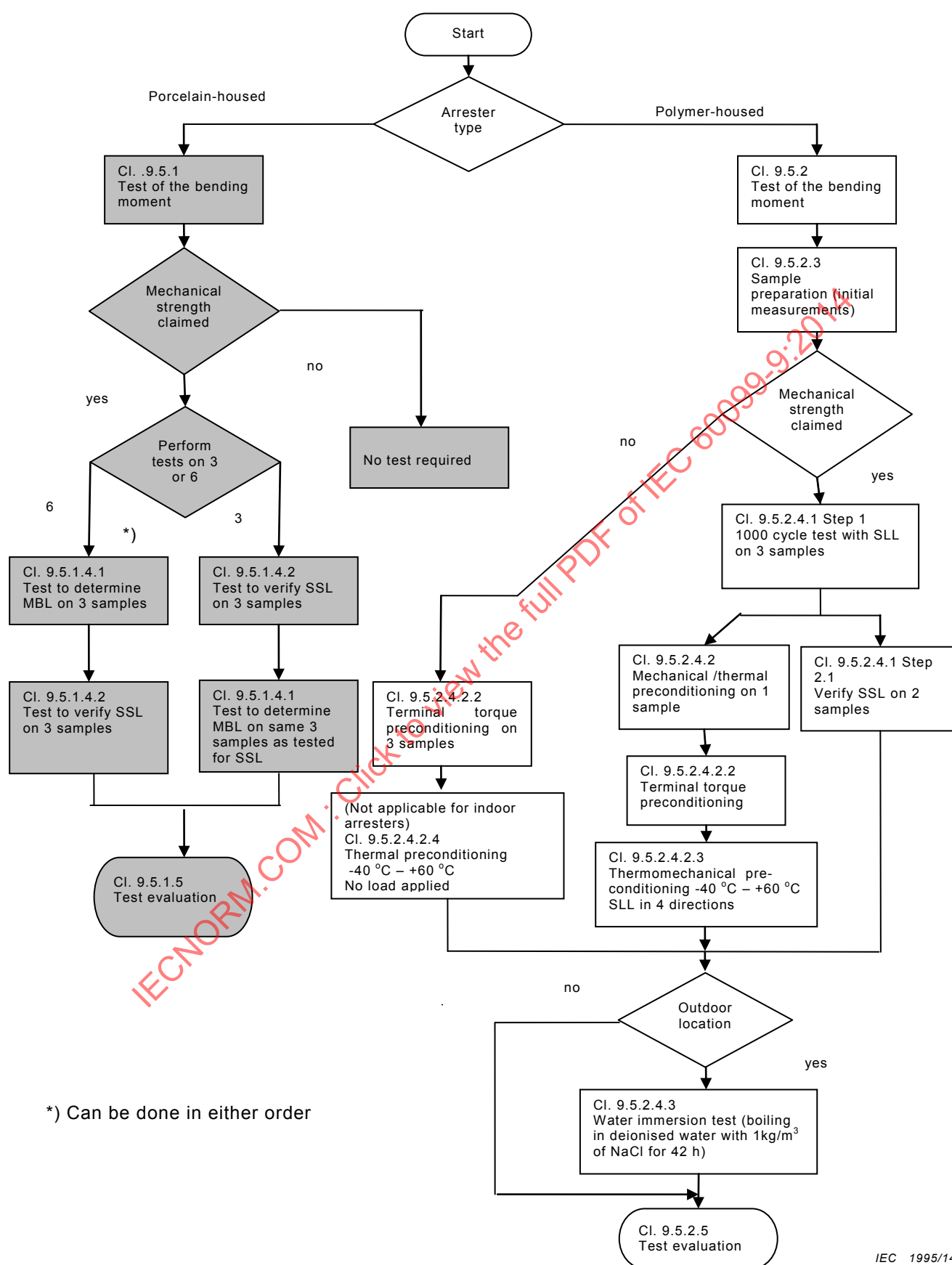
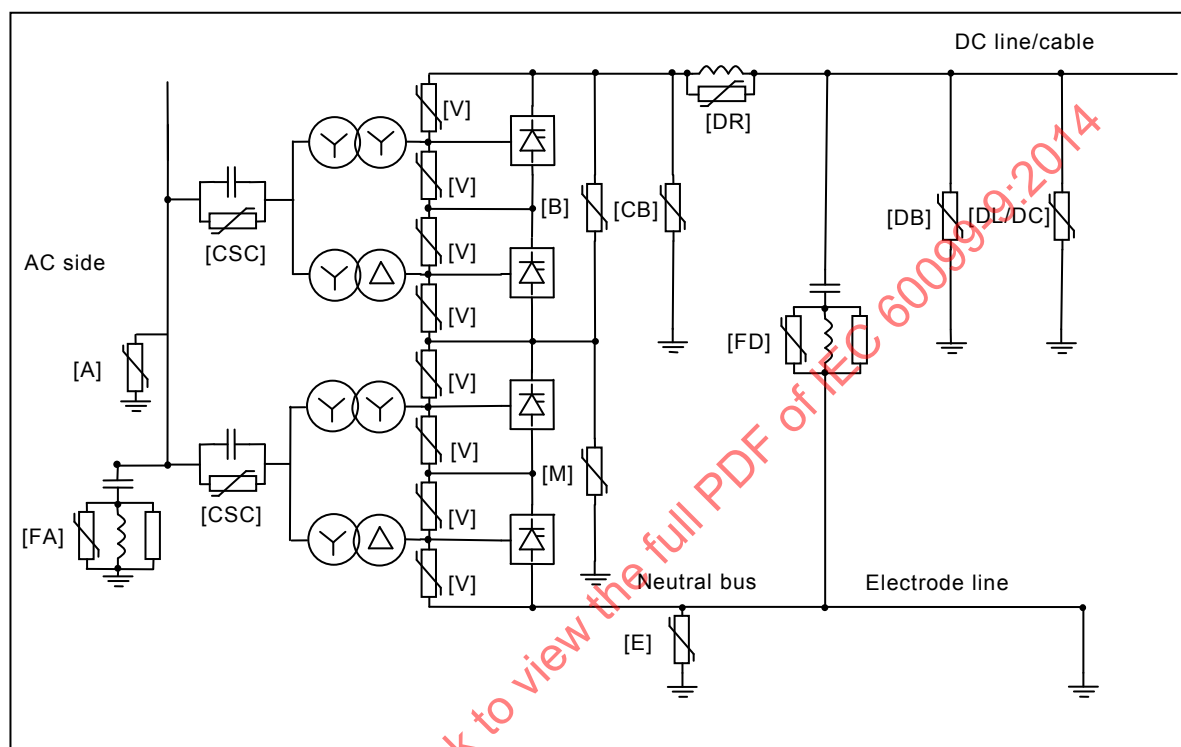


Figure C.5 – Flow chart of bending moment test procedures

## Annex D (informative)

### Different circuit configurations

Figure D.1 shows a single line diagram of a CSCC converter station with two 12-pulse converters in series.



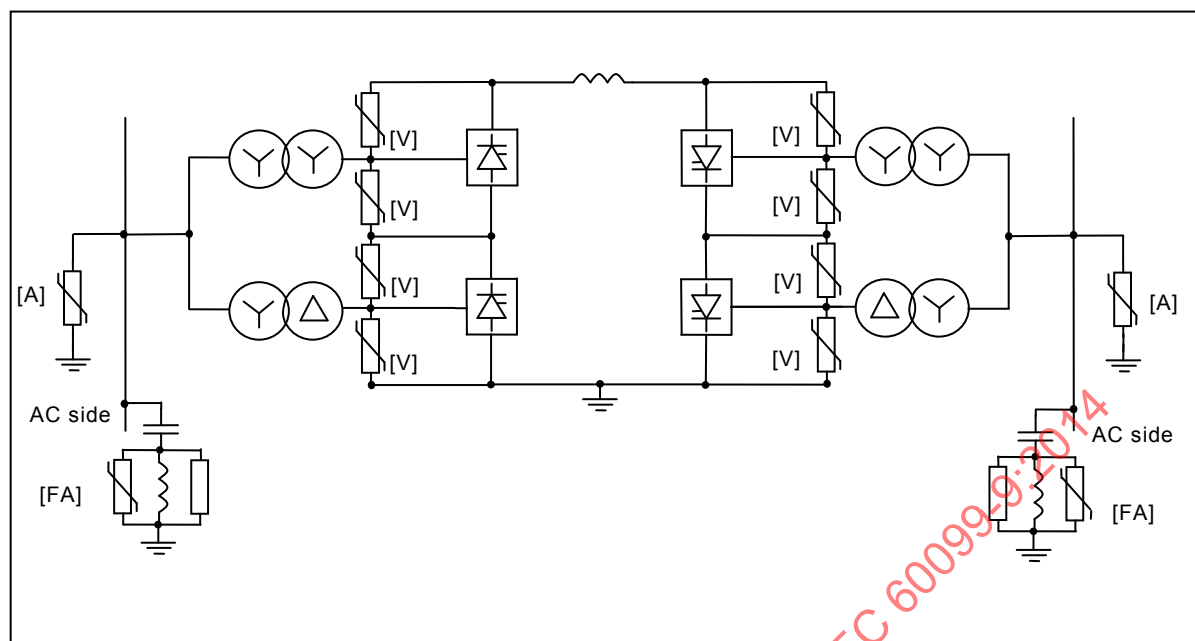
#### Key

|      |                                  |        |                            |     |                             |
|------|----------------------------------|--------|----------------------------|-----|-----------------------------|
| A:   | a.c. bus arrester                | DB:    | d.c. bus arrester          | FA: | a.c. filter arrester        |
| B:   | bridge arrester                  | DL/DC: | d.c. line/cable arrester   | FD: | d.c. filter arrester        |
| CB:  | converter unit d.c. bus arrester | DR:    | smoothing reactor arrester | M:  | mid-point d.c. bus arrester |
| CSC: | capacitor arrester               | E:     | d.c. neutral bus arrester  | V:  | valve arrester              |

NOTE The d.c. and a.c. filters may be much more complex than shown in the figure. Not all arresters are used for every project.

**Figure D.1 – Single line diagram of CSCC converter station  
with two 12-pulse converters in series**

Figure D.2 shows a single line diagram of a back-to-back converter station with two 12-pulse converters in series.



IEC 1997/14

**Key**

A: a.c. arresters

FA: a.c. filter arrester

V: Valve arrester

NOTE The d.c. and a.c. filters may be much more complex than shown in the figure. Not all arresters are used for every project.

**Figure D.2 – Single line diagram of back-to-back converter station with two 12-pulse converters in series**

## Bibliography

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

IEC 60143-1, *Series capacitors for power systems – Part 1: General*

IEC 60633:1998, *Terminology for high-voltage direct current (HVDC) transmission*

IEC 60507, *Artificial pollution tests on high-voltage ceramic and glass 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 60815-3, *Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions – Part 3: Polymer insulators for a.c. systems*

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

ISO 4892-1, *Plastics – Methods of exposure to laboratory light sources – Part 1: General guidance*

ISO 4892-2, *Plastics – Methods of exposure to laboratory light sources – Part 2: Xenon-arc lamps*

ISO 4892-3, *Plastics – Methods of exposure to laboratory light sources – Part 3: Fluorescent UV lamps*

---

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60099-9:2014

## SOMMAIRE

|                                                                                                                             |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| AVANT-PROPOS .....                                                                                                          | 95  |
| 1 Domaine d'application .....                                                                                               | 97  |
| 2 Références normatives .....                                                                                               | 97  |
| 3 Termes et définitions .....                                                                                               | 98  |
| 4 Configurations de postes de conversion CCHT typiques, et types, emplacements<br>et tension de régime de parafoudres ..... | 108 |
| 5 Identification et classification .....                                                                                    | 114 |
| 5.1 Identification des parafoudres .....                                                                                    | 114 |
| 5.2 Classification des parafoudres .....                                                                                    | 114 |
| 6 Conditions de service .....                                                                                               | 114 |
| 6.1 Conditions normales de service .....                                                                                    | 114 |
| 6.2 Conditions anormales de service .....                                                                                   | 115 |
| 7 Exigences .....                                                                                                           | 115 |
| 7.1 Tenue diélectrique de l'enveloppe du parafoudre .....                                                                   | 115 |
| 7.2 Tension de référence .....                                                                                              | 116 |
| 7.3 Tension résiduelle .....                                                                                                | 116 |
| 7.4 Décharge partielle interne .....                                                                                        | 117 |
| 7.5 Taux de fuite de l'étanchéité .....                                                                                     | 117 |
| 7.6 Répartition du courant dans un parafoudre à plusieurs colonnes et entre des<br>parafoudres adaptés .....                | 117 |
| 7.7 Stabilité à long terme sous une tension de régime permanent .....                                                       | 117 |
| 7.8 Tenue au transfert de charges répétitives .....                                                                         | 117 |
| 7.9 Capacité d'énergie thermique .....                                                                                      | 117 |
| 7.10 Comportement aux courants de court-circuit .....                                                                       | 117 |
| 7.11 Exigences pour les éléments de répartition internes .....                                                              | 118 |
| 7.12 Efforts mécaniques .....                                                                                               | 118 |
| 7.12.1 Généralités .....                                                                                                    | 118 |
| 7.12.2 Moment de flexion .....                                                                                              | 118 |
| 7.12.3 Résistance aux contraintes d'environnement .....                                                                     | 118 |
| 7.12.4 Embase isolante .....                                                                                                | 118 |
| 7.12.5 Valeur de l'effort moyen à la rupture (MBL) .....                                                                    | 119 |
| 7.13 Compatibilité électromagnétique .....                                                                                  | 119 |
| 7.14 Fin de cycle .....                                                                                                     | 119 |
| 8 Conditions générales d'exécution des essais .....                                                                         | 119 |
| 8.1 Appareillage de mesure et précision .....                                                                               | 119 |
| 8.2 Mesures de la tension de référence .....                                                                                | 119 |
| 8.3 Échantillons pour essai .....                                                                                           | 119 |
| 8.3.1 Généralités .....                                                                                                     | 119 |
| 8.3.2 Exigences pour les fractions de parafoudre .....                                                                      | 120 |
| 9 Essais de type (essais de conception) .....                                                                               | 122 |
| 9.1 Généralités .....                                                                                                       | 122 |
| 9.2 Essais de tenue diélectrique de l'enveloppe des parafoudres .....                                                       | 122 |
| 9.2.1 Généralités .....                                                                                                     | 122 |
| 9.2.2 Essais sur les enveloppes d'un élément individuel .....                                                               | 123 |
| 9.2.3 Essais sur l'assemblage des enveloppes du parafoudre complet .....                                                    | 123 |

|        |                                                                                                          |     |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 9.2.4  | Caractéristiques de l'air ambiant pendant les essais .....                                               | 123 |
| 9.2.5  | Modalités des essais sous pluie .....                                                                    | 123 |
| 9.2.6  | Essai de tension de tenue au choc de foudre .....                                                        | 123 |
| 9.2.7  | Essai de tension de tenue au choc de manœuvre .....                                                      | 124 |
| 9.2.8  | Essai de tension de tenue à fréquence industrielle .....                                                 | 124 |
| 9.3    | Essais de court-circuit .....                                                                            | 125 |
| 9.4    | Essais de décharge partielle interne .....                                                               | 126 |
| 9.5    | Essai de moment de flexion .....                                                                         | 126 |
| 9.5.1  | Essai sur des parafoudres à enveloppe en porcelaine .....                                                | 126 |
| 9.5.2  | Essai sur les parafoudres à enveloppe synthétique .....                                                  | 128 |
| 9.6    | Essais d'environnement .....                                                                             | 135 |
| 9.6.1  | Généralités .....                                                                                        | 135 |
| 9.6.2  | Présentation générale .....                                                                              | 135 |
| 9.6.3  | Préparation des échantillons .....                                                                       | 136 |
| 9.6.4  | Procédure d'essai .....                                                                                  | 136 |
| 9.6.5  | Évaluation de l'essai .....                                                                              | 136 |
| 9.7    | Essai de vieillissement climatique .....                                                                 | 136 |
| 9.7.1  | Généralités .....                                                                                        | 136 |
| 9.7.2  | Éprouvettes .....                                                                                        | 136 |
| 9.7.3  | Procédure d'essai .....                                                                                  | 136 |
| 9.7.4  | Évaluation de l'essai .....                                                                              | 137 |
| 9.8    | Essai de mesure du taux de fuite .....                                                                   | 138 |
| 9.8.1  | Généralités .....                                                                                        | 138 |
| 9.8.2  | Présentation générale .....                                                                              | 138 |
| 9.8.3  | Préparation des échantillons .....                                                                       | 138 |
| 9.8.4  | Procédure d'essai .....                                                                                  | 138 |
| 9.8.5  | Évaluation de l'essai .....                                                                              | 138 |
| 9.9    | Essai aux tensions perturbatrices RF (RIV) .....                                                         | 138 |
| 9.10   | Essai de tension résiduelle .....                                                                        | 141 |
| 9.10.1 | Généralités .....                                                                                        | 141 |
| 9.10.2 | Essai de la tension résiduelle au choc de courant à front raide .....                                    | 141 |
| 9.10.3 | Essai de la tension résiduelle au choc de foudre .....                                                   | 142 |
| 9.10.4 | Essai de la tension résiduelle au choc de manœuvre .....                                                 | 142 |
| 9.11   | Essai de vérification de la stabilité à long terme sous une tension de régime permanent .....            | 142 |
| 9.11.1 | Généralités .....                                                                                        | 142 |
| 9.11.2 | Procédure d'essai pour les parafoudres soumis à une inversion de la tension .....                        | 143 |
| 9.11.3 | Procédure d'essai pour les parafoudres non soumis à une inversion de la tension .....                    | 146 |
| 9.12   | Essai de vérification des caractéristiques assignées de transfert de charges répétitives, $Q_{rs}$ ..... | 147 |
| 9.12.1 | Généralités .....                                                                                        | 147 |
| 9.12.2 | Procédure d'essai .....                                                                                  | 148 |
| 9.12.3 | Évaluation de l'essai .....                                                                              | 149 |
| 9.12.4 | Valeurs assignées des caractéristiques assignées de transfert de charges répétitives, $Q_{rs}$ .....     | 149 |
| 9.13   | Capacité de dissipation de chaleur de l'échantillon pour essai .....                                     | 150 |
| 9.13.1 | Généralités .....                                                                                        | 150 |
| 9.13.2 | Exigences pour les fractions de parafoudre .....                                                         | 150 |

|        |                                                                                                                   |     |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 9.13.3 | Procédure de vérification de l'équivalence thermique entre un parafoudre et une fraction de parafoudre .....      | 150 |
| 9.14   | Essai de vérification des caractéristiques assignées d'énergie thermique, $W_{th}$ .....                          | 150 |
| 9.14.1 | Généralités .....                                                                                                 | 150 |
| 9.14.2 | Exigences pour les fractions de parafoudre .....                                                                  | 150 |
| 9.14.3 | Procédure d'essai .....                                                                                           | 151 |
| 9.15   | Essai de vérification de la tenue diélectrique des composants internes .....                                      | 152 |
| 9.15.1 | Généralités .....                                                                                                 | 152 |
| 9.15.2 | Procédure d'essai .....                                                                                           | 152 |
| 9.15.3 | Évaluation de l'essai .....                                                                                       | 153 |
| 9.16   | Essai des éléments de répartition internes .....                                                                  | 153 |
| 9.16.1 | Essai de vérification de la stabilité à long terme sous une tension de régime permanent .....                     | 153 |
| 9.16.2 | Essai cyclique thermique .....                                                                                    | 154 |
| 10     | Essais individuels de série et essai de réception .....                                                           | 155 |
| 10.1   | Essais individuels de série .....                                                                                 | 155 |
| 10.2   | Essais de réception .....                                                                                         | 156 |
| 10.2.1 | Essais de réception normaux .....                                                                                 | 156 |
| 10.2.2 | Essai spécial de stabilité thermique .....                                                                        | 156 |
| 11     | Exigences d'essai concernant les différents types de parafoudres .....                                            | 156 |
| 11.1   | Généralités .....                                                                                                 | 156 |
| 11.2   | Parafoudre de valve (V) .....                                                                                     | 156 |
| 11.2.1 | Généralités .....                                                                                                 | 156 |
| 11.2.2 | Tension de régime permanent .....                                                                                 | 157 |
| 11.2.3 | Tension de régime permanent équivalente .....                                                                     | 157 |
| 11.2.4 | Essais de type .....                                                                                              | 158 |
| 11.2.5 | Essais individuels de série et essais de réception .....                                                          | 159 |
| 11.3   | Parafoudre à pont et parafoudres de convertisseur HT et BT (B, CH, CL) .....                                      | 159 |
| 11.3.1 | Tension de régime permanent .....                                                                                 | 159 |
| 11.3.2 | Tension de régime permanent équivalente .....                                                                     | 160 |
| 11.3.3 | Essais de type .....                                                                                              | 161 |
| 11.3.4 | Essais individuels de série et essais de réception .....                                                          | 161 |
| 11.4   | Parafoudre de convertisseur (C) .....                                                                             | 161 |
| 11.4.1 | Généralités .....                                                                                                 | 161 |
| 11.4.2 | Tension de régime permanent .....                                                                                 | 161 |
| 11.4.3 | Tension de régime permanent équivalente .....                                                                     | 161 |
| 11.4.4 | Essais de type .....                                                                                              | 162 |
| 11.4.5 | Essais individuels de série et essais de réception .....                                                          | 162 |
| 11.5   | Parafoudre de bus c.c. médian, parafoudres à pont médian et parafoudre entre convertisseurs (M, MH, ML, CM) ..... | 162 |
| 11.5.1 | Tension de régime permanent .....                                                                                 | 162 |
| 11.5.2 | Tension de régime permanent équivalente .....                                                                     | 162 |
| 11.5.3 | Essais de type .....                                                                                              | 163 |
| 11.5.4 | Essais individuels de série et essais de réception .....                                                          | 163 |
| 11.6   | Parafoudre de bus c.c. de convertisseur (CB) .....                                                                | 163 |
| 11.6.1 | Tension de régime permanent .....                                                                                 | 163 |
| 11.6.2 | Tension de régime permanent équivalente .....                                                                     | 163 |
| 11.6.3 | Essais de type .....                                                                                              | 163 |
| 11.6.4 | Essais individuels de série et essais de réception .....                                                          | 164 |

|                                                                                                                                      |                                                                           |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-----|
| 11.7                                                                                                                                 | Parafoudre de bus c.c. et parafoudre de ligne/câble c.c. (DB, DL/DC)..... | 164 |
| 11.7.1                                                                                                                               | Généralités.....                                                          | 164 |
| 11.7.2                                                                                                                               | Tension de régime permanent.....                                          | 164 |
| 11.7.3                                                                                                                               | Tension de régime permanent équivalente.....                              | 164 |
| 11.7.4                                                                                                                               | Essais de type.....                                                       | 164 |
| 11.7.5                                                                                                                               | Essais individuels de série et essais de réception.....                   | 166 |
| 11.8                                                                                                                                 | Parafoudres de bus neutre (EB, E1, E).....                                | 166 |
| 11.8.1                                                                                                                               | Tension de régime permanent.....                                          | 166 |
| 11.8.2                                                                                                                               | Tension de régime permanent équivalente.....                              | 166 |
| 11.8.3                                                                                                                               | Essais de type.....                                                       | 166 |
| 11.8.4                                                                                                                               | Essais individuels de série et essais de réception.....                   | 167 |
| 11.9                                                                                                                                 | Parafoudres de filtres c.c. et c.a. (FA, FD).....                         | 168 |
| 11.9.1                                                                                                                               | Tension de régime permanent.....                                          | 168 |
| 11.9.2                                                                                                                               | Tension de régime permanent équivalente.....                              | 168 |
| 11.9.3                                                                                                                               | Essais de type.....                                                       | 169 |
| 11.9.4                                                                                                                               | Essais individuels de série et essais de réception.....                   | 169 |
| 11.10                                                                                                                                | Parafoudres de ligne d'électrodes et de retour métallique (EL, EM).....   | 170 |
| 11.10.1                                                                                                                              | Tension de régime permanent.....                                          | 170 |
| 11.10.2                                                                                                                              | Tension de régime permanent équivalente.....                              | 170 |
| 11.10.3                                                                                                                              | Essais de type.....                                                       | 170 |
| 11.10.4                                                                                                                              | Essais individuels de série et essais de réception.....                   | 170 |
| 11.11                                                                                                                                | Parafoudre d'inductance de lissage (DR).....                              | 170 |
| 11.11.1                                                                                                                              | Généralités.....                                                          | 170 |
| 11.11.2                                                                                                                              | Tension de régime permanent.....                                          | 170 |
| 11.11.3                                                                                                                              | Tension de régime permanent équivalente.....                              | 170 |
| 11.11.4                                                                                                                              | Essais de type.....                                                       | 170 |
| 11.11.5                                                                                                                              | Essais individuels de série et essais de réception.....                   | 170 |
| 11.12                                                                                                                                | Parafoudre de condensateur (CC).....                                      | 170 |
| 11.12.1                                                                                                                              | Généralités.....                                                          | 170 |
| 11.12.2                                                                                                                              | Tension de régime permanent.....                                          | 171 |
| 11.12.3                                                                                                                              | Tension de régime permanent équivalente.....                              | 171 |
| 11.12.4                                                                                                                              | Essais de type.....                                                       | 171 |
| 11.12.5                                                                                                                              | Essais individuels de série et essais de réception.....                   | 171 |
| 11.13                                                                                                                                | Parafoudre d'enroulement de valve de transformateur (T).....              | 171 |
| 11.13.1                                                                                                                              | Généralités.....                                                          | 171 |
| 11.13.2                                                                                                                              | Tension de régime permanent.....                                          | 172 |
| 11.13.3                                                                                                                              | Tension de régime permanent équivalente.....                              | 172 |
| 11.13.4                                                                                                                              | Essais de type.....                                                       | 172 |
| 11.13.5                                                                                                                              | Essais individuels de série et essais de réception.....                   | 172 |
| Annexe A (normative) Essai de vérification de l'équivalence thermique entre un parafoudre complet et une fraction de parafoudre..... |                                                                           | 173 |
| Annexe B (normative) Détermination de la température de départ dans l'essai de récupération thermique.....                           |                                                                           | 175 |
| Annexe C (normative) Considérations d'ordre mécanique.....                                                                           |                                                                           | 176 |
| C.1                                                                                                                                  | Essai de moment de flexion.....                                           | 176 |
| C.2                                                                                                                                  | Essai sismique.....                                                       | 177 |
| C.3                                                                                                                                  | Définition des efforts mécaniques.....                                    | 177 |
| C.4                                                                                                                                  | Définition du taux de fuite.....                                          | 178 |
| C.5                                                                                                                                  | Calcul du moment de flexion dû au vent.....                               | 180 |

|                                                                                                                                                                                              |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| C.6 Procédures des essais de moment de flexion pour les parafoudres à<br>enveloppe en porcelaine et les parafoudres à enveloppe synthétique .....                                            | 181 |
| Annexe D (informative) Différentes configurations de circuits .....                                                                                                                          | 183 |
| Bibliographie .....                                                                                                                                                                          | 185 |
| Figure 1 – Schéma unifilaire d'un poste de conversion type avec deux ponts de<br>conversion à 12 impulsions par pôle .....                                                                   | 109 |
| Figure 2 – Schéma unifilaire d'un poste de conversion type avec un pont de conversion<br>à 12 impulsions par pôle .....                                                                      | 110 |
| Figure 3 – Schéma unifilaire de pôle de convertisseur commuté par condensateur<br>(CCC – capacitor commutated converter) type avec deux convertisseurs à 12<br>impulsions en série .....     | 111 |
| Figure 4 – Tensions de régime permanent typiques pour différents parafoudres –<br>modélisation à basse fréquence (emplacement selon Figures 1 à 3, fréquence<br>fondamentale de 50 Hz) ..... | 113 |
| Figure 5 – Tensions de régime permanent typiques pour différents parafoudres –<br>modélisation à haute fréquence (emplacement selon Figures 1 à 3, fréquence<br>fondamentale de 50 Hz) ..... | 114 |
| Figure 6 – Essai thermomécanique .....                                                                                                                                                       | 131 |
| Figure 7 – Exemple de configuration pour l'essai thermomécanique et orientation de<br>l'effort de flexion .....                                                                              | 132 |
| Figure 8 – Immersion dans l'eau .....                                                                                                                                                        | 134 |
| Figure 9 – Cycle d'essai pour l'essai de vieillissement accéléré avec inversions de la<br>polarité, méthode a) .....                                                                         | 145 |
| Figure 10 – Tension de régime d'un parafoudre de valve (V) (redressage) et définition<br>des tensions PCOV et CCOV .....                                                                     | 157 |
| Figure 11 – Tension de régime d'un parafoudre à pont et définition des tensions<br>DCOV, PCOV et CCOV .....                                                                                  | 160 |
| Figure 12 – Tracé illustrant la durée relative de la tension au-dessus de certaines<br>amplitudes .....                                                                                      | 169 |
| Figure C.1 – Moment de flexion pour un parafoudre à plusieurs éléments .....                                                                                                                 | 176 |
| Figure C.2 – Définitions des efforts mécaniques .....                                                                                                                                        | 178 |
| Figure C.3 – Élément de parafoudre .....                                                                                                                                                     | 179 |
| Figure C.4 – Dimensions du parafoudre .....                                                                                                                                                  | 180 |
| Figure C.5 – Logigramme des procédures des essais de moment de flexion .....                                                                                                                 | 182 |
| Figure D.1 – Schéma unifilaire d'un poste de conversion CSCC avec deux<br>convertisseurs à 12 impulsions en série .....                                                                      | 183 |
| Figure D.2 – Schéma unifilaire de postes de conversion dos-à-dos avec deux<br>convertisseurs à 12 impulsions en série .....                                                                  | 184 |
| Tableau 1 – Synthèse des essais de type – 1 .....                                                                                                                                            | 158 |
| Tableau 2 – Synthèse des essais de type – 2 .....                                                                                                                                            | 167 |

## COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

## PARAFOUDRES –

**Partie 9: Parafoudres à oxyde métallique sans éclateur  
pour postes de conversion 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 60099-9 a été établie par le comité d'études 37 de l'IEC: Parafoudres.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

| FDIS        | Rapport de vote |
|-------------|-----------------|
| 37/417/FDIS | 37/422/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 60099, publiées sous le titre général *Parafoudres*, 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. 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.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60099-9:2014

## PARAFOUDRES –

### Partie 9: Parafoudres à oxyde métallique sans éclateur pour postes de conversion CCHT

#### 1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 60099 s'applique aux parafoudres à résistance variable à oxyde métallique sans éclateur conçus pour limiter les surtensions dans les postes de conversion CCHT de types bi pôles, multi pôles et dos à dos, jusqu'à et y compris une tension de régime de 1 100 kV. La norme s'applique généralement aux parafoudres à enveloppe en porcelaine et à enveloppe synthétique, mais également aux parafoudres sous enveloppe métallique à isolation gazeuse (parafoudres blindés ou parafoudres GIS) utilisés seulement comme parafoudres de bus c.c. et comme parafoudres de câble/ligne c.c. Les parafoudres pour convertisseurs de source de tension ne sont pas couverts. Les parafoudres appliqués sur les réseaux à courant alternatif au poste de conversion et soumis à une tension à fréquence industrielle de 50 Hz ou 60 Hz principalement sans harmonique sont soumis à essai selon l'IEC 60099-4. Les parafoudres sur les filtres c.a. sont soumis à essai selon 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 60060-2, *Techniques des essais à haute tension – Partie 2: Systèmes de mesure*

IEC 60068-2-11:1981, *Essais fondamentaux climatiques et de robustesse mécanique – Partie 2-11: Essais – Essai Ka: Brouillard salin*

IEC 60068-2-14, *Essais d'environnement – Partie 2-14: Essais – Essai N: Variation de température*

IEC 60068-2-17, *Essais fondamentaux climatiques et de robustesse mécanique - Partie 2-17: Essais - Essai Q: Etanchéité*

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

IEC TS 60071-5:2002, *Insulation co-ordination – Part 5: Procedures for high-voltage direct current (HVDC) converter stations*

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

IEC 60143-2, *Condensateurs série destinés à être installés sur des réseaux - Partie 2: Matériel de protection pour les batteries de condensateurs série*

IEC 60270, *Techniques des essais à haute tension – Mesures des décharges partielles*

IEC 60721-3-2, *Classification des conditions d'environnement – Partie 3: Classification des groupements des agents d'environnement et de leurs sévérités – Section 2: Transport*

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 62217, *Isolateurs polymériques à haute tension pour utilisation à l'intérieur ou à l'extérieur – Définitions générales, méthodes d'essai et critères d'acceptation*

IEC 62271-200:2011, *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 62271-203:2011, *Appareillage à haute tension – Partie 203: Appareillage sous enveloppe métallique à isolation gazeuse de tensions assignées supérieures à 52 kV*

CISPR 16-1-1, *Spécifications des méthodes et des appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Partie 1-1: Appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Appareils de mesure*

CISPR/TR 18-2, *Radio interference characteristics of overhead power lines and high-voltage equipment – Part 2: Methods of measurement and procedure for determining limits* (disponible en anglais seulement)

### 3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

#### 3.1

##### **essais de réception**

essais effectués sur les parafoudres ou sur des prélèvements d'une fourniture après accord entre le constructeur et l'utilisateur

#### 3.2

##### **moment de flexion**

force perpendiculaire à l'axe longitudinal d'un parafoudre multipliée par la distance verticale entre l'embase (niveau le plus bas de la collerette) du parafoudre et le point d'application de la force

#### 3.3

##### **effort à la rupture**

force perpendiculaire à l'axe longitudinal d'un parafoudre à enveloppe en porcelaine, qui provoque la rupture mécanique de son enveloppe

#### 3.4

##### **courant permanent d'un parafoudre**

courant circulant à travers le parafoudre lorsque celui-ci est soumis à la tension de régime permanent

Note 1 à l'article: Le courant permanent, qui comporte une composante résistive et une composante capacitive, peut varier avec la température et les effets des capacités parasites ou de la pollution externe. Le courant permanent d'un échantillon pour essai peut donc être différent du courant permanent d'un parafoudre complet.

Note 2 à l'article: À des fins de comparaison, le courant permanent est exprimé soit par sa valeur efficace, soit par sa valeur de crête.

### 3.5

#### **tension de régime permanent d'un parafoudre CCHT**

$U_{cHVDC}$

tension permanente maximale caractérisée par les tensions CCOV, PCOV et DCOV et la fréquence DFCOV le cas échéant et qui peut être appliquée en continu entre les bornes d'un parafoudre

### 3.6

#### **courant de coordination d'un parafoudre**

pour un réseau étudié donné et pour chaque classe de surtension, courant circulant dans le parafoudre pour lequel la surtension représentative est déterminée

Note 1 à l'article: Les formes normales des courants de coordination pour les chocs de courant à front raide, de foudre et de manœuvre sont données dans l'IEC 60099-4.

Note 2 à l'article: Les courants de coordination sont déterminés par les études de réseau.

### 3.7

#### **valeur de crête de la tension de régime permanent CCOV**

valeur de crête permanente la plus élevée de la tension traversant le parafoudre, à l'exclusion des dépassements et des crans de commutation, et calculée avec un modèle de réseau valable pour une fréquence maximale de 5 kHz environ

Note 1 à l'article: À titre d'exemple, voir la Figure 10, donnée pour les parafoudres de valve.

Note 2 à l'article: L'abréviation "CCOV" est dérivée du terme anglais développé correspondant "crest value of continuous operating voltage".

### 3.8

#### **limite de dégradation (mécanique)**

valeur la plus faible de la force perpendiculaire à l'axe longitudinal d'un parafoudre à enveloppe synthétique, qui provoque la rupture mécanique de son enveloppe

### 3.9

#### **composante continue de la tension de régime permanent DCOV**

tension de régime permanent moyenne la plus élevée,  $U_{cHVDC}$ , traversant le parafoudre, à l'exclusion des harmoniques et des dépassements de commutation

Note 1 à l'article: À titre d'exemple, voir la Figure 11, donnée pour les parafoudres à pont.

Note 2 à l'article: L'abréviation "DCOV" est dérivée du terme anglais développé correspondant "d.c. component of the continuous operating voltage".

### 3.10

#### **tension de réseau continue**

tension de régime moyenne la plus élevée à la terre, à l'exclusion des harmoniques et des dépassements de commutation

### 3.11

#### **énoncé de la forme d'un choc**

combinaison de deux valeurs, la première représentant la durée conventionnelle du front ( $T_1$ ) et la seconde la durée conventionnelle jusqu'à mi-valeur sur la queue ( $T_2$ )

Note 1 à l'article: L'onde est représentée par  $T_1/T_2$ , en microsecondes, le signe "/" n'ayant aucune signification mathématique.

### 3.12

#### **courant de décharge d'un parafoudre**

onde de courant qui circule à travers le parafoudre

### 3.13

#### **décharge disruptive**

phénomène associé à une défaillance de l'isolation sous l'effet de la contrainte électrique, avec chute de la tension et passage d'un courant

Note 1 à l'article: Ce terme s'applique aux perforations électriques de diélectriques solides, liquides et gazeux, et à leurs combinaisons.

Note 2 à l'article: Une décharge disruptive dans un diélectrique solide entraîne une perte permanente de la rigidité diélectrique. Dans un diélectrique liquide ou gazeux, la perte de la rigidité diélectrique peut n'être que temporaire.

### 3.14

#### **fréquence dominante de tension de régime permanent**

##### **DFCOV**

fréquence de l'harmonique avec valeur efficace la plus élevée de la tension traversant les parafoudres à filtres c.c. et c.a.

Note 1 à l'article: L'abréviation "DFCOV" est dérivée du terme anglais développé correspondant "dominant frequency of continuous operating voltage".

### 3.15

#### **fraction électrique**

portion de parafoudre dont chacune des extrémités se termine par une électrode soumise au milieu environnant

Note 1 à l'article: Une fraction électrique peut comporter deux fractions mécaniques ou plus (voir Figure 4 de l'IEC 60099-4:2004/AMD1:2009).

### 3.16

#### **tension de régime permanent équivalente d'un parafoudre**

##### **ECOV**

valeur efficace de la tension à fréquence industrielle sinusoïdale ou de la tension continue dans un parafoudre à oxyde métallique soumis à la contrainte de la tension de régime de toute forme d'onde qui génère la même puissance absorbée dans le matériau à oxyde métallique que la tension de régime réelle

Note 1 à l'article: L'abréviation "ECOV" est dérivée du terme anglais développé correspondant "equivalent continuous operating voltage".

### 3.17

#### **contournement**

décharge disruptive le long d'une surface solide

### 3.18

#### **front d'un choc**

partie d'un choc précédant la crête

### 3.19

#### **parafoudre sous enveloppe métallique à isolation gazeuse**

##### **parafoudre blindé ou parafoudre GIS**

parafoudre à oxyde métallique, sous enveloppe métallique et à isolation gazeuse, sans éclateur série ou parallèle intégré, rempli d'un gaz autre que de l'air

Note 1 à l'article: La pression du gaz est habituellement supérieure à 1 bar = 10<sup>5</sup> Pa.

Note 2 à l'article: Parafoudre utilisé dans les appareillages à isolation gazeuse.

**3.20****anneau de garde d'un parafoudre**

partie métallique, généralement de forme circulaire, montée pour modifier électrostatiquement la répartition de la tension le long du parafoudre

**3.21****choc de courant de grande amplitude d'un parafoudre**

valeur de crête du courant de décharge de forme d'onde 4/10 utilisé pour vérifier la stabilité du parafoudre lors des coups de foudre directs

**3.22****enveloppe**

élément isolant externe d'un parafoudre qui procure la ligne de fuite nécessaire et protège les éléments internes contre le milieu environnant

Note 1 à l'article: Une enveloppe peut être constituée de plusieurs éléments assurant la résistance mécanique et la protection contre le milieu environnant.

**3.23****choc**

onde de tension ou de courant unidirectionnelle qui, sans oscillations appréciables, croît rapidement jusqu'à une valeur maximale et tombe à zéro, habituellement moins rapidement, avec, éventuellement, de petites ondes de polarité opposée, les paramètres de définition étant la polarité, la valeur de crête, la durée du front et la durée jusqu'à mi-valeur sur la queue

**3.24****embase isolante**

isolateur (ou ensemble isolateur) de petites dimensions sur lequel est monté le parafoudre afin de fournir un moyen de connexion d'un dispositif de contrôle du courant entre l'embase du parafoudre et la terre

**3.25****système de répartition interne d'un parafoudre**

impédances de répartition, en particulier condensateurs de répartition connectés en parallèle sur une seule résistance ou sur un ensemble de résistances variables à oxyde métallique pour fixer la répartition de la tension le long de la colonne de résistances à oxyde métallique

**3.26****éléments internes**

résistances à oxyde métallique avec structure de maintien et système de répartition interne, lorsque cela est prévu

**3.27****choc de courant de foudre**

choc de courant 8/20 dont les limites de réglage sont telles que l'on mesure des valeurs comprises entre 7  $\mu$ s et 9  $\mu$ s pour la durée conventionnelle du front et entre 18  $\mu$ s et 22  $\mu$ s pour la durée jusqu'à mi-valeur sur la queue

Note 1 à l'article: Pour la mesure de la tension résiduelle lors des essais de type (voir 9.10), la durée jusqu'à mi-valeur sur la queue n'est pas un paramètre critique et aucune tolérance n'est imposée.

**3.28****courant de coordination des chocs de foudre**

$I_{lco}$

courant de coordination dont la forme est égale au choc de courant de foudre

### 3.29

#### **choc de courant de longue durée**

choc de courant rectangulaire qui augmente rapidement jusqu'à la valeur maximale, reste essentiellement constant pendant une période spécifiée, puis chute rapidement à zéro, les paramètres de définition étant la polarité, la valeur de crête, la durée conventionnelle de la crête et la durée totale conventionnelle

### 3.30

#### **effort moyen à la rupture**

##### **MBL**

effort moyen à la rupture pour les parafoudres à enveloppe en porcelaine déterminé à partir d'essais

Note 1 à l'article: L'abréviation "MBL" est dérivée du terme anglais développé correspondant "mean breaking load".

### 3.31

#### **fraction mécanique**

portion de parafoudre à l'intérieur de laquelle un dispositif mécanique empêche le déplacement axial des résistances à oxyde métallique

Note 1 à l'article: Une fraction électrique d'un parafoudre peut comporter deux fractions mécaniques ou plus (voir Figure 13 de l'IEC 60099-4:2004/AMD1:2009).

Note 2 à l'article: Une fraction mécanique peut comporter deux fractions électriques ou plus (voir Figure 13 de l'IEC 60099-4:2004/AMD1:2009).

### 3.32

#### **parafoudre à oxyde métallique sans éclateur**

parafoudre à résistances variables à oxyde métallique connectées en série et/ou en parallèle, ne comportant pas d'éclateur en série ou en parallèle, intégré dans une enveloppe comportant des bornes de connexion électrique et mécanique

Note 1 à l'article: Chaque occurrence du terme "arrester" ou "surge arrester" ("parafoudre" en français) dans le présent document se rapporte à un parafoudre à oxyde métallique sans éclateur.

### 3.33

#### **résistance variable à oxyde métallique**

##### **résistance MO**

partie d'un parafoudre qui, par sa caractéristique variable de la tension en fonction du courant, fonctionne comme une résistance de faible valeur pour les surtensions, limitant ainsi la tension aux bornes du parafoudre, et comme une résistance de valeur élevée à la tension normale à fréquence industrielle

Note 1 à l'article: L'abréviation "MO" est dérivée du terme anglais développé correspondant "metal-oxide".

### 3.34

#### **tension de régime permanent non significative**

##### **NCOV**

tension de régime permanent qui génère une puissance absorbée si faible dans les parafoudres qu'aucun essai n'est nécessaire pour vérifier la stabilité thermique après injection d'une énergie spécifiée

Note 1 à l'article: Le fait que la tension de régime permanent ( $U_{CHVDC}$ ) doit être considérée comme significative ou non significative dépend tant de la tension appliquée que de la conception du parafoudre.

Note 2 à l'article: Les parafoudres de bus neutre, de retour métallique et de ligne d'électrodes, ainsi que les parafoudres installés sur inductance continue constituent des exemples de parafoudres à tension de régime permanent non significative.

Note 3 à l'article: L'abréviation "NCOV" est dérivée du terme anglais développé correspondant "non-significant continuous operating voltage".

**3.35****valeur de crête d'un choc**

valeur maximale de la tension ou du courant lors d'un choc

Note 1 à l'article: Des oscillations superposées peuvent être négligées.

**3.36****valeur de crête de polarité opposée d'un choc**

amplitude maximale de polarité opposée atteinte par un choc de tension ou de courant lorsqu'il oscille autour de zéro avant d'atteindre une valeur nulle permanente

**3.37****valeur de crête de la tension de régime permanent****PCOV**

valeur de crête permanente la plus élevée de la tension du matériel du côté c.c. du poste de conversion, y compris les dépassements de commutation, les crans de commutation et l'ondulation, calculée à l'aide d'un modèle qui tient compte des capacités/inductances parasites des transformateurs convertisseurs, valves, barres omnibus, etc. et valable pour une fréquence d'au moins 50 kHz

Note 1 à l'article: À titre d'exemple, voir la Figure 10, donnée pour les parafoudres de valve.

Note 2 à l'article: L'abréviation "PCOV" est dérivée du terme anglais développé correspondant "peak value of continuous operating voltage".

**3.38****parafoudre à enveloppe synthétique**

parafoudre utilisant des matériaux synthétiques et composites pour l'enveloppe

Note 1 à l'article: Des configurations avec un volume interne de gaz sont possibles. L'étanchéité peut être assurée par le matériau synthétique lui-même ou l'utilisation d'un système séparé.

**3.39****parafoudre à enveloppe en porcelaine**

parafoudre utilisant la porcelaine comme matériau d'enveloppe, avec des fixations et un système d'étanchéité

**3.40****limiteur de pression d'un parafoudre**

dispositif destiné à limiter la pression interne d'un parafoudre et à éviter la rupture brutale de l'enveloppe à la suite du passage prolongé du courant de défaut ou d'un amorçage à l'intérieur du parafoudre

**3.41****courant présumé d'un circuit**

courant qui circulerait en un lieu donné d'un circuit si l'on établissait un court-circuit en ce lieu au moyen d'une connexion d'impédance négligeable

**3.42****caractéristiques de protection d'un parafoudre**

combinaison des caractéristiques suivantes:

- a) tension résiduelle pour les chocs de courant à front raide à l'exclusion et à l'inclusion de la contribution de la tension inductive selon 9.10.2;

Note 1 à l'article: Le niveau de protection contre les chocs de courant à front raide du parafoudre est la tension résiduelle maximale pour le courant de coordination des chocs de courant à front raide.

- b) tension résiduelle pour les chocs de courant de foudre selon 9.10.3;

Note 2 à l'article: Le niveau de protection contre les chocs de foudre du parafoudre est la tension résiduelle maximale pour le courant de coordination des chocs de foudre.

c) tension résiduelle pour les chocs de courant de manœuvre selon 9.10.4

Note 3 à l'article: Le niveau de protection contre les chocs de courant de manœuvre du parafoudre est la tension résiduelle maximale pour le courant de coordination des chocs de courant de manœuvre.

**3.43**

**perforation**

**claquage**

décharge disruptive à travers un solide

**3.44**

**fréquence assignée d'un parafoudre**

fréquence du réseau pour laquelle le parafoudre est prévu

**3.45**

**tension assignée d'un parafoudre**

$U_r$

valeur efficace de la tension à fréquence industrielle ou continue égale à la tension de référence minimale (alternative ou continue), multipliée par un facteur spécifié par le constructeur

Note 1 à l'article: La tension assignée est utilisée comme paramètre de référence pour la spécification des caractéristiques de fonctionnement.

**3.46**

**courant de référence (alternatif) d'un parafoudre**

$I_{refAC}$

valeur de crête (la plus grande des deux polarités si le courant est dissymétrique) de la composante résistive du courant à fréquence industrielle utilisée pour déterminer la tension de référence (alternative) du parafoudre

Note 1 à l'article: Il convient que le courant de référence soit suffisamment élevé pour rendre négligeables les effets des capacités parasites à la tension de référence mesurée sur les éléments de parafoudre (avec leur système de répartition) et il est par ailleurs tenu d'être spécifié par le constructeur. Le courant de référence se situe typiquement dans la gamme de 0,05 mA à 1,0 mA par centimètre carré de surface de disque pour les parafoudres à colonne unique.

**3.47**

**courant de référence (continu) d'un parafoudre**

$I_{refDC}$

valeur de crête (la plus grande des deux polarités si le courant est dissymétrique) du courant résistif, utilisée pour déterminer la tension de référence (continue) du parafoudre

Note 1 à l'article: Le courant de référence se situe typiquement dans la gamme de 0,01 mA à 0,5 mA par centimètre carré de surface de disque pour les parafoudres à colonne unique.

**3.48**

**tension de référence (alternative) d'un parafoudre**

$U_{refAC}$

valeur de crête divisée par  $\sqrt{2}$  de la tension à fréquence industrielle qui est appliquée au parafoudre pour obtenir le courant de référence

Note 1 à l'article: La tension de référence d'un parafoudre à plusieurs éléments est la somme des tensions de référence des éléments séparés.

Note 2 à l'article: La mesure de la tension de référence est nécessaire au choix d'un échantillon pour essai convenable pour l'essai de vérification des caractéristiques assignées d'énergie thermique (voir 9.14).

**3.49**

**tension de référence (continue) d'un parafoudre**

$U_{refDC}$

tension continue qui est appliquée au parafoudre afin d'obtenir le courant de référence

Note 1 à l'article: La tension de référence d'un parafoudre à plusieurs éléments est la somme des tensions de référence des éléments séparés.

Note 2 à l'article: La mesure de la tension de référence est nécessaire au choix d'un échantillon pour essai convenable pour l'essai de vérification des caractéristiques assignées d'énergie thermique (voir 9.14).

### **3.50** **caractéristiques assignées de transfert de charges répétitives**

$Q_{rs}$

capacité de transfert de charges spécifiée maximale d'un parafoudre, sous la forme d'un événement simple (ou d'un groupe de surtensions) qui peut être transmise par un parafoudre sans provoquer de défaillance mécanique ou de dégradation électrique inacceptable de la résistance MO

Note 1 à l'article: La charge est calculée comme la valeur absolue du courant intégré dans le temps. Pour les besoins de la présente norme, il s'agit de la charge accumulée dans un événement simple ou un groupe de surtensions ne durant pas plus de 2 s et qui peut être suivie par un événement ultérieur à un intervalle de temps pas plus court que 60 s.

### **3.51** **tension résiduelle d'un parafoudre**

$U_{res}$

valeur de crête de la tension entre les bornes d'un parafoudre pendant le passage du courant de décharge

Note 1 à l'article: L'expression «tension de décharge» est utilisée dans certains pays.

### **3.52** **essais individuels de série**

essais effectués sur chaque parafoudre, élément ou matériau, le cas échéant, pour s'assurer que le produit répond aux spécifications de conception

### **3.53** **étanchéité (aux gaz et à l'eau)**

capacité d'un parafoudre à empêcher l'entrée de corps étrangers affectant son comportement électrique et/ou mécanique

### **3.54** **fraction de parafoudre** **fraction distribuée au prorata**

partie complète d'un parafoudre, correctement assemblée, nécessaire pour représenter le comportement d'un parafoudre complet lors d'un essai particulier

Note 1 à l'article: Une fraction de parafoudre n'est pas nécessairement un élément de parafoudre. Pour certains essais, une résistance MO seule constitue une fraction.

### **3.55** **aillette**

élément isolant saillant de l'enveloppe destiné à en augmenter la ligne de fuite

### **3.56** **effort à long terme spécifié** **SLL**

force perpendiculaire à l'axe longitudinal d'un parafoudre qu'il est admis d'appliquer en service, en permanence, sans provoquer de dommages mécaniques au parafoudre

Note 1 à l'article: L'abréviation "SLL" est dérivée du terme anglais développé correspondant "specified long-term load".

### 3.57

#### **effort à court terme spécifié**

##### **SSL**

force la plus élevée, perpendiculaire à l'axe longitudinal d'un parafoudre, qu'il est admis d'appliquer en service pendant de courtes périodes et pendant des événements relativement rares (par exemple, des charges dues à des courants de court-circuit et de fortes rafales de vent) sans provoquer de dommages mécaniques au parafoudre

Note 1 à l'article: Le SSL ne se réfère pas à des exigences de résistance mécanique pendant des secousses sismiques (voir C.2).

Note 2 à l'article: L'abréviation "SSL" est dérivée du terme anglais développé correspondant "specified short-term load".

### 3.58

#### **choc de courant à front raide**

choc de courant avec une durée conventionnelle du front de 1  $\mu\text{s}$  avec des limites de réglage du matériel telles que l'on mesure des valeurs comprises entre 0,9  $\mu\text{s}$  et 1,1  $\mu\text{s}$ . La durée conventionnelle jusqu'à mi-valeur sur la queue ne dépasse pas 20  $\mu\text{s}$

Note 1 à l'article: Pour la mesure de la tension résiduelle lors des essais de type (voir 9.10), la durée jusqu'à mi-valeur sur la queue n'est pas un paramètre critique et aucune tolérance n'est imposée.

### 3.59

#### **courant de coordination des chocs à front raide**

##### **$I_{\text{stico}}$**

courant de coordination dont la forme est égale au choc de courant à front raide

### 3.60

#### **choc de courant de manœuvre d'un parafoudre**

valeur de crête du courant de décharge dont la durée conventionnelle du front est comprise entre 30  $\mu\text{s}$  et 100  $\mu\text{s}$ , et dont la durée conventionnelle jusqu'à mi-valeur sur la queue est d'environ deux fois la durée conventionnelle du front

### 3.61

#### **courant de coordination des chocs de manœuvre**

##### **$I_{\text{swico}}$**

courant de coordination dont la forme est égale au choc de courant de manœuvre

### 3.62

#### **queue d'un choc**

partie d'un choc postérieure à la crête

### 3.63

#### **effort en tête**

force perpendiculaire à l'axe longitudinal du parafoudre mesurée au niveau de son axe

### 3.64

#### **caractéristiques assignées d'énergie thermique**

##### **$W_{\text{th}}$**

énergie spécifiée maximale, donnée en kJ/kV de  $U_r$ , qui peut être injectée dans un parafoudre ou une fraction de parafoudre lors d'un essai d'énergie thermique d'une durée d'environ 3 minutes sans provoquer d'emballement thermique

Note 1 à l'article: Cette caractéristique assignée est vérifiée lors de l'essai d'énergie thermique.

### 3.65

#### **emballement thermique d'un parafoudre**

situation où la puissance absorbée de façon prolongée par un parafoudre dépasse la capacité de dissipation thermique de l'enveloppe et des connexions, et conduit à une augmentation

cumulative de la température des varistances MO qui se termine par une défaillance du parafoudre

### 3.66

#### **stabilité thermique d'un parafoudre**

l'état d'un parafoudre si, à la suite d'un fonctionnement ayant entraîné un échauffement, la température des résistances MO baisse en fonction de la durée lorsque le parafoudre est soumis à la tension de régime permanent spécifiée et dans des conditions ambiantes spécifiées

### 3.67

#### **effort de torsion**

chacune des forces horizontales appliquées en partie haute de l'enveloppe d'un parafoudre installé en position verticale, qui ne s'appliquent pas sur son axe longitudinal

### 3.68

#### **essais de type**

#### **essais de conception**

essais effectués après la mise au point d'un nouveau type de parafoudre pour déterminer ses caractéristiques et montrer qu'il est conforme à la norme appropriée

Note 1 à l'article: Une fois ces essais effectués, il n'est nécessaire de les reprendre que si des modifications viennent en changer les caractéristiques de conception. Dans ce cas, seuls les essais nécessaires sont à répéter.

### 3.69

#### **choc de courant à demi-onde sinusoïdale unipolaire**

choc de courant unipolaire comprenant un demi-cycle de courant pratiquement sinusoïdal

### 3.70

#### **élément de parafoudre**

partie d'un parafoudre, entièrement contenue dans une enveloppe, qui peut être connectée en série et/ou en parallèle avec d'autres éléments pour réaliser un parafoudre ayant des valeurs assignées de tension et/ou de courant plus élevées

Note 1 à l'article: Un élément de parafoudre n'est pas nécessairement une fraction de parafoudre.

### 3.71

#### **durée conventionnelle de la crête d'un choc rectangulaire**

temps pendant lequel l'amplitude du choc est supérieure à 90 % de sa valeur de crête

### 3.72

#### **durée conventionnelle du front d'un choc de courant**

$T_1$

durée exprimée en microsecondes égale à 1,25 fois le temps nécessaire au courant pour croître de 10 % à 90 % de sa valeur de crête

Note 1 à l'article: S'il existe des oscillations sur le front, il convient de prendre les points de référence à 10 % et à 90 % sur la courbe moyenne tracée à travers les oscillations.

### 3.73

#### **origine conventionnelle d'un choc**

point d'une courbe «tension en fonction du temps» ou «courant en fonction du temps» déterminé par l'intersection de l'axe des temps, à tension ou courant nul, et de la droite passant par deux points de référence sur le front du choc

Note 1 à l'article: Pour les chocs de courant, les points de référence doivent être égaux à 10 % et 90 % de la valeur de crête.

Note 2 à l'article: Cette définition ne s'applique que lorsque l'échelle des abscisses et celle des ordonnées sont toutes deux linéaires.

Note 3 à l'article: S'il existe des oscillations sur le front, il convient de prendre les points de référence à 10 % et à 90 % sur la courbe moyenne tracée à travers les oscillations.

### 3.74

#### **raideur conventionnelle du front d'un choc**

quotient de la valeur de crête par la durée conventionnelle du front du choc

### 3.75

#### **durée conventionnelle jusqu'à mi-valeur sur la queue d'un choc**

$T_2$

intervalle de temps entre l'origine conventionnelle et l'instant où la tension ou le courant a diminué jusqu'à atteindre la moitié de sa valeur de crête. Cette durée est exprimée en microsecondes

### 3.76

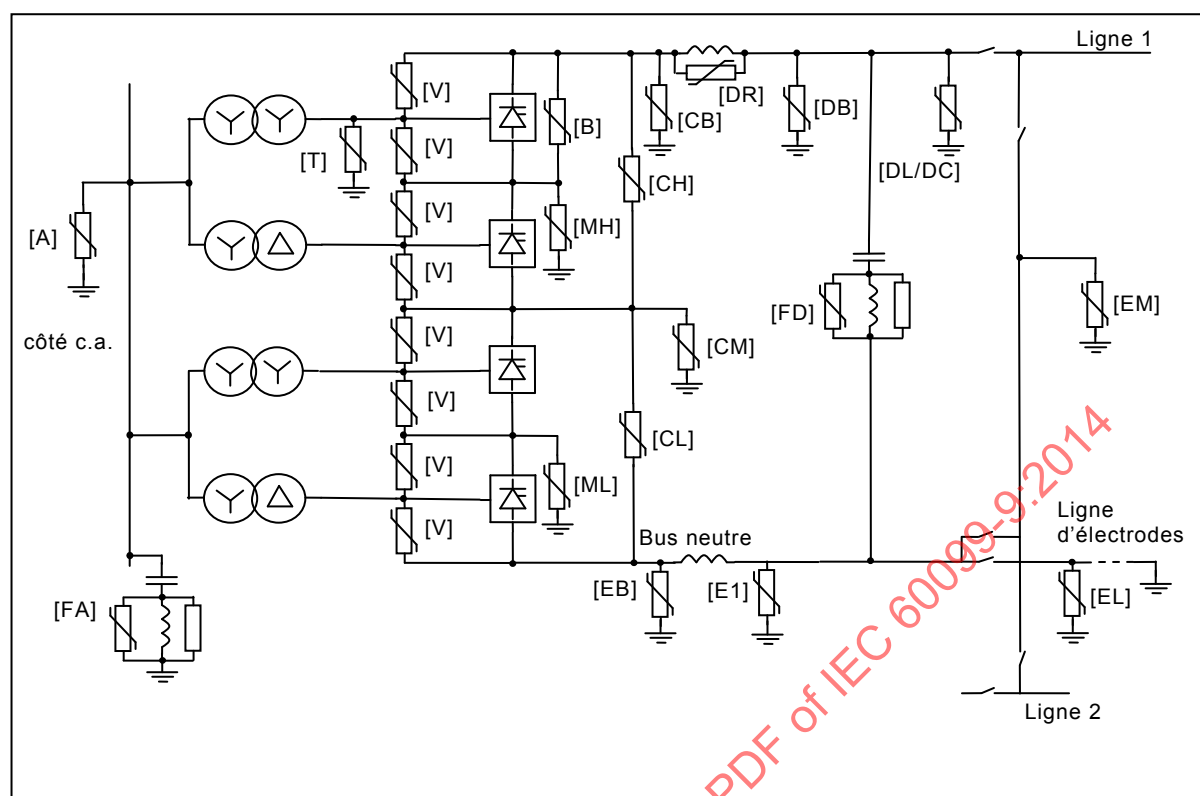
#### **durée conventionnelle d'un choc rectangulaire**

temps pendant lequel l'amplitude du choc est supérieure à 10 % de sa valeur de crête

Note 1 à l'article: S'il existe de petites oscillations sur le front, il convient de tracer une courbe moyenne pour déterminer l'instant où la valeur de 10 % est atteinte.

## **4 Configurations de postes de conversion CCHT typiques, et types, emplacements et tension de régime de parafoudres**

Les Figures 1 à 3 illustrent les schémas unifilaires des postes de conversion CCHT typiques équipés de un ou deux ponts de conversion à 12 impulsions en série. Les principales différences entre les configurations résident dans la présence, ou non, de condensateurs commutés ou de condensateurs en série commandés, installés du côté c.a. du poste de conversion CCHT. Les emplacements de parafoudre possibles sont indiqués dans les Figures 1 à 3. Certains de ces parafoudres peuvent être redondants et peuvent être exclus selon la conception spécifique. Les Figures 4 et 5 présentent des formes typiques des tensions de régime. Pour les courbes illustrées à la Figure 4, un modèle à basse fréquence a permis de calculer les courbes de tension qui produisent les formes "classiques". Pour les courbes illustrées à la Figure 5, une modélisation à haute fréquence plus précise a été utilisée. Généralement, la modélisation plus précise donne des crêtes de tension plus élevées qu'il convient de prendre en compte dans la conception et les essais des parafoudres. Les courbes à basse fréquence sont fournies pour une meilleure compréhension. Généralement, la modélisation à basse fréquence décrite ici est valable pour une fréquence maximale de 5 kHz environ et la modélisation à haute fréquence est valable pour une fréquence comprise entre 50 kHz et 1 MHz. Pour les parafoudres de valve, la tension de régime est calculée normalement avec les parafoudres connectés, dans la mesure où les dépassements de commutation peuvent être affectés par le parafoudre. Lorsque la tension est en revanche calculée sans les parafoudres, ceci donne généralement un résultat plus prudent, c'est-à-dire des crêtes de tension plus élevées. Toutefois, lorsqu'il est admis que le parafoudre limite les dépassements de commutation en service, la puissance absorbée continue du parafoudre doit être déterminée en tenant compte de cette limitation.



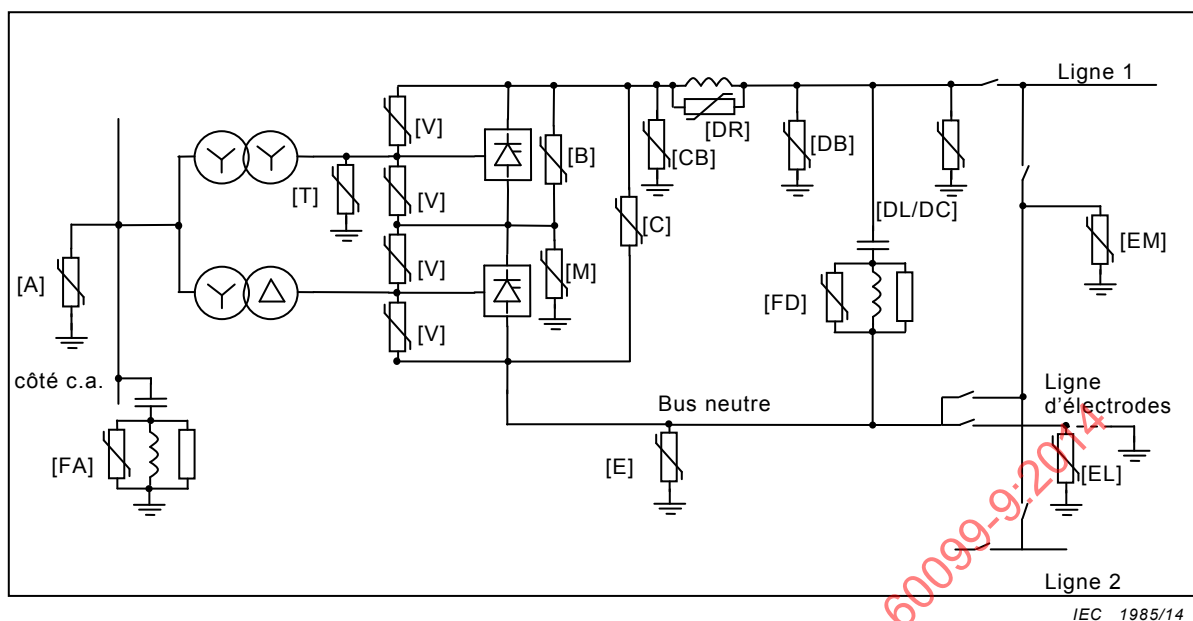
IEC 1984/14

**Légende**

|                                                         |                                                                                |                                                        |
|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| À: parafoudres c.a.                                     | DL/DC: parafoudre de ligne/câble c.c.                                          | FD: parafoudre de filtre c.c.                          |
| B: parafoudre à pont                                    | DR: parafoudre d'inductance de lissage                                         | MH: parafoudre à pont médian (pont haute tension)      |
| CB: parafoudre de bus c.c. à convertisseur              | EB: parafoudre neutre de convertisseur (côté valve de l'inductance de lissage) | ML: parafoudre à pont médian (pont basse tension)      |
| CH: parafoudre de convertisseur HT (pont haute tension) | ÉL: parafoudre de ligne d'électrodes                                           | T: parafoudre d'enroulement de valve de transformateur |
| CL: parafoudre de convertisseur BT (pont basse tension) | EM: parafoudre de retour métallique                                            | V: parafoudre de valve                                 |
| CM: parafoudre entre convertisseurs                     | E1: parafoudre de bus neutre c.c. (côté ligne de l'inductance de lissage)      |                                                        |
| DB: parafoudre de bus c.c.                              | FA: parafoudre de filtre c.a.                                                  |                                                        |

NOTE Les filtres c.c. et c.a. peuvent être bien plus complexes que ce qui est illustré à la Figure. Les parafoudres ne sont pas tous utilisés pour chaque configuration. La Figure ne montre pas l'emplacement exact des parafoudres, par exemple, les parafoudres c.a. sont situés habituellement à proximité des transformateurs.

**Figure 1 – Schéma unifilaire d'un poste de conversion type avec deux ponts de conversion à 12 impulsions par pôle**



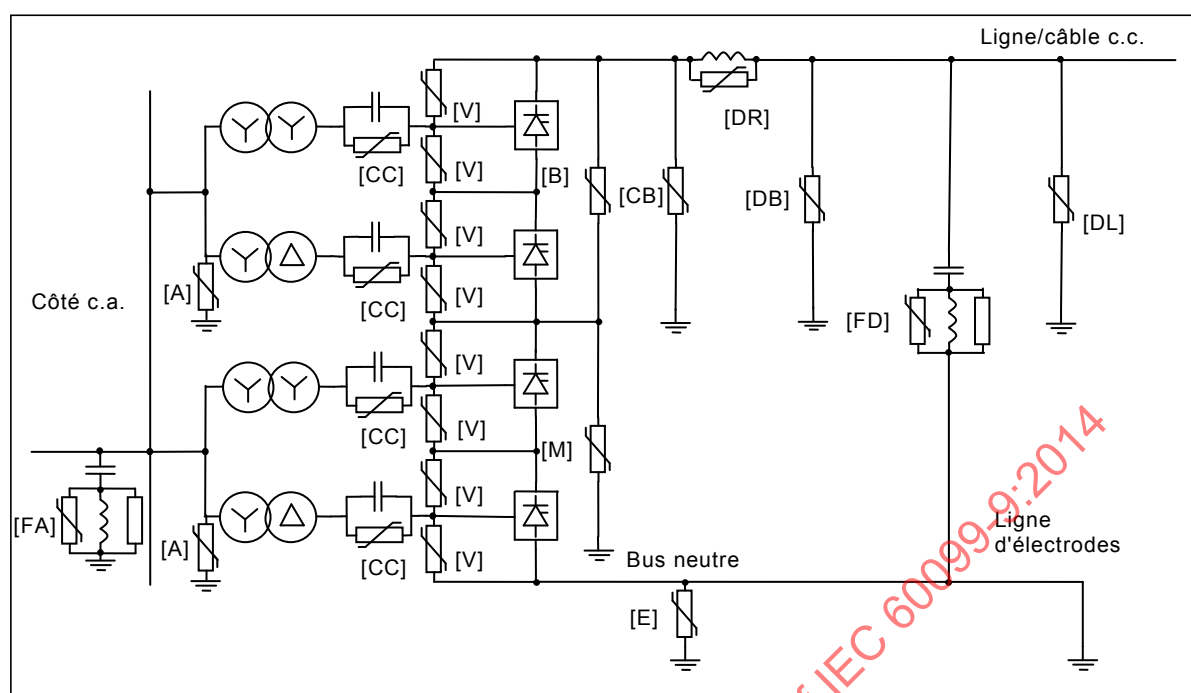
IEC 1985/14

### Légende

|                                            |                                        |                                                        |
|--------------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| À: parafoudres c.a.                        | DL/DC: parafoudre de ligne/câble c.c.  | FA: parafoudre de filtre c.a.                          |
| B: parafoudre à pont (à 6 impulsions)      | DR: parafoudre d'inductance de lissage | FD: parafoudre de filtre c.c.                          |
| C: parafoudre de convertisseur             | E: parafoudre de bus neutre c.c.       | M: parafoudre de bus c.c. médian                       |
| CB: parafoudre de bus c.c. à convertisseur | EL: parafoudre de ligne d'électrodes   | T: parafoudre d'enroulement de valve de transformateur |
| DB: parafoudre de bus c.c.                 | EM: parafoudre de retour métallique    | V: parafoudre de valve                                 |

NOTE Les filtres c.c. et c.a. peuvent être bien plus complexes que ce qui est illustré à la Figure. Les parafoudres ne sont pas tous utilisés pour chaque configuration.

**Figure 2 – Schéma unifilaire d'un poste de conversion type avec un pont de conversion à 12 impulsions par pôle**



IEC 1986/14

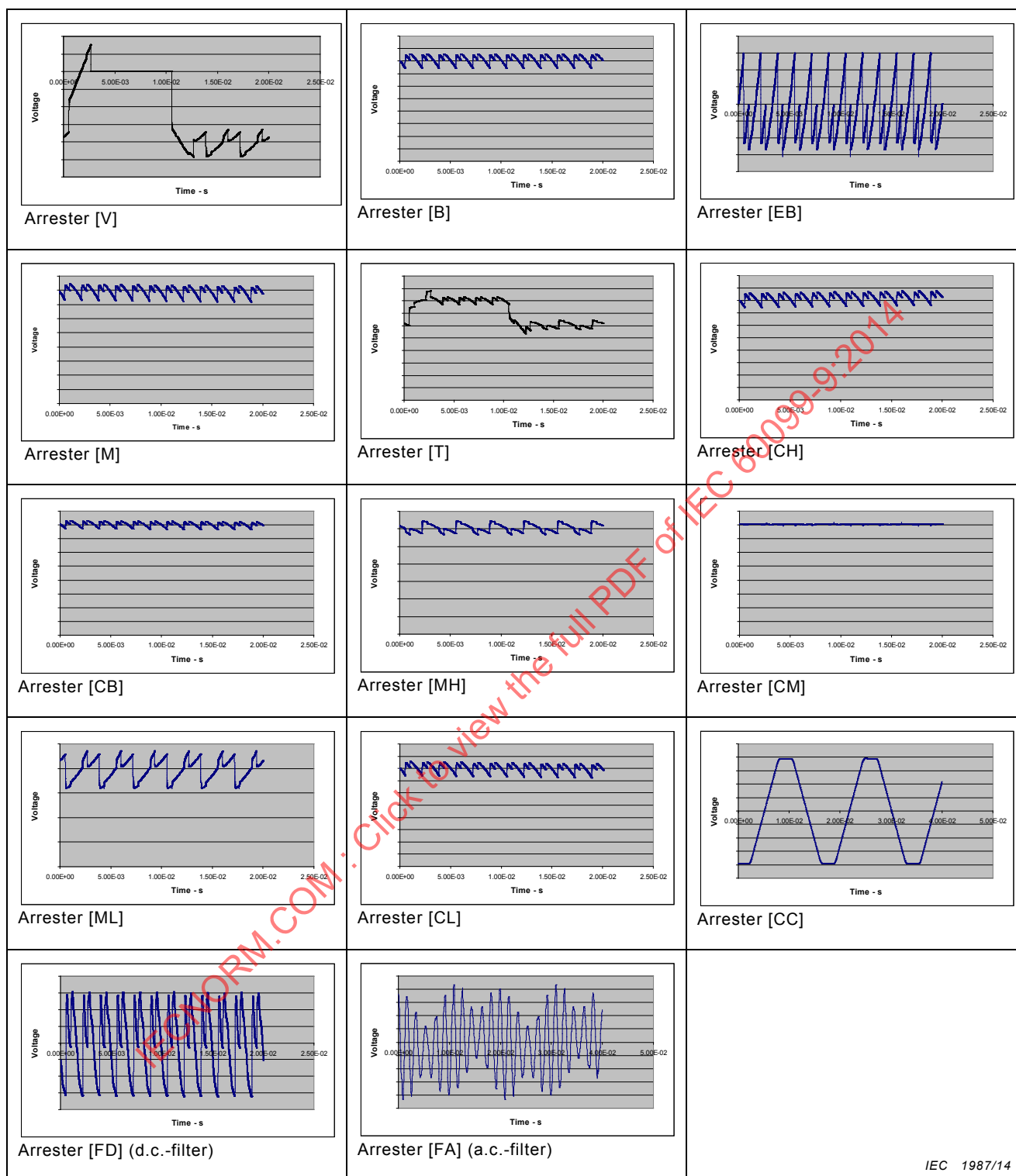
**Légende**

|                                            |                                        |                                  |
|--------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------|
| À: parafoudres c.a.                        | DB: parafoudre de bus c.c.             | FA: parafoudre de filtre c.a.    |
| B: parafoudre à pont (à 6 impulsions)      | DL/DC: parafoudre de ligne/câble c.c.  | FD: parafoudre de filtre c.c.    |
| CB: parafoudre de bus c.c. à convertisseur | DR: parafoudre d'inductance de lissage | M: parafoudre de bus c.c. médian |
| CC: parafoudre de condensateur             | E: parafoudre de bus neutre c.c.       | V: parafoudre de valve           |

NOTE Les filtres c.c. et c.a. peuvent être bien plus complexes que ce qui est illustré à la Figure. Les parafoudres ne sont pas tous utilisés pour chaque configuration.

**Figure 3 – Schéma unifilaire de pôle de convertisseur commuté par condensateur (CCC – capacitor commutated converter) type avec deux convertisseurs à 12 impulsions en série**

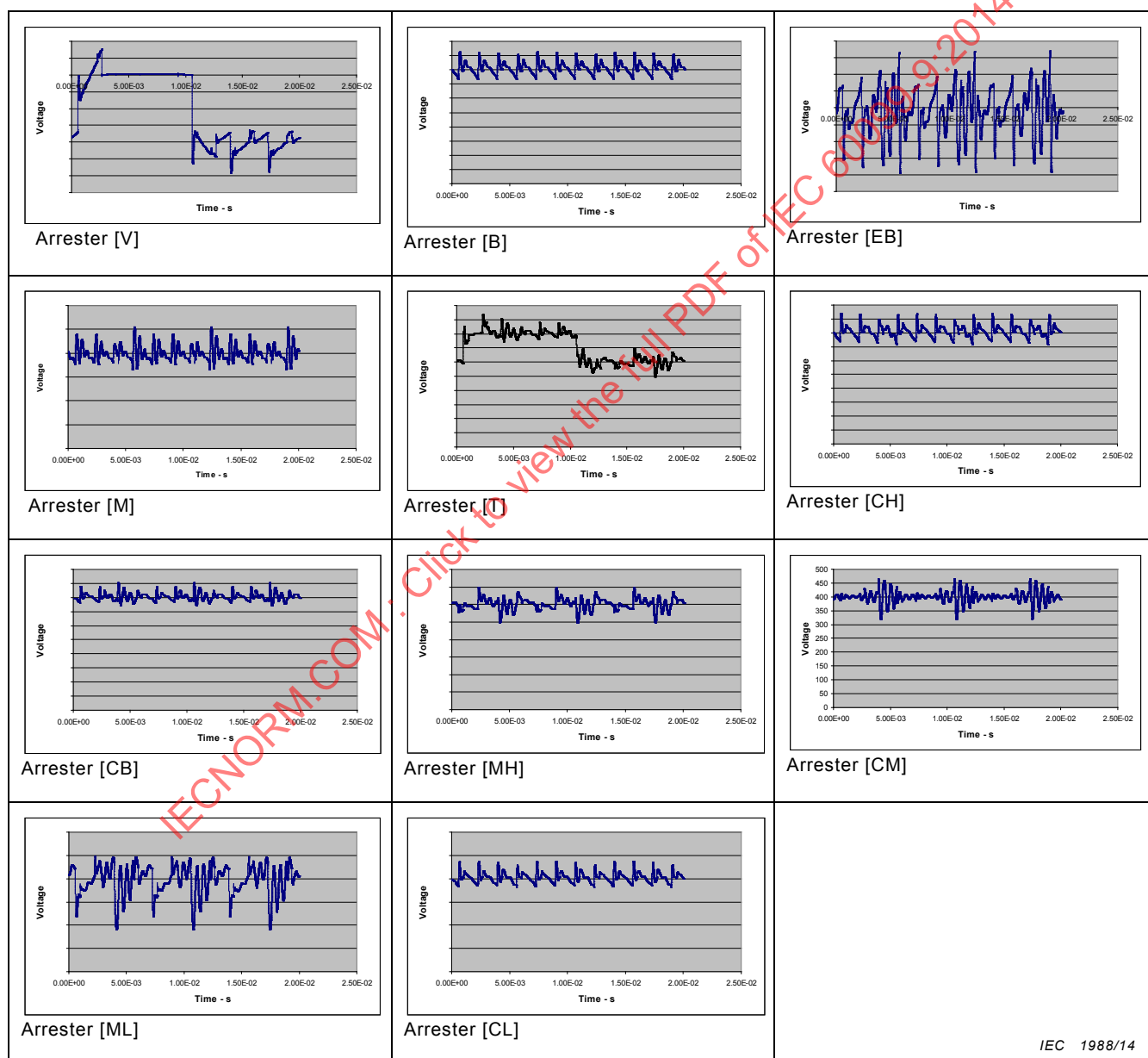
D'autres configurations de circuit sont illustrées aux Figures D.1 et D.2 de l'Annexe D.



## Légende

| Anglais     | Français    |
|-------------|-------------|
| Arrester    | Parafoudre  |
| d.c. filter | Filtre c.c. |
| a.c. filter | Filtre c.a. |
| Voltage     | Tension     |
| Time        | temps       |

**Figure 4 – Tensions de régime permanent typiques pour différents parafoudres – modélisation à basse fréquence (emplacement selon Figures 1 à 3, fréquence fondamentale de 50 Hz)**



**Légende**

| Anglais  | Français   |
|----------|------------|
| Arrester | Parafoudre |
| Voltage  | Tension    |
| Time     | temps      |

**Figure 5 – Tensions de régime permanent typiques pour différents parafoudres – modélisation à haute fréquence (emplacement selon Figures 1 à 3, fréquence fondamentale de 50 Hz)**

## 5 Identification et classification

### 5.1 Identification des parafoudres

Les parafoudres à oxyde métallique pour les applications CCHT doivent être définis au moins au moyen des indications minimales suivantes qui doivent figurer sur une plaque signalétique placée en permanence sur le parafoudre:

- tension de régime permanent, le cas échéant, définie par
  - CCOV
  - PCOV
  - DCOV
  - ECOV
- tension assignée;
- courant assigné de tenue au court-circuit en kiloampères (kA). Pour les parafoudres pour lesquels aucune caractéristique assignée de tenue en court-circuit n'est déclarée, la marque «0» doit être indiquée;
- tension résiduelle au courant de coordination spécifié (le cas échéant) donnée en x kV à y kA;
- nom du constructeur ou marque de fabrique, type et repères d'identification du parafoudre complet;
- repères d'identification de l'emplacement de l'élément dans l'assemblage (pour les parafoudres à plusieurs éléments uniquement);
- année de construction;
- numéro de série;
- pour les parafoudres GIS (blindés), la pression de gaz assignée pour une isolation à une température de 20 °C.

### 5.2 Classification des parafoudres

Les parafoudres, couverts par la présente norme, sont classés par leur emplacement et l'objectif de protection principal (par exemple, parafoudre de valve, parafoudre de bus c.c., parafoudre de bus neutre, etc.).

## 6 Conditions de service

### 6.1 Conditions normales de service

Les parafoudres conformes à la présente norme doivent pouvoir fonctionner dans les conditions normales de service suivantes:

- a) pour une installation extérieure, la température ambiante se situe dans la plage -40 °C à +40 °C;

- b) rayonnement solaire de 1,1 kW/m<sup>2</sup> au maximum;
- c) pour une installation intérieure dans des compartiments de valves, la température ambiante se situe dans la plage +5 °C à +60 °C. La température dans les compartiments de valves peut être réglée à une valeur inférieure à 60 °C qui, dans ce type de cas, peut être prise en compte lors de la détermination de la température de départ dans l'essai de récupération thermique (voir 9.14.3.2 et Annexe B);
- d) altitude ne dépassant pas 1 000 m;
- e) vitesse du vent  $\leq 34$  m/s;
- f) montage vertical;
- g) tension appliquée de façon continue entre les bornes du parafoudre ne dépassant pas sa tension de régime permanent.

## 6.2 Conditions anormales de service

Les parafoudres destinés à des utilisations différentes ou soumis à des conditions de service autres que les conditions normales peuvent exiger une étude spéciale pour leur conception, leur fabrication ou leur utilisation. L'utilisation de la présente norme en cas de conditions anormales de service est sujette à un accord entre le constructeur et l'utilisateur. Les conditions anormales de service possibles sont les suivantes:

- a) température supérieure à +40 °C pour une installation extérieure et supérieure à +60 °C pour des installations intérieures ou inférieures à –40 °C;
- b) utilisations à des altitudes supérieures à 1 000 m;
- c) gaz ou vapeurs qui peuvent causer la détérioration de la surface isolante ou des supports métalliques;
- d) pollution excessive par la fumée, des dépôts, le brouillard salin ou autres matières conductrices;
- e) exposition excessive au brouillard, à l'humidité, aux gouttes d'eau ou à la vapeur;
- f) lavage du parafoudre sous tension;
- g) mélanges explosifs de poussières, gaz ou fumées;
- h) conditions mécaniques anormales (tremblements de terre (voir C.2), vibrations, vitesse du vent > 34 m/s, charges de glace importantes, contraintes de flexion élevées);
- i) conditions anormales de transport ou de stockage;
- j) sources de chaleur à proximité du parafoudre;
- k) montage non vertical et montage suspendu;
- l) effort de torsion appliqué au parafoudre;
- m) effort de traction appliqué au parafoudre;
- n) utilisation du parafoudre comme support mécanique;
- o) champs magnétiques élevés dus au voisinage immédiat des inductances.

## 7 Exigences

### 7.1 Tenue diélectrique de l'enveloppe du parafoudre

Le parafoudre doit être conçu de sorte que les enveloppes soient capables de résister de manière appropriée aux tensions lors de la conduction des courants de choc de foudre et de manœuvre, et à une fréquence industrielle maximale anticipée et des surtensions continues. La capacité de tenue diélectrique externe des enveloppes des parafoudres à enveloppe en porcelaine et synthétique doit être démontrée par des essais selon 9.2 et la capacité de tenue diélectrique des parafoudres blindés doit être soumise à essai conformément au 11.7.4.2, tandis que la capacité de tenue diélectrique interne doit être démontrée par des essais selon 9.15 ou 9.14.3.1.

## 7.2 Tension de référence

La tension de référence ( $U_{\text{refAC}}$  ou  $U_{\text{refDC}}$ ) (voir 3.48 et 3.49) de chaque parafoudre doit être mesurée par le constructeur au courant de référence ( $I_{\text{refAC}}$  ou  $I_{\text{refDC}}$ ) sélectionné par ses soins (voir 3.46 et 3.47). La valeur minimale de la tension de référence du parafoudre pour le courant de référence utilisé lors des essais individuels de série doit être spécifiée et elle doit figurer parmi les informations fournies par le constructeur.

## 7.3 Tension résiduelle

Le but des mesures des tensions résiduelles est de connaître les valeurs maximales de ces tensions résiduelles pour un type donné et pour tous les courants et formes d'onde spécifiés. Ces valeurs sont déduites du résultat des essais de type ainsi que de la valeur spécifiée et publiée par le constructeur pour la tension résiduelle maximale sous le courant de choc de foudre utilisé lors des essais individuels de série.

La tension résiduelle maximale d'un parafoudre de type donné, pour un courant et une forme d'onde donnés, est calculée en multipliant la tension résiduelle des fractions soumises à essai lors des essais de type par un facteur d'échelle spécifique. Le facteur d'échelle est égal au rapport entre la tension résiduelle maximale déclarée, telle que vérifiée pendant les essais individuels de série, et la tension résiduelle mesurée sur les fractions pour le même courant et la même forme d'onde.

La documentation du constructeur doit contenir, pour chaque parafoudre énuméré, les informations suivantes concernant la tension résiduelle:

- la tension résiduelle maximale de choc de foudre au courant de coordination des chocs de foudre du parafoudre (voir 9.10.3);
- la tension résiduelle maximale de choc de manœuvre au courant de coordination des chocs de manœuvre du parafoudre (voir 9.10.4);
- la tension résiduelle maximale de choc de courant à front raide, à l'exclusion de la contribution de tension inductive, pour un courant de choc dont la valeur de crête est égale au courant de coordination des chocs à front raide du parafoudre (voir 9.10.2);
- la tension résiduelle maximale de choc de courant à front raide, y compris la contribution de tension inductive, pour un courant de choc dont la valeur de crête est égale au courant de coordination des chocs à front raide du parafoudre. Cette tension résiduelle doit être égale à

la tension résiduelle maximale de choc de courant à front raide (voir 9.10.2), à l'exclusion de la contribution de tension inductive + amplitude de la chute de tension inductive ( $U_L$ )

où  $U_L$  est calculée comme suit:

$$U_L = L \times di/dt = L' \times h \times I_{\text{stico}}/T_f$$

où

$U_L$  est la valeur de crête de la chute de tension inductive (kV);

$L'$  est l'inductance par unité de longueur ( $\mu\text{H}/\text{m}$ );

$L' = 1$  pour les parafoudres de type intérieur et de type extérieur, à l'exception du parafoudre de valve;

$L' = 0,6$  pour les parafoudres de valve lorsqu'ils sont situés au voisinage immédiat (à une distance de quelques mètres) des thyristors;

$L' = 0,3$  pour les parafoudres blindés ou GIS;

$h$  est la longueur du parafoudre de borne à borne (m);

$T_f$  est le temps de front du choc de courant à front raide, qui vaut  $1 \mu\text{s}$ ;

$I_{\text{stico}}$  est le courant de coordination des chocs à front raide (kA).

NOTE La contribution de la chute de tension inductive est importante uniquement pour les chocs de courant à front raide. Elle augmente en effet le niveau de protection du parafoudre au-delà de la tension résiduelle de

choc de courant à front raide des seules résistances MO, déterminée à partir de 9.10.2. La tension résiduelle maximale de choc de courant à front raide, y compris la contribution de la tension inductive, est fournie aux utilisateurs qui souhaitent réaliser des études de coordination de l'isolement.

#### **7.4 Décharge partielle interne**

Dans des conditions normales de fonctionnement en environnement sec, les décharges partielles internes doivent être inférieures à un niveau susceptible de provoquer l'endommagement des parties internes. Ceci doit être démontré par des essais selon 9.4.

#### **7.5 Taux de fuite de l'étanchéité**

Pour les parafoudres avec volume interne de gaz et système séparé d'étanchéité, des taux de fuite de l'étanchéité doivent être spécifiés comme cela est défini au 9.8 et au point d) de 10.1.

#### **7.6 Répartition du courant dans un parafoudre à plusieurs colonnes et entre des parafoudres adaptés**

Le constructeur doit spécifier la différence la plus grande admise entre les courants dans les colonnes d'un parafoudre à plusieurs colonnes, voir point e) de 10.1, et entre les courants des parafoudres d'un ensemble de parafoudres adaptés, voir point f de 10.1.

#### **7.7 Stabilité à long terme sous une tension de régime permanent**

Les résistances MO doivent être soumises à un essai de vieillissement accéléré afin de s'assurer qu'elles présentent des conditions stables sur la durée de vie anticipée du parafoudre (voir 9.11).

#### **7.8 Tenue au transfert de charges répétitives**

Les parafoudres doivent supporter des transferts de charges répétitives suivant les modalités décrites pour les essais de type (voir 9.12).

La tenue au transfert de charges répétitives est démontrée sur des résistances MO individuelles dans l'essai destiné à vérifier les caractéristiques assignées de transfert de charges répétitives (voir 9.12.2).

Du fait du grand nombre de résistances MO impliquées dans des configurations CCHT, et afin d'en assurer la validité, la capacité de transfert de charges doit être vérifiée par des essais réalisés en fonction des configurations mais ne devant pas être effectués plus d'une fois par an ou par des essais d'échantillons réalisés sur chaque lot fabriqué de résistances MO utilisées pour ces types de configurations.

NOTE Il peut exister des applications particulières pour lesquelles les transferts de charges simples provoquent des dissipations d'énergie supérieures aux caractéristiques assignées d'énergie thermique de même nature.

#### **7.9 Capacité d'énergie thermique**

Les parafoudres, à l'exception de ceux avec une tension de régime permanent non significative (3.34), doivent avoir des caractéristiques assignées d'énergie thermique suivant les modalités décrites par des essais de type (9.14).

#### **7.10 Comportement aux courants de court-circuit**

Le constructeur doit déclarer des caractéristiques assignées de courant de court-circuit pour chaque famille de parafoudres. La valeur assignée "zéro" peut être revendiquée uniquement pour les applications avec des courants de court-circuit prévus inférieurs à 1 kA. Dans ce cas, la valeur "0" doit être indiquée sur la plaque signalétique (voir 5.1). Dans tous les cas, le parafoudre doit être soumis à un essai de court-circuit selon 9.3 pour montrer qu'il ne connaît pas de défaillance telle qu'elle occasionne de violentes vibrations de l'enveloppe et que

l'auto-extinction de flammes nues (s'il y en a) se produise au cours d'une période de temps définie.

Pour les parafoudres blindés, la conception des enveloppes métalliques doit répondre aux exigences du 5.103 de l'IEC 62271-203:2011 ou du 5.102 de l'IEC 62271-200:2011. Si le parafoudre comporte une enceinte interne séparée avec un limiteur de pression autre que celui de l'enveloppe métallique, le paragraphe 9.3 s'applique. Dans ce cas, il est nécessaire de réaliser un essai uniquement avec le courant assigné de court-circuit.

### **7.11 Exigences pour les éléments de répartition internes**

Les éléments de répartition internes, s'ils sont utilisés dans le parafoudre, doivent être capables de résister à la combinaison de contraintes qui apparaissent en service, et l'impédance des éléments de répartition doit également montrer une stabilité suffisante au cours de la durée de vie en service. Ceci doit être démontré par l'essai de vérification des caractéristiques assignées d'énergie thermique (voir 9.14.3) réalisé avec des éléments de répartition internes inclus dans les fractions d'essai.

De plus, les éléments doivent résister aux essais de vieillissement accéléré et aux essais cycliques spécifiés au 9.16.

NOTE Lorsque le parafoudre a une tension de régime permanent non significative, le Paragraphe 9.15 s'applique en lieu et place du Paragraphe 9.14.3.

### **7.12 Efforts mécaniques**

#### **7.12.1 Généralités**

Le constructeur doit, à l'exception des parafoudres blindés, spécifier les efforts en tête maximums admissibles applicables lors de l'installation et en service, tels que des efforts de flexion, de torsion et de traction.

#### **7.12.2 Moment de flexion**

Le parafoudre doit être capable de résister aux valeurs des efforts de flexion déclarées par le constructeur (voir 9.5).

Lors de la détermination de l'effort mécanique appliqué à un parafoudre, il convient que l'utilisateur prenne en compte par exemple, le vent, la glace et les forces électromagnétiques susceptibles d'affecter l'installation.

Il convient que les parafoudres emballés résistent aux contraintes de transport définies par l'utilisateur conformément à l'IEC 60721-3-2, qui ne soient jamais inférieures à la classe 2M1.

NOTE Contrairement aux parafoudres à enveloppe en porcelaine, les parafoudres à enveloppe synthétique peuvent présenter des déformations mécaniques en service.

#### **7.12.3 Résistance aux contraintes d'environnement**

Le parafoudre doit être capable de résister aux contraintes d'environnement définies au 9.6.

#### **7.12.4 Embase isolante**

Lorsqu'un parafoudre est fixé sur une embase isolante, ce dispositif doit résister aux exigences de l'essai de moment de flexion (9.5) sans dommage.

### 7.12.5 Valeur de l'effort moyen à la rupture (MBL)

Pour les parafoudres à enveloppe en porcelaine, le MBL doit être  $\geq$  à 1,2 fois l'effort à court terme spécifié (SSL) (voir 9.5.1.4.1). Ceci doit être démontré dans l'essai de moment de flexion décrit au 9.5.

### 7.13 Compatibilité électromagnétique

Les parafoudres ne sont pas sensibles aux perturbations électromagnétiques et aucun essai d'immunité n'est donc nécessaire.

Dans des conditions normales de fonctionnement en environnement sec, les parafoudres ne doivent pas émettre de perturbations significatives. Pour les parafoudres avec une tension de régime permanent supérieure à une valeur de crête de 100 kV, ceci doit être démontré par un essai aux tensions perturbatrices RF (RIV – radio interference voltage) selon 9.9. Si le parafoudre est installé avec un potentiel élevé à la terre, il convient de prendre ceci en considération.

### 7.14 Fin de cycle

À la demande des utilisateurs, chaque constructeur doit fournir des informations suffisantes pour que tous les composants du parafoudre puissent être mis au rebut et/ou recyclés conformément aux règlements internationaux et nationaux.

## 8 Conditions générales d'exécution des essais

### 8.1 Appareillage de mesure et précision

L'appareillage de mesure doit satisfaire aux exigences de l'IEC 60060-2. Les valeurs obtenues doivent être acceptées comme valeurs précises à des fins de conformité aux articles d'essai pertinents. Sauf indication contraire, tous les essais aux tensions à fréquence industrielle doivent être effectués sous une tension alternative ayant une fréquence comprise entre les limites de 48 Hz et 62 Hz et une forme d'onde pratiquement sinusoïdale.

### 8.2 Mesures de la tension de référence

La tension de référence d'un parafoudre (voir 3.48 et 3.49) est mesurée au courant de référence (voir 3.46 et 3.47) sur des fractions et des éléments lorsque cela est nécessaire. Cette mesure doit être effectuée à une température ambiante de  $20\text{ °C} \pm 15\text{ °K}$  et cette température doit être enregistrée.

On peut considérer comme une approximation acceptable, pour la mesure de la tension de référence alternative, de remplacer la valeur de crête de la composante résistive du courant par la valeur instantanée du courant au moment de la crête de tension.

### 8.3 Échantillons pour essai

#### 8.3.1 Généralités

Sauf spécification contraire, tous les essais doivent être effectués sur les mêmes parafoudres, fractions ou éléments de parafoudres. Ces matériels doivent être neufs, propres, complètement montés (par exemple, avec les anneaux de garde s'ils sont utilisés) et installés dans des conditions simulant le plus fidèlement possible les conditions de service.

Pour les essais qui impliquent la vérification de la stabilité thermique, les fractions doivent contenir le plus grand nombre de colonnes parallèles de résistances MO assemblées dans une enveloppe de parafoudre pour la configuration réelle.

Lorsque les essais sont effectués sur des fractions, il est nécessaire que ces dernières reproduisent le comportement de tous les parafoudres possibles, dans les limites de tolérance du constructeur, en ce qui concerne un essai particulier.

Généralement, les échantillons utilisés pour vérifier les caractéristiques assignées de transfert de charges répétitives (voir 9.12) doivent couvrir la tension résiduelle la plus élevée spécifiée pour le type de résistances MO utilisées dans le parafoudre. Dans l'essai de vérification des caractéristiques assignées d'énergie thermique (9.14), les échantillons pour essai doivent en général couvrir une valeur de tension de référence à l'extrémité inférieure de la plage de variation déclarée par le constructeur. Dans le cas de parafoudres à plusieurs colonnes, la valeur la plus élevée d'une répartition inégale de courant doit être prise en compte. Pour satisfaire à ces spécifications, les conditions suivantes doivent être satisfaites.

- a) Le rapport entre la tension assignée du parafoudre complet et la tension assignée de la fraction est appelé  $n$ . Le volume des varistances utilisées comme échantillons pour essai ne doit pas être supérieur au volume minimal de l'ensemble des varistances utilisées dans le parafoudre complet divisé par  $n$ .
- b) Il convient que la tension de référence de la fraction d'essai soit égale à  $k \times U_r/n$ , où  $k$  est le rapport entre la tension minimale de référence du parafoudre et sa tension assignée. Si, pour un échantillon pour essai disponible,  $U_{ref} > k \times U_r/n$ , le facteur  $n$  doit être réduit en conséquence. (Si  $U_{ref} < k \times U_r/n$ , le parafoudre peut absorber trop d'énergie. Une telle fraction ne peut être utilisée qu'après accord du constructeur).
- c) Pour les parafoudres à plusieurs colonnes, la répartition du courant entre les colonnes doit être mesurée au courant de choc utilisé pour l'essai de répartition du courant (voir point e) de 10.1). La valeur de courant la plus élevée ne doit pas être supérieure à la limite maximale spécifiée par le constructeur. De plus, pour les essais qui sont à réaliser sur les fractions d'essai avec plusieurs colonnes, l'énergie de décharge doit être augmentée d'un facteur  $\beta_g/\beta_a$  où  $\beta_g$  est le facteur de partage du courant garanti et  $\beta_a$  est le facteur de partage du courant réel pour la fraction d'essai. Lorsque l'essai est réalisé sur de simples colonnes, l'énergie doit être augmentée d'un facteur  $\beta_g$ .
- d) Les échantillons utilisés pour l'essai de vérification des caractéristiques assignées de transfert de charges répétitives doivent être de la plus grande longueur du type de résistances MO utilisées dans le modèle et doivent avoir une contrainte de tension résiduelle 10 kA non inférieure à  $0,97 \times (U_{10 \text{ kA}} \text{ par mm de longueur de résistance MO})_{\max}$ , où  $(U_{10 \text{ kA}} \text{ par mm de longueur de résistance MO})_{\max}$  est la contrainte de tension résiduelle 10 kA la plus élevée spécifiée par le constructeur pour toute longueur du type de résistances MO utilisées dans le parafoudre. Lorsque seuls des échantillons de contrainte de tension résiduelle inférieure à 10 kA sont disponibles, la charge transférée exigée doit être augmentée pour l'essai par le facteur  $(U_{10 \text{ kA}} \text{ par mm de longueur de résistance MO})_{\max} / (U_{10 \text{ kA}} \text{ par mm de longueur de résistance MO})_{\text{réelle}}$ .
- e) La tension de régime permanent, y compris CCOV, PCOV et DCOV le cas échéant, appliquée aux fractions d'essai pour vérifier la récupération thermique doit satisfaire aux exigences suivantes:
  - Le rapport entre les CCOV, PCOV et DCOV (le cas échéant) et la tension assignée de la fraction ne doit pas être inférieur au rapport maximum revendiqué pour le type de parafoudre.

### 8.3.2 Exigences pour les fractions de parafoudre

#### 8.3.2.1 Fraction thermiquement distribuée au prorata

La fraction de parafoudre pour les essais de récupération thermique doit représenter thermiquement le parafoudre modélisé. L'équivalence thermique doit être vérifiée selon la procédure d'essai spécifiée à l'Annexe A.

La tension de régime permanent de la fraction distribuée au prorata doit être une tension de crête d'au moins 3 kV.

Pour obtenir une équivalence thermique, il peut être nécessaire d'introduire des composants qui ne font habituellement pas partie intégrante du modèle. Il est nécessaire de s'assurer que ces mesures n'affectent pas la rigidité diélectrique de l'échantillon au cours de l'injection de l'énergie ou de la charge.

Une fraction thermiquement distribuée au prorata peut également être un parafoudre réel du modèle.

Dans le cas de modèles avec deux colonnes MO ou plus montées en parallèle, la fraction thermiquement distribuée au prorata doit contenir le même nombre de colonnes parallèles que le parafoudre réel.

Sur accord entre le constructeur et l'utilisateur, la fraction thermiquement distribuée au prorata d'un parafoudre de type à plusieurs colonnes peut contenir une seule colonne simple lorsque l'équivalence thermique est obtenue.

Pour les parafoudres blindés (selon 3.19) de type à plusieurs colonnes, la fraction thermiquement distribuée au prorata peut contenir une seule colonne simple lorsque l'équivalence thermique est obtenue.

Un schéma exact de la fraction thermiquement distribuée au prorata doit être publié dans le rapport d'essai.

Aucune exigence supplémentaire ne s'applique, notamment concernant la conception de la fraction distribuée au prorata. Par conséquent, il n'est pas nécessaire que la fraction thermiquement distribuée au prorata soit une tranche du parafoudre et ne contienne que le même matériau que le parafoudre. Cette fraction peut avoir une conception différente de celle du parafoudre modélisé, tant que l'on garantit l'équivalence thermique et une rigidité diélectrique suffisante pour l'injection de l'énergie et de la charge, respectivement.

Il peut ne pas être pratique, du fait de la conception interne habituellement très complexe des parafoudres blindés, de réaliser l'essai sur des échantillons pour essai avec de nombreuses colonnes de résistances MO montées en parallèle. Par ailleurs, il est plus réaliste d'obtenir l'équivalence thermique des parafoudres blindés avec des fractions de colonnes simples, que celle des parafoudres AIS en raison de leur caractéristique de refroidissement mieux adaptée. Par conséquent, pour les parafoudres blindés conformes au 3.19, les fractions à colonne simple sont acceptées si l'on peut démontrer l'équivalence thermique selon l'Annexe A.

#### **8.3.2.2 Fraction diélectriquement distribuée au prorata**

La fraction de parafoudre dédiée aux essais de rigidité diélectrique interne doit représenter une tranche du parafoudre modélisé, y compris les résistances MO, l'enveloppe et la structure de maintien.

La tension de régime permanent de la fraction distribuée au prorata doit être une tension de crête d'au moins 3 kV.

La fraction doit satisfaire aux exigences suivantes: elle doit être une reproduction exacte du parafoudre réel en termes de diamètres, matériaux, etc. La structure de maintien mécanique doit être incluse. Les éléments situés uniquement aux positions réparties dans le parafoudre modélisé, tels que les supports de distance et les entretoises, doivent être présents dans le modèle. La partie active doit avoir le même milieu environnant que le parafoudre réel.

Une fraction diélectriquement distribuée au prorata peut également être un parafoudre réel ou un élément de parafoudre du modèle.

Un schéma exact de la fraction diélectriquement distribuée au prorata doit être publié dans le rapport d'essai.

Pour les parafoudres blindés, l'article ne s'applique pas. Les composants internes d'un parafoudre blindé doivent être soumis à essai conformément à l'IEC 60099-4.

### 8.3.2.3 Fraction pour les essais de tension résiduelle

La fraction de parafoudre dédiée aux essais de tension résiduelle doit être un élément de parafoudre complet, une colonne de résistances MO connectées en série ou une résistance MO individuelle en air calme. Pour les parafoudres à plusieurs colonnes, la fraction peut être constituée du nombre réel de résistances MO ou de colonnes de résistances montées en parallèle, ou d'une seule résistance MO, voire d'une seule colonne de résistances, respectivement.

### 8.3.2.4 Fraction dédiée à l'essai de vérification des caractéristiques assignées de transfert de charges répétitives, $Q_{rs}$

La fraction de parafoudre dédiée à l'essai de vérification des caractéristiques assignées de transfert de charges répétitives,  $Q_{rs}$ , doit être une résistance MO individuelle en air calme, ou dans le milieu environnant réel du modèle. Le choix est laissé au constructeur.

## 9 Essais de type (essais de conception)

### 9.1 Généralités

Les essais de type définis dans le présent article s'appliquent à la fois aux parafoudres à enveloppe en porcelaine et aux parafoudres à enveloppe synthétique, sauf spécification contraire. Tous les essais et procédures d'essai valables pour la plupart des types de parafoudres pour les postes CCHT sont donnés dans le présent article. Les exceptions propres aux types de parafoudre spécifiques sont données à l'Article 11. Pour les parafoudres de bus/ligne c.c., les parafoudres blindés sont également pris en compte et couverts au 11.7.

NOTE Les essais avec une tension continue, par exemple, à 1,5 fois la tension continue nominale, ne sont pas spécifiés, dans la mesure où ces essais ne peuvent pas être réalisés avec les résistances MO installées et la conception interne est vérifiée par essai avec une autre configuration (voir 9.14.3.1 et 9.15). La tension de tenue continue pour une isolation externe est également relativement plus élevée que les tensions de tenue de manœuvre et de fréquence industrielle.

### 9.2 Essais de tenue diélectrique de l'enveloppe des parafoudres

#### 9.2.1 Généralités

Les essais de tenue à la tension démontrent la capacité de tenue à la tension de l'isolation externe de l'enveloppe des parafoudres. Pour d'autres configurations, il est nécessaire que l'essai fasse l'objet d'un accord entre le constructeur et l'utilisateur.

Les essais doivent être effectués dans les conditions et sous les tensions d'essai spécifiées ci-dessous. Un essai de tension de tenue au choc de manœuvre peut se substituer à l'essai de tension de tenue à fréquence industrielle. Le choix est laissé au constructeur. La surface extérieure des parties isolantes doit être nettoyée soigneusement et les parties internes doivent être retirées ou remplacées comme spécifié plus en détail aux 9.2.2 et 9.2.3.

Lorsque les essais de tenue diélectrique réalisés sur d'autres matériels comprennent les parafoudres, par exemple, essai réalisé sur les valves à thyristors, aucun essai supplémentaire n'est exigé pour les parafoudres. Pour ce qui concerne l'enveloppe du parafoudre au cours de ces essais, les spécifications de 9.2.2 et 9.2.3 s'appliquent.

Lorsque l'une quelconque des conditions qui associent la distance d'amorçage d'arc à sec à la tension d'essai, comme cela est décrit au 9.2.6, 9.2.7 ou 9.2.8, est satisfaite, il n'est alors pas nécessaire de réaliser l'essai pertinent spécifié au 9.2.6, 9.2.7 ou 9.2.8, étant donné que, dans ces conditions, la tension de tenue diélectrique du parafoudre satisfait intrinsèquement aux exigences minimales.

### 9.2.2 Essais sur les enveloppes d'un élément individuel

Les essais applicables doivent être effectués sur la plus grande enveloppe de parafoudre. Si ceci ne représente pas la contrainte de tension spécifique par unité de longueur la plus élevée, des essais supplémentaires doivent être effectués sur l'enveloppe de l'élément ayant la plus forte contrainte de tension spécifique. Pour l'essai, les résistances MO doivent être retirées de l'enveloppe ou remplacées par des isolateurs.

### 9.2.3 Essais sur l'assemblage des enveloppes du parafoudre complet

Pour les parafoudres avec une tension CCOV  $\geq 250$  kV, les essais doivent être réalisés sur des parafoudres complets, à l'exception du fait que les résistances MO doivent être remplacées par des résistances, des condensateurs ou des résistances MO afin d'obtenir, approximativement, la même répartition de potentiel du parafoudre lors des décharges de courant élevées que celle qui serait obtenue par les résistances MO réelles utilisées dans le parafoudre. Lorsque l'on utilise des résistances MO, celles-ci doivent présenter une caractéristique de protection plus grande que les résistances MO réelles. La caractéristique des résistances MO doit être choisie de manière à obtenir au moins une tension de crête de 1 A au cours de l'essai de tenue diélectrique. Ceci signifie également que les résistances MO représentent une variante pour les essais de tension de choc de foudre et de manœuvre, mais non pour un essai de tension de tenue à fréquence industrielle. Les essais doivent être réalisés dans les conditions les plus réalistes possibles avec le parafoudre disposé sur un socle avec la hauteur minimale utilisée.

### 9.2.4 Caractéristiques de l'air ambiant pendant les essais

La tension à appliquer pendant un essai de tenue est définie en multipliant la tension de tenue spécifiée par le facteur de correction tenant compte de la densité de l'air et de l'humidité (voir IEC 60060-1).

La correction due à l'humidité ne doit pas être appliquée pour les essais sous pluie.

### 9.2.5 Modalités des essais sous pluie

L'isolation externe des parafoudres de type extérieur doit être soumise à des essais de tenue sous pluie suivant la procédure d'essai décrite dans l'IEC 60060-1.

### 9.2.6 Essai de tension de tenue au choc de foudre

Les parafoudres, à l'exception des parafoudres de condensateur conformes au 11.12 doivent être soumis à un essai à sec de tension de tenue au choc de foudre normal selon l'IEC 60060-1. La tension d'essai doit être au moins égale au:

- niveau de protection contre les chocs de foudre du parafoudre (voir 3.42) multiplié:
  - Pour les parafoudres de type extérieur et les parafoudres installés à l'intérieur, à des températures ambiantes moyennes maximales journalières (24 h) pendant un an  $T \leq 40$  °C, par  $1,1 \times e^{1000/8150}$ .
  - Pour les parafoudres installés à l'intérieur, à des températures ambiantes moyennes maximales journalières (24 h) pendant un an  $T > 40$  °C, par  $1,1 \times e^{1000/8150} \times (273 + T)/313$  où  $T$  est la température ambiante moyenne maximale en °C.

NOTE Les facteurs couvrent la variation des conditions atmosphériques et des courants de décharge supérieurs au courant de coordination. Pour une altitude de plus de 1 000 m (conditions anormales de service), "1 000" utilisé dans les formules est remplacé par l'altitude réelle.

Quinze chocs consécutifs à la valeur de la tension d'essai doivent être appliqués pour chaque polarité. Le parafoudre doit être considéré comme ayant satisfait à l'essai si aucune décharge disruptive interne n'a lieu et si le nombre de décharges disruptives externes ne dépasse pas deux pour chaque série de quinze chocs.

Si la distance d'amorçage d'arc à sec ou la somme des distances partielles d'amorçage d'arc à sec est supérieure à la tension d'essai divisée par 500 kV/m, cet essai n'est pas exigé.

### 9.2.7 Essai de tension de tenue au choc de manœuvre

- Les parafoudres avec une CCOV  $\geq 250$  kV doivent être soumis à un essai de tension de tenue au choc de manœuvre normal selon l'IEC 60060-1. Les parafoudres pour un usage extérieur doivent être soumis à un essai sous pluie, et les parafoudres pour un usage intérieur doivent être soumis à un essai à sec. La tension d'essai doit être au moins égale au:
  - Pour les parafoudres de type extérieur et les parafoudres installés à l'intérieur, à des températures ambiantes moyennes maximales journalières (24 h) pendant un an  $T \leq 40$  °C, par  $1,1 \times e^{m \times 1000/8150}$  où  $m$  est issue de l'IEC 60071-2:1996, Figure 9, isolation phase-terre, et où la valeur sur l'abscisse de la Figure 9 doit être égale à 1,1 fois le niveau de protection contre les chocs de manœuvre du parafoudre.
  - Pour les parafoudres installés à l'intérieur, à des températures ambiantes moyennes maximales journalières (24 h) pendant un an  $T > 40$  °C, par  $1,1 \times e^{m \times 1000/8150} \times [(273 + T)/313]^m$  où  $m$  est issue de l'IEC 60071-2:1996, Figure 9, isolation phase-terre, et où la valeur sur l'abscisse de la Figure 9 doit être égale à 1,1 fois le niveau de protection contre les chocs de manœuvre du parafoudre.
- niveau de protection contre les chocs de manœuvre des parafoudres (voir 3.42) multiplié:

NOTE 1 Les facteurs couvrent la variation des conditions atmosphériques et des courants de décharge supérieurs au courant de coordination. Pour une altitude de plus de 1 000 m (conditions anormales de service), "1 000" utilisé dans les formules est remplacé par l'altitude réelle.

Lorsque les exigences d'isolation des parafoudres calculées sur la base des éléments ci-dessus demeurent plus sévères que celles déterminées pour les matériels protégés, il convient que les mêmes niveaux d'isolation s'appliquent également pour les parafoudres.

Quinze chocs consécutifs à la valeur de la tension d'essai doivent être appliqués pour chaque polarité. Le parafoudre doit être considéré comme ayant satisfait à l'essai si aucune décharge disruptive interne n'a lieu et si le nombre de décharges disruptives externes ne dépasse pas deux pour chaque série de quinze chocs.

Si la distance d'amorçage d'arc à sec ou la somme des distances partielles d'amorçage d'arc à sec est plus grande que celle donnée par l'équation  $d = 2,2 \times [e^{(U/1069)} - 1]$ , où  $d$  est la distance en m et  $U$  est la tension d'essai en kV, cet essai n'est pas exigé.

NOTE 2 L'équation est issue de la formule G.3 de l'IEC 60071-2:1996, où  $U_{50}$  est donnée sous la forme  $k \times 1080 \times \ln(0,46 \times d + 1)$ ,  $k$  est le facteur d'écart et  $d$  est la distance. Pour les besoins de la présente norme, le facteur d'écart  $k$  est supposé être égal à 1,1, et deux écarts-types de 0,05 chacun sont pris en compte afin d'obtenir la tension de tenue.

### 9.2.8 Essai de tension de tenue à fréquence industrielle

Les parafoudres avec une CCOV  $< 250$  kV et les parafoudres de condensateur (11.12) doivent être soumis à un essai de tension de tenue à fréquence industrielle. Les enveloppes des parafoudres pour un usage extérieur doivent être soumises à un essai sous pluie, et celles des parafoudres pour un usage intérieur doivent être soumises à un essai à sec.

- La tension d'essai, avec une durée de 1 min, doit avoir une valeur de crête au moins égale:
  - Pour les parafoudres de type extérieur et les parafoudres installés à l'intérieur, à des températures ambiantes moyennes maximales journalières (24 h) pendant un an  $\leq 40$  °C, au niveau de protection contre les chocs de manœuvre (voir 3.42) multiplié par 1,06 ou au niveau de protection contre les chocs de foudre (voir 3.42) multiplié par 0,88.

- Pour les parafoudres installés à l'intérieur, à des températures ambiantes moyennes maximales journalières (24 h) pendant un an  $T > 40\text{ °C}$ , au niveau de protection contre les chocs de manœuvre (voir 3.42) multiplié par  $1,06 \times [(273 + T)/313]$  ou au niveau de protection contre les chocs de foudre (voir 3.42) multiplié par  $0,88 \times [(273 + T)/313]$ .

NOTE 1 Les facteurs 1,06 et 0,88 couvrent la variation des conditions atmosphériques et des courants de décharge supérieurs au courant de coordination. Le facteur 0,88 est obtenu à partir d'un facteur de coordination de 1,15, un facteur de conversion d'essai de 0,68 entre la tension de tenue au choc de foudre et la tension de tenue à fréquence industrielle, et un facteur d'altitude de 1,13. Le facteur 1,06 est obtenu à partir d'un facteur de coordination de 1,1, un facteur de conversion d'essai de 0,85 entre la tension de tenue au choc de manœuvre et la tension de tenue à fréquence industrielle, et un facteur d'altitude de 1,13.

L'enveloppe des parafoudres de condensateur (11.12) doit résister à une tension à fréquence industrielle dans des conditions humides pour les parafoudres destinés à un usage extérieur et en environnement sec pour les enveloppes de parafoudres destinés à un usage intérieur pendant une durée de 1 min et avec une valeur de crête égale au niveau de protection contre les chocs de manœuvre (voir 3.42) multipliée:

- Pour les parafoudres de type extérieur et les parafoudres installés à l'intérieur, à des températures ambiantes moyennes maximales journalières (24 h) pendant un an  $T \leq 40\text{ °C}$ , par 1,2.
- Pour les parafoudres installés à l'intérieur, à des températures ambiantes moyennes maximales journalières (24 h) pendant un an  $T > 40\text{ °C}$ , par  $1,2 \times [(273 + T)/313]$ .

Si la distance d'amorçage d'arc à sec ou la somme des distances partielles d'amorçage d'arc à sec est plus grande que celle donnée par l'équation  $d = [1,82 \times e^{(U/859)} - 1]^{0,833}$ , où  $d$  est la distance en m et  $U$  est la valeur de crête de la tension d'essai à fréquence industrielle en kV, cet essai n'est pas exigé.

NOTE 2 L'équation est issue de la formule G.1 de l'IEC 60071-2:1996, où la valeur de crête de  $U_{50}$  est donnée sous la forme  $750 \times \sqrt{2 \times \ln(1 + 0,55 \times d^{1,2})}$ ,  $d$  étant la distance. Suivant les recommandations de l'IEC 60071-2, pour les besoins de la présente norme, le facteur d'écart  $k$  est supposé être égal à 1, la tension de tenue est supposée être égale à 90 % de  $U_{50}$  et un facteur de réduction de 10 % de  $U_{50}$  est supposé pour les conditions humides par rapport à un environnement sec.

NOTE 3 Le facteur 1,2 est issu de l'IEC 60143-1.

### 9.3 Essais de court-circuit

Tous les parafoudres doivent être soumis aux essais conformément au présent paragraphe. L'essai doit être réalisé pour montrer qu'une défaillance du parafoudre ne donne pas lieu à une rupture explosive de l'enveloppe du parafoudre et que les flammes s'autoéteignent (le cas échéant) dans un délai défini. Chaque type de parafoudre est soumis à l'essai avec quatre valeurs de courants de court-circuit au maximum. Si le parafoudre est équipé d'un autre dispositif comme substitut d'un limiteur de pression conventionnel, ce dispositif doit être inclus dans l'essai.

Le parafoudre doit être soumis à essai conformément aux procédures et critères d'évaluation donnés dans l'IEC 60099-4 selon le type de conception auquel le parafoudre appartient selon la classification donnée dans l'IEC 60099-4.

Les courants d'essai doivent correspondre à 100 %, 50 % et 25 % du courant de court-circuit considéré le plus élevé. Un essai avec un courant de 600 A doit par ailleurs être réalisé. Les courants doivent être appliqués pendant la durée réelle, sauf pour l'essai réalisé avec un courant de 600 A eff. qui doit être appliqué pendant 1 s. Le rapport entre le premier pic de courant et la valeur efficace doit être conforme à l'IEC 60099-4 à l'exception du fait qu'il est admis d'utiliser le rapport réel pour les parafoudres de "conception A" selon l'IEC 60099-4.

NOTE 1 Si le courant assigné de court-circuit du parafoudre est vérifié selon l'IEC 60099-4, aucun essai supplémentaire n'est nécessaire lorsque

- le courant de court-circuit réel est inférieur ou égal au courant assigné de court-circuit et
- la durée réelle du courant de court-circuit ne dépasse pas 0,2 s.

NOTE 2 Lorsque le courant de court-circuit maximum réel est  $\leq 6$  kA eff., il n'est pas nécessaire de réaliser l'essai à 50 % et 25 % du courant maximum.

## 9.4 Essais de décharge partielle interne

L'essai doit être réalisé sur la fraction électrique de parafoudre la plus longue. Si cela ne correspond pas à la contrainte de tension spécifique par unité de longueur la plus élevée, des essais supplémentaires doivent être réalisés sur l'élément ayant la contrainte de tension spécifique la plus élevée. L'échantillon pour essai peut être protégé contre les décharges partielles externes.

NOTE 1 Il convient que la protection contre les décharges partielles externes ait des effets négligeables sur la répartition de tension.

Une tension à fréquence industrielle doit être utilisée pour l'essai et être la suivante:

- Pour les parafoudres de valve, la tension d'essai (valeur efficace) doit être égale à  $0,9/\sqrt{2}$  fois la tension PCOV.
- Pour les parafoudres de bus c.c., les parafoudres de ligne/câble c.c., les parafoudres installés sur un bus neutre situé sur le côté ligne/câble de l'inductance de lissage (lorsqu'elle existe), pour les parafoudres installés sur un bus neutre sans inductance de lissage sur ledit bus, pour les parafoudres de ligne d'électrodes et de retour métallique et pour les parafoudres installés sur inductance continue, la tension d'essai (valeur efficace) doit être égale à  $1,05/\sqrt{2}$  fois la tension PCOV. En variante, et au choix du constructeur, l'essai sur le parafoudre de bus c.c. et sur les parafoudres de ligne/câble c.c. peut être réalisé avec une tension continue égale à 1,05 fois la tension de réseau continue.
- Pour les parafoudres installés sur un bus neutre situé sur le côté convertisseur de l'inductance de lissage (lorsqu'elle existe), la tension d'essai doit être égale (valeur efficace) à  $1,0/\sqrt{2}$  fois la tension PCOV.
- Pour l'élément convertisseur et les parafoudres de bus c.c. à élément convertisseur, la tension d'essai (valeur efficace) doit être égale à  $0,95/\sqrt{2}$  fois la tension PCOV. Pour les parafoudres de bus c.c. médian, les parafoudres à pont médian, les parafoudres à élément convertisseur HT et BT et les parafoudres entre convertisseurs, la tension d'essai (valeur efficace) doit être égale à  $0,9/\sqrt{2}$  fois la tension PCOV.
- Pour les parafoudres d'enroulement de valve de transformateur, la tension d'essai (valeur efficace) doit être égale à  $0,9/\sqrt{2}$  fois la tension PCOV.
- Pour les parafoudres installés sur des filtres c.c. et c.a., la tension d'essai (valeur efficace) doit être égale à  $1,05/\sqrt{2}$  fois la tension PCOV.
- Pour les parafoudres de condensateur (11.12), la tension d'essai (valeur efficace) doit être égale à  $1,05/\sqrt{2}$  fois la tension PCOV.

La tension à fréquence industrielle doit être augmentée jusqu'à 1,05 fois la tension d'essai de l'échantillon, maintenue pendant 2 s à 10 s, puis réduite à la tension d'essai de ce même échantillon. À cette tension, le niveau de décharge partielle doit être mesuré conformément à l'IEC 60270. La valeur mesurée pour la décharge partielle interne ne doit pas dépasser 10 pC.

Lorsque l'essai est réalisé en tant qu'essai individuel de série sur des éléments de parafoudre ou des parafoudres complets, il n'est pas nécessaire de réaliser l'essai de type.

## 9.5 Essai de moment de flexion

### 9.5.1 Essai sur des parafoudres à enveloppe en porcelaine

#### 9.5.1.1 Généralités

La procédure d'essai complet est donnée dans le logigramme de l'Annexe C.

### 9.5.1.2 Présentation générale

Cet essai démontre la capacité du parafoudre à résister aux valeurs des efforts de flexion déclarées par le constructeur. Normalement, un parafoudre n'est pas conçu pour supporter un effort de torsion. Si un parafoudre est soumis à des efforts de torsion, un essai particulier peut être nécessaire après accord entre le constructeur et l'utilisateur.

L'essai doit être réalisé sur des éléments de parafoudres complets sans surpression interne. Pour les parafoudres à un seul élément, l'essai doit être réalisé sur l'élément le plus long du modèle. Si un parafoudre comporte plus d'un élément ou s'il supporte des moments de flexion spécifiés différents à chaque extrémité, l'essai doit être réalisé sur l'élément le plus long pour chacun des moments de flexion spécifiés, les charges étant déterminées selon C.1.

L'essai doit être réalisé en deux étapes, qui peuvent être réalisées sans ordre imposé:

- un essai de moment de flexion permettant de déterminer la valeur de l'effort moyen à la rupture (MBL);
- un essai de moment de flexion statique avec une charge d'essai égale à l'effort à court terme spécifié (SSL), c'est-à-dire 100 % de la valeur de C.3.

### 9.5.1.3 Préparation des échantillons

Une extrémité de l'échantillon doit être solidement fixée à une surface de montage rigide de l'appareillage d'essai et une charge doit être appliquée à l'autre extrémité (libre) de l'échantillon, de manière à produire le moment de flexion exigé à l'extrémité fixe. La direction de la charge doit traverser l'axe longitudinal du parafoudre et lui être perpendiculaire. Si le parafoudre n'est pas axisymétrique par rapport à sa résistance à la flexion, le constructeur doit fournir des informations concernant cette résistance non symétrique et la charge doit être appliquée selon un angle soumettant la partie la plus faible du parafoudre au moment de flexion maximum.

### 9.5.1.4 Procédure d'essai

#### 9.5.1.4.1 Procédure d'essai pour déterminer la valeur de l'effort moyen à la rupture (MBL)

Trois échantillons doivent être soumis aux essais. Si l'essai de vérification du SSL (voir 9.5.1.4.2) est réalisé en premier, les échantillons de cet essai peuvent alors être utilisés pour la détermination du MBL. Il n'est pas nécessaire que les échantillons pour essai contiennent leurs éléments internes. Pour chaque échantillon, l'effort de flexion doit être augmenté progressivement jusqu'à ce qu'il y ait rupture sur une période de 30 s à 90 s. "Rupture" signifie une fracture de l'enveloppe ainsi que les dommages que peuvent subir le dispositif de fixation ou les embouts d'extrémité.

L'effort moyen à la rupture, MBL, est calculé comme étant la valeur moyenne des efforts à la rupture des échantillons pour essai.

NOTE L'enveloppe d'un parafoudre peut éclater lorsqu'elle est soumise à une charge et peut représenter un danger en cas de manutention.

#### 9.5.1.4.2 Procédure d'essai de vérification de l'effort à court terme spécifié (SSL)

Trois échantillons doivent être soumis aux essais. Les échantillons pour essai doivent contenir leurs éléments internes. Avant les essais, chaque échantillon pour essai doit être soumis à un contrôle d'étanchéité (voir point d) de 10.1) et à un essai de décharge partielle interne (voir point c) de 10.1). Si ces essais ont déjà été réalisés comme essais individuels de série, il n'est pas nécessaire de les recommencer cette fois.

L'effort de flexion doit être augmentée progressivement sur chaque échantillon, jusqu'à la valeur du SSL avec une tolérance de  $^{+5}_{-0}\%$ , sur une période de 30 s à 90 s. Une fois atteinte,

la charge d'essai doit être maintenue pendant 60 s à 90 s. La déformation doit être mesurée pendant cette durée. Puis, la charge doit être progressivement relâchée et la déformation résiduelle doit être relevée. La déformation résiduelle doit être mesurée au cours de la période de 1 min à 10 min qui suit le relâchement de la charge.

NOTE L'enveloppe d'un parafoudre éclate lorsqu'elle est soumise à une charge et peut représenter un danger en cas de manutention.

#### 9.5.1.5 Évaluation de l'essai

Le parafoudre doit être considéré comme ayant satisfait à l'essai si

- la valeur de l'effort moyen à la rupture, MBL, est  $\geq 1,2 \times \text{SSL}$ ;
- pour l'essai SSL
  - il n'y a aucun dommage mécanique visible;
  - la déformation permanente restante est  $\leq 3 \text{ mm}$  ou  $\leq 10 \%$  de la déformation maximale pendant l'essai, selon la plus grande des deux valeurs;
  - les échantillons pour essai satisfont à l'essai d'étanchéité conformément au point d) de 10.1;
- le niveau de décharge partielle interne des échantillons pour essai ne dépasse pas la valeur spécifiée au point c) de 10.1.

#### 9.5.2 Essai sur les parafoudres à enveloppe synthétique

##### 9.5.2.1 Généralités

Cet essai s'applique aux parafoudres à enveloppe synthétique (avec et sans volume interne de gaz).

Les parafoudres sans valeur déclarée de résistance à la rupture en flexion doivent être soumis au préconditionnement en torsion selon 9.5.2.4.2.2, au préconditionnement thermique selon 9.5.2.4.2.4 et à l'essai d'immersion dans l'eau selon 9.5.2.4.3, lorsque les parafoudres sont situés à l'extérieur.

La procédure d'essai complet est donnée dans le logigramme de l'Annexe C.

##### 9.5.2.2 Présentation générale

Cet essai démontre la capacité du parafoudre à résister aux valeurs des efforts de flexion déclarés par le constructeur. Normalement, un parafoudre n'est pas conçu pour supporter un effort de torsion. Si un parafoudre est soumis à des efforts de torsion, un essai particulier peut être nécessaire après accord entre le constructeur et l'utilisateur.

L'essai doit être réalisé sur des éléments de parafoudres complets avec la tension assignée la plus élevée de l'élément. Pour les parafoudres à un seul élément, l'essai doit être réalisé sur l'élément le plus long avec la tension assignée la plus élevée de cet élément du modèle. Lorsqu'un parafoudre comporte plus d'un élément ou lorsqu'il supporte des moments de flexion spécifiés différents à chaque extrémité, l'essai doit être réalisé sur l'élément le plus long pour chacun des moments de flexion spécifiés différents, les charges étant déterminées selon C.1. Cependant, si la longueur de l'élément le plus long est supérieure à 800 mm, un élément plus court peut être utilisé, à condition de satisfaire aux exigences suivantes:

- la longueur est au moins égale à la valeur la plus grande de:
  - 800 mm
  - trois fois le diamètre extérieur de l'enveloppe (à l'exclusion des ailettes) à l'endroit où il pénètre les embouts d'extrémité;
- l'élément fait partie de la combinaison normale d'éléments utilisée dans la conception et n'est pas spécialement conçu pour l'essai;

- l'élément a la tension assignée la plus élevée de cet élément du modèle.

Un essai en trois étapes successives doit être réalisé sur trois échantillons comme suit:

- sur les trois échantillons pour essai, un essai cyclique de 1 000 cycles avec une charge d'essai égale à l'effort à long terme spécifié (SLL);
- sur deux des échantillons, un essai de moment de flexion statique avec une charge d'essai égale à l'effort à court terme spécifié (SSL), c'est-à-dire 100 % de la valeur de C.3 et sur le 3<sup>ème</sup> échantillon, un essai de Préconditionnement mécanique selon 9.5.2.4.2;
- sur l'ensemble des trois échantillons, un essai d'immersion dans l'eau selon 9.5.2.4.3.

La tolérance sur les charges spécifiées doit être de  $\begin{smallmatrix} +5 \\ -0 \end{smallmatrix} \%$ .

### 9.5.2.3 Préparation des échantillons

Les échantillons pour essai doivent contenir leurs éléments internes.

Avant l'essai, chaque échantillon pour essai doit être soumis aux essais suivants:

des essais électriques réalisés dans l'ordre suivant:

- pertes de puissance mesurées à la valeur ECOV et à une température ambiante de  $20\text{ °C} \pm 15\text{ K}$ ;
- un essai de décharge partielle interne selon le point c) de 10.1;
- un essai de tension résiduelle à (0,01 à 1) fois au moins le courant de coordination; la forme d'onde du courant doit être dans la gamme de  $T_1/T_2 = (4\text{ à }10)/(10\text{ à }25)\text{ }\mu\text{s}$ ;
- des essais d'étanchéité selon le point d) de 10.1 pour les parafoudres avec volume interne de gaz et système d'étanchéité séparé.

Si l'essai de décharge partielle selon le point c) de 10.1 et l'essai d'étanchéité selon le point d) de 10.1 ont été exécutés en tant qu'essais individuels de série, il n'est pas nécessaire de les recommencer cette fois.

Une extrémité de l'échantillon doit être solidement fixée à une surface de montage rigide de l'appareillage d'essai et une charge doit être appliquée à l'autre extrémité (libre) de l'échantillon, de manière à produire le moment de flexion exigé à l'extrémité fixe. La direction de la charge doit traverser l'axe longitudinal du parafoudre et lui être perpendiculaire. Si le parafoudre n'est pas axisymétrique par rapport à sa résistance à la flexion, le constructeur doit fournir des informations concernant cette résistance non symétrique et la charge doit être appliquée selon un angle soumettant la partie la plus faible du parafoudre au moment de flexion maximum.

### 9.5.2.4 Procédure d'essai

#### 9.5.2.4.1 Généralités

L'essai doit être réalisé sur trois échantillons. L'essai est réalisé en trois étapes.

Étape 1:

- Soumettre les trois échantillons à 1 000 cycles de moment de flexion, chaque cycle comprenant une application de charge partant de zéro pour atteindre l'effort à long terme spécifié (SLL) dans une direction, suivie d'une application de charge pour atteindre le SLL dans la direction opposée, suivie d'un retour à une charge nulle. Le mouvement cyclique doit être de forme approximativement sinusoïdale et avoir une plage de fréquences de 0,01 Hz à 0,5 Hz.

Du fait de la commande de la machine d'essai, un certain nombre de cycles peut être nécessaire avant d'obtenir le SLL. Le nombre maximal de ces cycles doit être spécifié par

le constructeur. Ces cycles ne doivent pas être comptabilisés dans les 1000 cycles exigés.

La déformation maximale au cours de l'essai, ainsi que toute déformation résiduelle doivent être relevées. La déformation résiduelle doit être mesurée au cours de la période de 1 min à 10 min qui suit le relâchement de l'effort.

#### Étape 2.1:

Soumettre deux des échantillons de l'étape 1 à un essai de moment de flexion. L'effort de flexion doit être augmenté progressivement jusqu'à atteindre l'effort à court terme spécifié (SSL) sur une période de 30 s à 90 s. Lorsque la charge d'essai est atteinte, elle doit être maintenue pendant 60 s à 90 s. La déformation doit être mesurée pendant cette durée. La charge doit ensuite être relâchée progressivement.

La déformation maximale au cours de l'essai, ainsi que la déformation résiduelle doivent être relevées. La déformation résiduelle doit être mesurée au cours de la période de 1 min à 10 min qui suit le relâchement de l'effort.

#### Étape 2.2:

Soumettre le troisième échantillon de l'étape 1 au préconditionnement mécanique/thermique selon 9.5.2.4.2.

#### Étape 3:

Soumettre les trois échantillons à l'essai d'immersion dans l'eau selon 9.5.2.4.3.

### 9.5.2.4.2 Préconditionnement mécanique/thermique

#### 9.5.2.4.2.1 Généralités

Ce préconditionnement fait partie de la procédure d'essai de 9.5.2.4 et doit être réalisé sur l'un des échantillons pour essai définis au 9.5.2.4.

#### 9.5.2.4.2.2 Préconditionnement en torsion

La torsion du parafoudre spécifiée par le constructeur doit être appliquée à l'échantillon pour essai pendant une durée de 30 s.

#### 9.5.2.4.2.3 Préconditionnement thermomécanique

Cette partie de l'essai s'applique seulement aux parafoudres pour lesquels une résistance à la rupture en flexion est déclarée.

L'essai ne s'applique pas aux parafoudres installés à l'intérieur dans des conditions ambiantes selon 6.1.

L'échantillon est soumis à l'effort à long terme spécifié (SLL) dans quatre directions et aux variations de température comme décrit aux Figures 6 et 7.

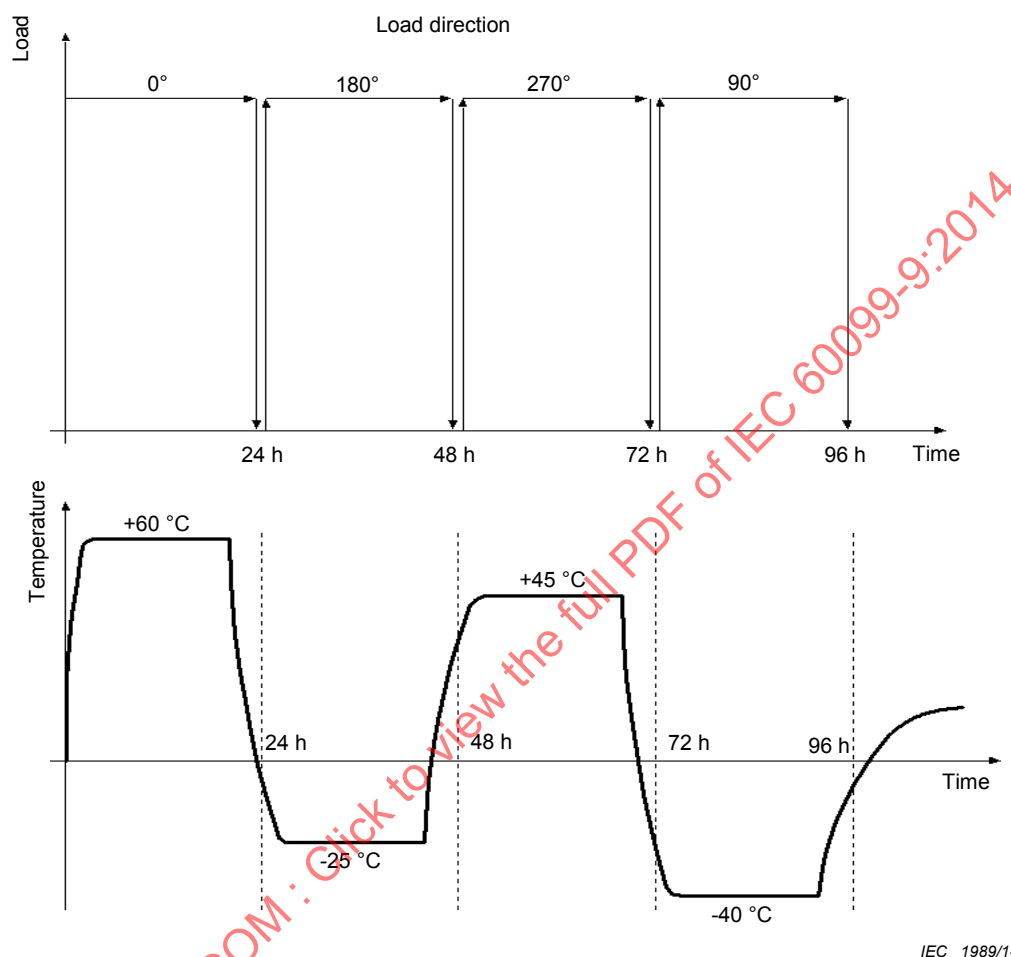
Si, dans des applications particulières, d'autres charges sont essentielles, les charges correspondantes doivent être appliquées en lieu et place des précédentes. La durée totale d'essai et le cycle de température doivent rester inchangés.

Les variations thermiques sont constituées de deux cycles de 48 h d'échauffement et de refroidissement comme cela est décrit à la Figure 6. La température des périodes chaudes et froides doit être maintenue pendant au moins 16 h. L'essai doit être réalisé à l'air libre. La température doit être mesurée dans l'air environnant à l'intérieur de l'enceinte d'essai.

L'effort mécanique statique appliqué doit être égal au SLL défini par le constructeur. Son orientation change toutes les 24 h à chacune des températures de transition du chaud au froid ou du froid au chaud, comme cela est décrit à la Figure 6.

L'essai peut être interrompu pour la maintenance pendant une durée totale de 4 h et être relancé après l'interruption. Le cycle reste valide.

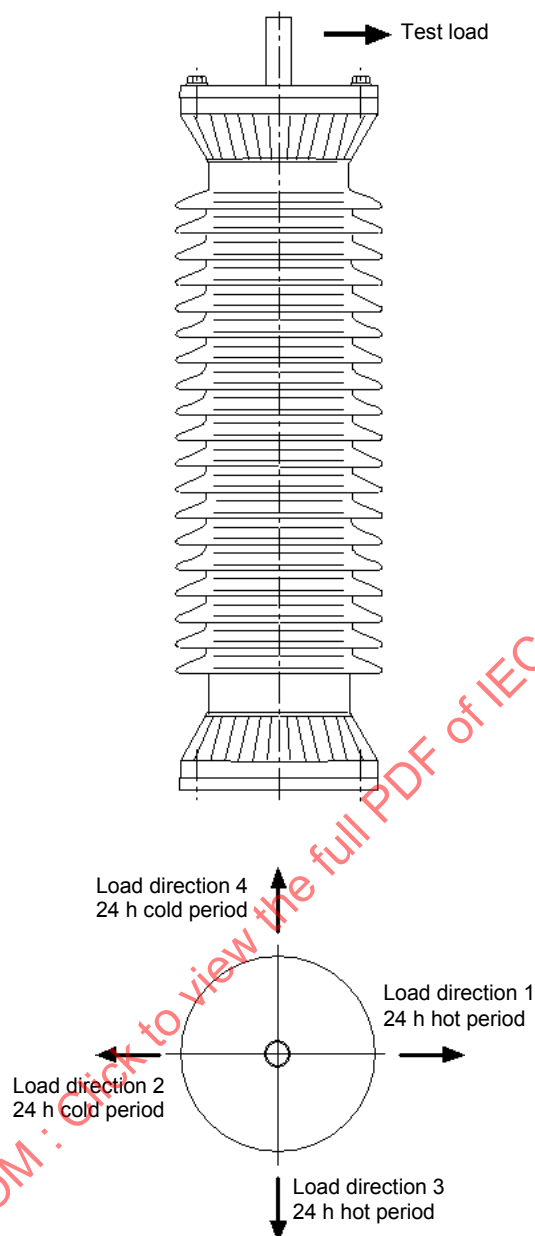
Toute déformation résiduelle mesurée à partir de la position initiale au repos doit être relevée. La déformation résiduelle doit être mesurée au cours de la période de 1 min à 10 min qui suit le relâchement de l'effort.



#### Légende

| Anglais        | Français                |
|----------------|-------------------------|
| Load           | Effort                  |
| Load direction | Orientation de l'effort |
| Temperature    | Température             |
| Time           | Temps                   |

**Figure 6 – Essai thermomécanique**



IEC 1965/14

**Légende**

| Anglais          | Français                |
|------------------|-------------------------|
| Test load        | Charge d'essai          |
| Load direction   | Orientation de l'effort |
| 24 h cold period | Période froide de 24 h  |
| 24 h hot period  | Période chaude de 24 h  |

**Figure 7 – Exemple de configuration pour l'essai thermomécanique et orientation de l'effort de flexion**

**9.5.2.4.2.4 Préconditionnement thermique**

Cette partie de l'essai s'applique seulement aux parafoudres pour lesquels aucune résistance à la rupture en flexion n'est déclarée.

L'essai ne s'applique pas aux parafoudres installés à l'intérieur dans des conditions ambiantes selon 6.1.

L'échantillon est soumis aux variations thermiques comme cela est décrit à la Figure 6, sans qu'aucune charge ne soit appliquée.

Les variations thermiques sont constituées de deux cycles de 48 h d'échauffement et de refroidissement comme cela est décrit à la Figure 6. La température des périodes chaudes et froides doit être maintenue pendant au moins 16 h. L'essai doit être réalisé à l'air libre.

#### 9.5.2.4.3 Essai d'immersion dans l'eau

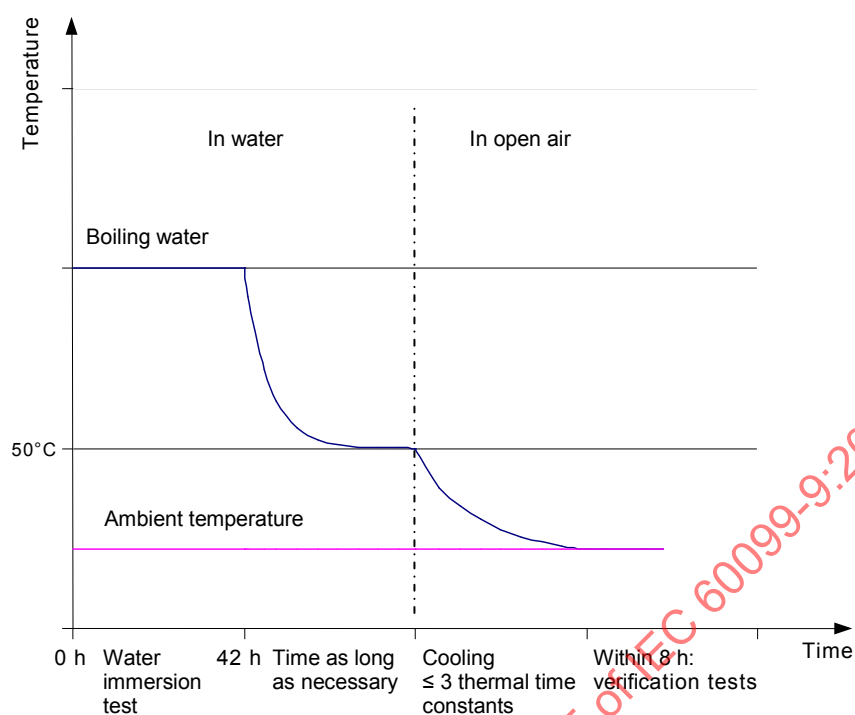
Cet essai ne s'applique pas aux parafoudres installés à l'intérieur, par exemple, dans des compartiments de valves.

Les échantillons pour essai doivent rester immergés pendant 42 h dans un récipient contenant de l'eau déminéralisée en ébullition, additionnée de 1 kg/m<sup>3</sup> de NaCl.

NOTE 1 Les caractéristiques de l'eau décrites ci-dessus sont celles mesurées en début d'essai.

NOTE 2 Cette température (eau en ébullition) peut être réduite à 80 °C (avec une durée minimale de 52 h) par accord entre l'utilisateur et le constructeur, si ce dernier indique que le matériau d'étanchéité utilisé n'est pas capable de résister à la température d'ébullition pendant 42 h. Cette valeur de 52 h peut être prolongée jusqu'à 168 h (c'est-à-dire une semaine) après accord entre le constructeur et l'utilisateur.

À la fin de l'ébullition, le parafoudre doit rester dans le récipient jusqu'à ce que l'eau refroidisse jusqu'à environ 50 °C et il doit être maintenu dans l'eau à cette température jusqu'à ce que les essais de vérification puissent être réalisés. On doit retirer le parafoudre de l'eau et le refroidir à la température ambiante pendant une durée maximale de trois constantes de temps thermiques de l'échantillon (issues des courbes de refroidissement de l'Annexe A). La température de maintien de 50 °C n'est requise que s'il est nécessaire de reporter les essais de vérification à l'issue de l'essai d'immersion dans l'eau comme indiqué à la Figure 8. Les essais d'évaluation doivent être réalisés dans le temps spécifié au 9.5.2.5. Après son retrait de l'eau, l'échantillon peut être lavé à l'eau du robinet.



IEC 1990/14

#### Légende

| Anglais                          | Français                                         |
|----------------------------------|--------------------------------------------------|
| Temperature                      | Température                                      |
| Boiling water                    | Eau en ébullition                                |
| In water                         | Dans l'eau                                       |
| In open air                      | A l'air libre                                    |
| Ambient temperature              | Température ambiante                             |
| Water immersion test             | Essai d'immersion dans l'eau                     |
| Time as long as necessary        | Durée aussi longue que nécessaire                |
| Cooling ≤ thermal time constants | Refroidissement ≤ Constantes de temps thermiques |
| Within 8 h                       | Dans un délai de 8 h                             |
| Verification tests               | Essais de vérification                           |
| Time                             | Temps                                            |

Figure 8 – Immersion dans l'eau

#### 9.5.2.5 Évaluation de l'essai

Les essais selon 9.5.2.3 doivent être répétés sur chaque échantillon pour essai.

Le parafoudre doit être considéré comme ayant satisfait à l'essai si les critères suivants sont satisfaits:

A l'issue de l'étape 2:

- il n'y a aucun dommage visible;
- la pente de la courbe effort-déformation demeure positive jusqu'à la valeur SSL, sauf pour des creux ne dépassant pas 5 % de l'amplitude du SSL. La fréquence d'échantillonnage des appareils de mesure numériques doit être d'au moins 10 s<sup>-1</sup>. La fréquence de coupure des appareils de mesure ne doit pas être inférieure à 5 Hz.

La déformation maximale au cours des étapes 1 et 2, ainsi que toute déformation permanente résiduelle à l'issue de l'essai doivent être relevées.

A l'issue de l'étape 3:

dans les 8 h qui suivent le refroidissement comme cela est décrit à la Figure 8:

- l'augmentation des pertes de puissance, mesurée à la tension ECOV et à une température ambiante qui ne s'écarte pas de plus de 3 K des mesures initiales, n'est pas supérieure à la valeur la plus élevée de 20 mW/kV de la tension ECOV (mesurée à la valeur ECOV) ou 20 %;
- la décharge partielle interne mesurée à une tension selon 9.4 ne dépasse pas 10 pC;

à tout moment, à l'issue des mesures des pertes de puissance et des décharges partielles:

- pour les parafoudres avec volume interne de gaz et système d'étanchéité séparé, les échantillons satisfont à l'essai d'étanchéité conformément au point d) de 10.1;
- la tension résiduelle mesurée sur l'échantillon complet, à la même valeur de courant et de forme d'onde que la mesure initiale, ne s'écarte pas de plus de 5 % de la valeur initialement mesurée;
- la différence de tension entre deux chocs successifs au courant de décharge de 10 kA ne dépasse pas 2 %, et les oscillogrammes de la tension et du courant ne révèlent aucun claquage partiel ou total de l'échantillon pour essai. La forme de l'onde de courant doit être comprise entre  $T_1/T_2 = (4 \text{ à } 10)/(10 \text{ à } 25) \mu\text{s}$ , et les chocs doivent être administrés à 50 s à 60 s d'intervalle.

NOTE Dans le cas de parafoudres de très grande longueur dans lesquels les résistances peuvent être démontées, cette partie de l'essai d'évaluation peut être réalisée sur les résistances individuelles ou sur les colonnes de résistances. Si les résistances ne peuvent pas être démontées, une procédure possible consisterait à percer un trou dans l'isolation du parafoudre pour établir un contact avec la colonne interne au niveau d'une entretoise métallique et de cette manière être en mesure de soumettre des fractions plus courtes de parafoudres aux essais.

- la variation de la tension de référence mesurée avant et après les deux essais de tension résiduelle ne dépasse pas 2 %.

## 9.6 Essais d'environnement

### 9.6.1 Généralités

Ces essais s'appliquent aux parafoudres à enveloppe en porcelaine. Ils ne s'appliquent pas aux parafoudres installés à l'intérieur, par exemple, dans des compartiments de valves ou c.c. dans des conditions ambiantes maîtrisées.

### 9.6.2 Présentation générale

Les essais d'environnement démontrent par des procédures d'essai accéléré que le système d'étanchéité et les combinaisons métalliques exposées du parafoudre ne sont pas affectés par les conditions d'environnement.

L'essai doit être réalisé sur des éléments de parafoudres complets de toute longueur.

Pour les parafoudres avec volume interne de gaz et système d'étanchéité séparé, les éléments internes peuvent être retirés.

Les parafoudres dont les éléments ne diffèrent qu'en longueur et qui sont par ailleurs de même conception, utilisent les mêmes matériaux et possèdent le même système d'étanchéité dans chaque élément, sont considérés comme étant du même type.

### 9.6.3 Préparation des échantillons

Avant les essais, l'échantillon pour essai doit être soumis au contrôle d'étanchéité du point d) de 10.1.

### 9.6.4 Procédure d'essai

#### 9.6.4.1 Généralités

Les essais spécifiés ci-après doivent être effectués sur un échantillon dans l'ordre indiqué.

#### 9.6.4.2 Essai de cycles de températures

L'essai doit être réalisé conformément à l'essai Nb de l'IEC 60068-2-14.

La période chaude doit correspondre à une température d'au moins +40 °C, mais sans dépasser +70 °C. La période froide doit correspondre à une température inférieure d'au moins 85 K à la température effectivement appliquée en période chaude; toutefois, la température la plus basse en période froide ne doit pas être inférieure à –50 °C:

- gradient de variation de température: 1 K/min;
- durée de chaque palier de température: 3 h;
- nombre de cycles: 10.

#### 9.6.4.3 Essai au brouillard salin

L'essai doit être effectué selon l'Article 4 et 7.6, le cas échéant, de l'IEC 60068-2-11:1981:

- concentration en solution saline: 5 % ± 1 % en masse;
- durée de l'essai: 96 h.

### 9.6.5 Évaluation de l'essai

Le parafoudre doit avoir satisfait aux essais s'il passe avec succès le contrôle d'étanchéité selon le point d) de 10.1.

## 9.7 Essai de vieillissement climatique

### 9.7.1 Généralités

Cet essai s'applique aux parafoudres à enveloppe synthétique installés à l'extérieur.

### 9.7.2 Éprouvettes

Cet essai a une durée de 1 000 h dans des conditions de brouillard salin. Il doit être effectué sur la fraction électrique la plus longue avec la ligne de fuite spécifique minimale et la tension assignée la plus élevée recommandée par le constructeur pour cette fraction.

### 9.7.3 Procédure d'essai

L'essai est un essai continu limité dans le temps réalisé dans des conditions de brouillard salin à une tension constante égale à la tension de régime permanent du parafoudre. La tension appliquée doit être une tension continue pour les parafoudres situés sur le côté c.c. du convertisseur et une tension alternative de 50 Hz ou 60 Hz pour les parafoudres situés sur le côté c.a. Pour les parafoudres soumis à une tension continue, la tension d'essai ne doit pas être inférieure à la tension DCOV du parafoudre.

Les parafoudres de filtre situés soit sur le côté c.c., soit sur le côté c.a. du convertisseur soumis à une tension alternative avec une fréquence supérieure à 50 Hz à 60 Hz doivent être

soumis à l'essai avec une tension alternative de 50 Hz à 60 Hz avec une amplitude au moins égale à la tension ECOV.

Cet essai est réalisé dans une enceinte d'essai étanche protégée contre la corrosion. Une ouverture n'excédant pas 80 cm<sup>2</sup> doit être ménagée pour l'évacuation naturelle de l'air. Un turbodiffuseur ou un humidificateur d'ambiance de capacité constante doit être utilisé en guise d'atomiseur d'eau.

Le brouillard doit remplir l'enceinte et ne pas être dirigé directement sur l'éprouvette. Le diffuseur doit être alimenté avec une eau salée préparée avec du NaCl et de l'eau déminéralisée. La tension d'essai à fréquence industrielle doit être obtenue à l'aide d'un transformateur d'essai. Le circuit d'essai chargé avec un courant résistif de 250 mA (eff.) côté haute tension doit présenter une chute de tension maximale de 5 %. Les informations sur la source c.c. nécessaire ne sont pas suffisantes et ne sont disponibles qu'à titre informatif. Par conséquent, lorsqu'il est soumis à l'essai avec une tension continue, il convient que le circuit d'essai chargé avec un courant de 250 mA côté haute tension présente une chute de tension maximale de 5 %.

Le niveau de protection doit être réglé à 1 A (eff.). L'éprouvette doit être nettoyée avec de l'eau déminéralisée avant le début de l'essai.

L'éprouvette doit être soumise à l'essai en position verticale. Un espace suffisant doit être ménagé entre le plafond, les parois de l'enceinte et l'éprouvette pour éviter toute perturbation du champ électrique. Ces informations doivent figurer dans les instructions d'installation publiées par le constructeur.

- Durée de l'essai 1 000 h
- Débit d'eau 0,4 l/h/m<sup>3</sup> ± 0,1 l/h/m<sup>3</sup>
- Taille des gouttelettes 5 µm à 10 µm
- Température 20 °C ± 5 °K
- Teneur en NaCl de l'eau entre 1 kg/m<sup>3</sup> et 10 kg/m<sup>3</sup>

Le constructeur doit recommander une valeur initiale pour le taux de salinité de l'eau. Le débit d'eau est défini en litres par heure et par mètre cube du volume de l'enceinte d'essai. La recirculation de l'eau n'est pas admise. Des interruptions de l'essai dues à des contournements sont admises. Si plus d'un contournement se produit, la tension d'essai est coupée. Toutefois, la pulvérisation du brouillard salin doit être poursuivie jusqu'à rinçage du parafoudre à l'eau du robinet. Chaque interruption du brouillard salin ne doit pas dépasser 15 min. L'essai doit ensuite être repris avec une valeur plus faible du taux de salinité de l'eau. Si deux contournements ou plus se produisent à nouveau, cette procédure doit être reprise. Ces périodes d'interruption ne doivent pas être comptabilisées dans la durée de l'essai.

La teneur en NaCl de l'eau, le nombre de contournements et la durée des interruptions doivent être enregistrés. Le nombre de contournements doit être noté et pris en compte dans l'évaluation de la durée de l'essai.

NOTE Dans cette plage de salinité, un taux de salinité plus faible peut augmenter la sévérité de l'essai. Un taux de salinité plus élevé augmente la probabilité de contournement, ce qui rend difficile la réalisation de l'essai sur des enveloppes de diamètre plus grand.

#### 9.7.4 Évaluation de l'essai

L'essai est considéré comme positif si aucun cheminement ne se produit (voir IEC 62217), si les ailettes ou toute autre partie du revêtement externe ne sont pas entièrement transpercées par l'érosion, c'est-à-dire jusqu'au niveau du matériau suivant, si les ailettes et l'enveloppe ne sont pas perforées, si la tension de référence mesurée avant et après l'essai à la même température ambiante ± 3°K n'a pas baissé de plus de 5 % et si la mesure de décharges partielles réalisée avant et après l'essai est satisfaisante, c'est-à-dire que leur niveau ne doit pas dépasser 10 pC, comme mesuré selon la procédure d'essai définie au 9.4.

Pour les parafoudres avec volume interne de gaz et système d'étanchéité séparé, un essai d'étanchéité réussi doit être réalisé conformément au point d) de 10.1.

## **9.8 Essai de mesure du taux de fuite**

### **9.8.1 Généralités**

Cet essai s'applique aux parafoudres ayant un volume interne de gaz et un système d'étanchéité séparé. Il ne s'applique pas aux parafoudres blindés.

### **9.8.2 Présentation générale**

Cet essai démontre l'étanchéité aux gaz/à l'eau de l'assemblage complet du parafoudre.

Lorsqu'un essai individuel de série dédié à la mesure du taux de fuite (voir point d) de 10.1) est réalisé avec des critères de réception au moins aussi stricts que ceux spécifiés dans le présent article, un essai de type n'est alors pas exigé. A défaut, un essai de type doit être réalisé sur un élément de parafoudre complet. Les éléments internes peuvent être retirés. Si le parafoudre contient des éléments avec un système d'étanchéité différent, l'essai doit être réalisé sur chaque élément, qui représente un système d'étanchéité différent.

### **9.8.3 Préparation des échantillons**

L'échantillon pour essai doit être neuf et propre.

### **9.8.4 Procédure d'essai**

Le constructeur peut utiliser toute méthode sensible appropriée à la mesure du taux de fuite spécifié.

NOTE Des procédures d'essai sont spécifiées dans l'IEC 60068-2-17.

### **9.8.5 Évaluation de l'essai**

Le taux de fuite maximal (voir C.4) doit être inférieur à

$$1 \times 10^{-6} \text{ Pa} \times \text{m}^3/\text{s}$$

## **9.9 Essai aux tensions perturbatrices RF (RIV)**

Ces essais s'appliquent à des parafoudres en plein air qui ont une tension CCOV supérieure à 100 kV. L'essai doit être effectué sur le parafoudre le plus long, avec la tension de régime permanent la plus élevée utilisée pour un type particulier de parafoudre.

NOTE 1 Un essai sur un élément, partie ou unité de parafoudre ne peut être considéré comme suffisant du fait de la non-linéarité de la distribution de potentiel le long d'un parafoudre complet.

NOTE 2 Pour cet essai, «type particulier de parafoudre» signifie aussi qu'il y a des configurations d'anneaux de garde identiques.

S'il peut être démontré, au moyen de calculs, que le champ électrique d'un parafoudre spécifique à des emplacements critiques est inférieur ou égal au champ électrique d'un parafoudre soumis à l'essai avec succès à une tension supérieure ou égale à la tension existante, aucun essai n'est exigé.

La tension d'essai pour les différents parafoudres doit être la suivante:

- Pour les parafoudres de valve, le niveau maximum de perturbation radioélectrique du parafoudre activé à une tension à fréquence industrielle (valeur efficace) de  $0,9/\sqrt{2}$  fois la valeur de crête maximale de la tension de régime permanent, y compris les transitoires haute fréquence, ne doit pas dépasser 2500  $\mu\text{V}$ .

- Pour les parafoudres de bus c.c. et les parafoudres de ligne/câble c.c., le niveau maximum de perturbation radioélectrique du parafoudre activé à une tension à fréquence industrielle (valeur efficace) de  $1,05/\sqrt{2}$  fois la tension de réseau continue ne doit pas dépasser 2500  $\mu\text{V}$ . En variante, et au choix du constructeur, l'essai peut être réalisé avec une tension continue de 1,05 fois la tension de réseau continue. Les deux polarités doivent être soumises à essai.
- Pour les parafoudres installés sur un bus neutre situé du côté ligne/câble de l'inductance de lissage (lorsqu'elle existe), et pour les parafoudres installés sur un bus neutre sans inductance de lissage présente sur ledit bus, le niveau maximum de perturbation radioélectrique du parafoudre activé à une tension à fréquence industrielle (valeur efficace) de  $1,05/\sqrt{2}$  fois la tension de régime permanent de crête maximale, y compris les transitoires haute fréquence, ne doit pas dépasser 2500  $\mu\text{V}$ .
- Pour les parafoudres installés sur un bus neutre situé du côté convertisseur de l'inductance de lissage (lorsqu'elle existe), le niveau maximum de perturbation radioélectrique du parafoudre activé à une tension à fréquence industrielle (valeur efficace) de  $1,0/\sqrt{2}$  fois la tension de régime permanent de crête maximale, y compris les transitoires haute fréquence, ne doit pas dépasser 2500  $\mu\text{V}$ .
- Pour l'élément convertisseur et les parafoudres de bus c.c. à élément convertisseur, le niveau maximum de perturbation radioélectrique du parafoudre activé à une tension à fréquence industrielle (valeur efficace) de  $0,95/\sqrt{2}$  fois la tension de régime permanent de crête maximale, y compris les transitoires haute fréquence, ne doit pas dépasser 2500  $\mu\text{V}$ .
- Pour les parafoudres de bus c.c. médian, les parafoudres à pont médian, les parafoudres à élément convertisseur HT et BT, ainsi que les parafoudres entre les convertisseurs, le niveau maximum de perturbation radioélectrique du parafoudre activé à une tension à fréquence industrielle (valeur efficace) de  $0,9/\sqrt{2}$  fois la tension de régime permanent de crête maximale, y compris les transitoires haute fréquence, ne doit pas dépasser 2500  $\mu\text{V}$ .
- Pour le parafoudre d'enroulement de valve de transformateur, le niveau maximum de perturbation radioélectrique du parafoudre activé à une tension à fréquence industrielle (valeur efficace) de  $0,9/\sqrt{2}$  fois la tension de régime permanent de crête maximale, y compris les transitoires haute fréquence, ne doit pas dépasser 2500  $\mu\text{V}$ .
- Pour les parafoudres installés sur des filtres c.c. et des filtres c.a., le niveau maximum de perturbation radioélectrique du parafoudre activé à une tension à fréquence industrielle (valeur efficace) de  $1,05/\sqrt{2}$  fois la tension de régime permanent de crête maximale ne doit pas dépasser 2500  $\mu\text{V}$ .
- Pour les parafoudres de condensateur (11.12), le niveau maximum de perturbation radioélectrique du parafoudre activé à une tension à fréquence industrielle (valeur efficace) de  $1,05/\sqrt{2}$  fois la tension de régime permanent de crête maximale ne doit pas dépasser 2500  $\mu\text{V}$ .

Si le parafoudre est installé avec un potentiel élevé à la terre, il convient de prendre ceci en considération.

Les parafoudres en essai doivent être complètement assemblés et munis des fixations (axe et bornes de mise à la terre, anneaux de garde, etc.) que le constructeur offre comme équipement standard du parafoudre.

La tension d'essai doit être appliquée entre les bornes et la base mise à la terre.

Les parties mises à la terre du parafoudre doivent être reliées à la terre. Il convient de veiller à éviter d'influencer les mesures par la présence d'objets reliés à la terre ou non à proximité des parafoudres et du circuit d'essai et de mesure.

Les connexions d'essai et leurs extrémités ne doivent pas être sources de perturbation radioélectrique de valeurs supérieures à celles indiquées ci-dessous.

Le circuit de mesure doit être conforme aux exigences de la CISPR 18-2 et de la CISPR 16-1-1 du Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques (CISPR). Il convient que le circuit de mesure soit de préférence accordé sur une fréquence de 0,5 MHz à 10 % près, mais d'autres fréquences dans la gamme de 0,5 MHz à 2 MHz peuvent être utilisées, la fréquence de mesure étant enregistrée. Les résultats doivent être exprimés en microvolts.

Si des impédances de mesure différentes de celles spécifiées par les publications du CISPR sont utilisées, elles ne doivent pas s'en écarter de plus de 600  $\Omega$ , ni de moins de 30  $\Omega$ ; dans tous les cas, l'angle de phase ne doit pas dépasser 20°. La tension équivalente de perturbation radioélectrique rapportée à 300  $\Omega$  peut être calculée, en admettant que la tension mesurée soit directement proportionnelle à la résistance.

Le filtre F doit avoir une impédance élevée de telle sorte que, lorsqu'elle est observée du parafoudre en essai, l'impédance entre le conducteur à haute tension et la terre ne soit pas sensiblement dérivée.

Ce filtre réduit aussi les courants de radiofréquence en circulation dans le circuit d'essai, générés par le transformateur haute tension ou reçus à partir de sources sans rapport avec l'essai. Il a été établi qu'une valeur convenable pour cette impédance était comprise entre 10 000  $\Omega$  et 20 000  $\Omega$  à la fréquence de mesure.

Des moyens doivent être employés pour s'assurer que le niveau de bruit parasite des perturbations radioélectriques (niveau de perturbations radioélectriques occasionné par le champ externe et par le transformateur haute tension lorsqu'il est magnétisé à la tension d'essai maximale) est au moins de 6 dB et de préférence 10 dB au-dessous du niveau de perturbations radioélectriques spécifié du parafoudre à soumettre à essai. Les méthodes d'étalonnage pour les instruments de mesure sont données dans la CISPR/TR 18-2.

Étant donné que le niveau de perturbations radioélectriques peut être affecté par la chute de fibres ou de poussière sur les isolateurs, il est permis d'essuyer les isolateurs avec un chiffon propre avant d'effectuer une mesure.

Les conditions atmosphériques en cours d'essai doivent être enregistrées. On ne sait pas quels facteurs de correction appliquer aux essais de perturbation radioélectrique, mais l'on sait que l'essai peut être influencé par une humidité relative élevée et les résultats de l'essai peuvent être douteux si l'humidité relative dépasse 80 %.

La procédure d'essai suivant doit être appliquée.

La tension est augmentée jusqu'à 1,05 fois la tension d'essai indiquée ci-dessus, puis abaissée à la tension d'essai où elle doit être maintenue pendant 5 min. La tension doit être abaissée par échelons jusqu'à 0,5 fois la tension d'essai, puis élevée à nouveau par échelons à la tension d'essai pendant 5 min, et finalement abaissée par échelons jusqu'à 0,5 fois cette même tension d'essai. À chaque échelon, une mesure de perturbation radioélectrique doit être effectuée et le niveau de perturbations radioélectriques, tel qu'enregistré au cours de la dernière série de réduction de la tension, doit être relevé en fonction de la tension appliquée; la courbe ainsi obtenue est la caractéristique de perturbation radioélectrique du parafoudre. L'amplitude des échelons de tension doit être égale à environ 0,1 fois la tension d'essai.

Le parafoudre doit être considéré comme ayant satisfait à l'essai si le niveau de perturbations radioélectriques à la tension d'essai et à tous les échelons de tension inférieurs ne dépasse pas 2 500  $\mu$ V.

Cet essai RIV peut être omis, si le même parafoudre a satisfait à l'essai de décharge partielle (dans ce cas, les décharges internes et externes doivent être mesurées, c'est-à-dire sans utiliser d'écrans pour les connexions ou les anneaux de garde ou d'autres parties des parafoudres).

La vérification peut également être effectuée en combinaison avec des essais réalisés sur d'autres matériels très proches des parafoudres, par exemple, la vérification propre aux parafoudres de valve peut être effectuée lors de l'essai des valves à thyristors.

## **9.10 Essai de tension résiduelle**

### **9.10.1 Généralités**

La mesure de la tension résiduelle lors de l'essai de type a pour but d'obtenir les éléments nécessaires au calcul des tensions résiduelles maximales, comme cela est expliqué au 7.3. Cela passe par la détermination du rapport entre les tensions aux courants de chocs spécifiés et le niveau de tension vérifié lors des essais individuels de série. Cette dernière valeur de tension doit être la tension résiduelle pour un courant de choc de foudre adapté compris entre 0,01 et 100 fois le courant de coordination des chocs de foudre, selon le choix du constructeur concernant la procédure des essais individuels de série.

La tension résiduelle maximale au courant de choc de foudre utilisée pour les essais individuels de série doit être spécifiée et publiée par le constructeur. Pour obtenir les tensions résiduelles maximales du modèle considéré pour tous les courants et toutes les formes d'onde spécifiés, les tensions résiduelles mesurées sur les fractions d'essai sont multipliées par le rapport entre la tension résiduelle maximale déclarée au courant de l'essai individuel de série et la tension résiduelle mesurée sur la fraction pour le même courant.

Tous les essais de tension résiduelle doivent être effectués sur les trois mêmes échantillons de parafoudres complets ou de fractions de parafoudre. Le temps séparant les décharges doit être suffisant pour permettre aux échantillons de revenir à une température approximativement égale à la température ambiante. Pour les parafoudres à plusieurs colonnes, l'essai peut être effectué sur des fractions composées d'une seule colonne; les tensions résiduelles sont alors mesurées pour des courants obtenus à partir de l'ensemble des courants du parafoudre complet divisés par le nombre de colonnes.

### **9.10.2 Essai de la tension résiduelle au choc de courant à front raide**

Un choc de courant à front raide (voir 3.58), avec une valeur de crête égale au courant de coordination des chocs de courant à front raide du parafoudre  $\pm 5\%$  doit être appliqué à chacun des trois échantillons. La valeur de crête et la forme d'onde de la tension apparaissant aux bornes des trois échantillons doivent être enregistrées et, si nécessaire, corrigées des effets inductifs du circuit de mesure de la tension, ainsi qu'en fonction de la géométrie de l'échantillon pour essai et du circuit d'essai.

La procédure d'essai suivant doit être utilisée pour déterminer si une correction des effets inductifs est exigée.

- Un choc de courant à front raide tel que décrit ci-dessus doit être appliqué à un bloc métallique non ferreux de mêmes dimensions que les échantillons de résistances en essai. La valeur de crête et la forme d'onde apparaissant aux bornes du bloc métallique doivent être enregistrées.
- Si la tension de crête sur le bloc métallique est inférieure à 2 % de la tension de crête des échantillons de résistances MO, aucune correction des effets inductifs de la tension mesurée sur les résistances MO n'est exigée.
- Si la tension de crête sur le bloc métallique est comprise entre 2 % et 20 % de la tension de crête de l'échantillon de résistance MO, alors la forme d'onde de la tension aux bornes du bloc métallique doit être soustraite de la forme d'onde des tensions mesurées sur chacune des résistances MO, et les valeurs de crête des ondes ainsi obtenues doivent être enregistrées comme valeurs corrigées des tensions des résistances MO.
- Si la tension de crête sur le bloc métallique est supérieure à 20 % de la tension de crête sur les échantillons de résistances MO, alors le circuit d'essai et le circuit de mesure de la tension doivent être améliorés, et l'essai doit être repris.

NOTE 1 Une manière possible de réaliser des formes d'onde de courant identiques pour toutes les mesures consiste à les appliquer en même temps sur l'échantillon pour essai et sur le bloc métallique en série dans le circuit d'essai. Seules leurs positions respectives nécessitent d'être inversées pour la mesure de la chute de tension sur le bloc métallique ou sur l'échantillon pour essai.

La tension résiduelle la plus élevée parmi les trois tensions résiduelles mesurées, corrigée si nécessaire comme indiqué ci-dessus, et multipliée par le facteur d'échelle (voir 7.3) est définie comme la tension résiduelle maximale au choc de courant à front raide, à l'exclusion de la contribution de la tension inductive, du parafoudre.

La tension résiduelle maximale au choc de courant à front raide, y compris la contribution de la tension inductive, du parafoudre est calculée selon 7.3.

NOTE 2 La présence de conducteurs de connexion destinés à relier le parafoudre au réseau d'alimentation introduit une chute de tension inductive supplémentaire pour les chocs de courant à front raide.

### 9.10.3 Essai de la tension résiduelle au choc de foudre

Chacun des trois échantillons doit être soumis à un choc de courant de foudre (voir 3.27) avec chacune des trois valeurs de crête suivantes approximativement égales à 0,5, 1 et 2 fois le courant de coordination des chocs de foudre du parafoudre. La durée conventionnelle du front doit être comprise entre 7  $\mu$ s et 9  $\mu$ s, tandis que la durée jusqu'à mi-valeur (qui n'est pas critique) peut avoir n'importe quelle tolérance. Les tensions résiduelles sont déterminées selon 7.3. Les valeurs maximales des tensions résiduelles déterminées doivent être portées sur une courbe donnant la tension résiduelle en fonction du courant de décharge. La tension résiduelle lue sur cette courbe correspondant au courant de coordination des chocs de foudre est définie comme le niveau de protection contre les chocs de foudre du parafoudre.

Lorsqu'un essai individuel de série du parafoudre complet ne peut être effectué à l'un des courants susmentionnés, des essais de type complémentaires doivent alors être effectués avec un courant compris entre 0,01 et 0,25 fois le courant de coordination des chocs de foudre, pour comparaison avec le parafoudre complet.

### 9.10.4 Essai de la tension résiduelle au choc de manœuvre

Un choc de courant de manœuvre (voir 3.60) avec une valeur de crête égale au courant de coordination des chocs de manœuvre (voir 3.61) du parafoudre  $\pm 5$  % doit être appliqué à chacun des trois échantillons. La durée conventionnelle du front doit être comprise entre 30  $\mu$ s et 100  $\mu$ s, tandis que la durée jusqu'à mi-valeur (qui n'est pas critique) peut avoir n'importe quelle tolérance. Les tensions résiduelles sont déterminées selon 7.3. La plus élevée de ces trois tensions est définie comme le niveau de protection contre les chocs de manœuvre du parafoudre.

## 9.11 Essai de vérification de la stabilité à long terme sous une tension de régime permanent

### 9.11.1 Généralités

Cet essai est destiné à déterminer si les résistances MO présentent une puissance absorbée stable ou décroissante lorsqu'elles sont activées à la tension de régime permanent. Chaque type de résistance MO utilisé dans le modèle doit être soumis à essai. Les parafoudres, soumis à une tension donnée avec une composante continue et pour laquelle des inversions de la polarité peuvent se produire de manière fréquente (en jours ou en mois), ou au moins au cours d'une période maximale de 3 ans, doivent être soumis à l'essai selon 9.11.2. Les parafoudres qui ne subissent jamais d'inversion de la polarité doivent être soumis à l'essai selon 9.11.3. Lorsque des inversions de la polarité sont prévues après une période de plus de 3 ans, il convient de consulter le constructeur.

NOTE 1 L'augmentation prévue de la puissance absorbée immédiatement après une inversion de la polarité ne constitue effectivement pas un phénomène de vieillissement, mais est en revanche due à la polarisation des matériaux qui est fonction de la durée d'application de la tension.

NOTE 2 La période de 3 ans est calculée pour une température ambiante maximale de 60 °C et en supposant l'utilisation d'un facteur d'accélération  $AF_T = 2,5^{5,5}$ .

Trois échantillons de résistances MO doivent être soumis à contrainte à une tension supérieure ou égale à la tension de régime permanent maximale corrigée de l'échantillon ( $U_{ct}$ ) pendant une durée de 1 000 h, période au cours de laquelle la température doit être régulée afin de maintenir la température superficielle des résistances MO à  $115\text{ °C} \pm 4\text{ K}$ .

La tension de régime permanent maximale corrigée ( $U_{ct}$ ) est la tension à laquelle sont soumises les résistances MO dans le parafoudre, en tenant compte des effets de déséquilibre de tension. Il convient que cette tension soit déterminée par des calculs ou des mesures de répartition de la tension.

Lorsqu'il n'est pas possible d'appliquer la forme d'onde de tension réelle, la tension d'essai doit satisfaire aux exigences suivantes:

- La composante continue ne doit pas être inférieure à la tension DCOV (3.9) dans la forme d'onde réelle;
- La tension de crête ne doit pas être inférieure à la tension PCOV (3.37);
- La tension de crête, sauf la tension PCOV, ne doit pas être inférieure à la tension CCOV (3.7);
- Pour les parafoudres de filtres c.a. et c.c., la fréquence de la tension d'essai ne doit pas être inférieure à la tension DFCOV (3.14).

Pendant les essais, les valeurs de crête et efficace de la tension ne doivent pas s'écarter des valeurs spécifiées de plus de  $\pm 1\%$ .

Tous les matériaux (solides ou liquides) en contact direct avec les résistances MO doivent être présents lors de l'essai de vieillissement, avec une conception identique à celle du parafoudre complet.

Pendant ce vieillissement accéléré, la résistance MO doit se trouver dans le milieu environnant utilisé dans le parafoudre. Dans ce cas, l'essai doit être effectué sur des résistances MO séparées dans une enceinte fermée dont le volume est au moins le double de celui de la résistance et la densité du milieu dans l'enceinte ne doit pas être inférieure à celle du milieu dans le parafoudre.

NOTE 3 Le milieu entourant la résistance MO à l'intérieur du parafoudre peut subir des modifications au cours de la durée de vie normale du parafoudre en raison de décharges partielles internes. Une éventuelle modification du milieu entourant la résistance sur le terrain peut accroître de façon significative la puissance absorbée en service.

Si le constructeur peut prouver que l'essai effectué à l'air libre est équivalent à celui effectué dans le milieu réel, l'essai de vieillissement peut être effectué à l'air libre.

## 9.11.2 Procédure d'essai pour les parafoudres soumis à une inversion de la tension

### 9.11.2.1 Généralités

L'une ou l'autre des méthodes d'essai suivantes doit être appliquée:

- a) Les résistances MO doivent être soumises à la tension d'essai avec les inversions de la polarité comme cela est indiqué à la Figure 9. La puissance absorbée par les résistances MO doit être mesurée à une tension de  $U_{ct}$  0,5 h à 1 h après l'application de la tension, juste avant chaque inversion de la polarité, 0,5 h après chaque inversion de la polarité et, enfin, après  $1\,000^{+100}_0$  h de vieillissement dans les mêmes conditions. Une mise hors tension intermédiaire accidentelle des échantillons pour essai est acceptable, à condition qu'elle ne dépasse pas une durée totale de 24 h pendant la période d'essai. Cette interruption de l'essai n'est pas comptée dans le temps d'essai. Toutefois, la mesure finale doit être faite après une application de la tension d'une durée au moins égale à

100 h. Dans la gamme de températures admise, toutes les mesures doivent être faites à la même température à  $\pm 1$  K près. Les inversions de la polarité doivent se produire dans un délai de 3 minutes. Au choix du constructeur, les résistances MO peuvent, en lieu et place des inversions de la polarité des circuits, être renversées au moment spécifié au cours du cycle d'essai.

ou

- b) Les résistances MO doivent être soumises à la tension d'essai avec une inversion de la polarité simple après 1000 h. Les puissances absorbées initiales  $P_0$  doivent être mesurées à une tension de  $U_{ct}$  0,5 h à 1 h après application de la tension. La puissance absorbée par les résistances MO doit par la suite être mesurée une fois toutes les 100 h et doit se voir attribuer la désignation  $P_1$  à  $P_9$ , après la première mesure donnant  $P_0$ . Enfin, la puissance absorbée par les résistances MO  $P_{10}$  doit être mesurée après 1 000<sup>+100</sup><sub>0</sub> h de vieillissement dans les mêmes conditions. Une mise hors tension intermédiaire accidentelle des échantillons pour essai est acceptable, à condition qu'elle ne dépasse pas une durée totale de 24 h pendant la période d'essai. Cette interruption de l'essai n'est pas comptée dans le temps d'essai. Toutefois, la mesure finale doit être faite après une application de la tension d'une durée au moins égale à 100 h. Dans la gamme de températures admise, toutes les mesures doivent être faites à la même température à  $\pm 1$  K près. L'inversion de la polarité doit se produire dans un délai de 4 h après la mesure de  $P_{10}$  et doit intervenir dans un délai de 3 minutes. Les résistances MO doivent être mises sous tension à la tension  $U_{ct}$  après la mesure de  $P_{10}$  jusqu'à l'inversion effective de la polarité. Dans un délai de 0,5 h après l'inversion de la polarité, et avec une tolérance de  $\pm 1$  min, la puissance absorbée doit être mesurée avec la désignation  $P_{11}$ . Au choix du constructeur, les résistances MO peuvent, en lieu et place des inversions de la polarité des circuits, être renversées.

Le choix de la méthode a) ou b) est laissé au constructeur, mais la méthode b) est considérée comme la plus stricte concernant la variation de la puissance absorbée due à l'inversion de la polarité.

La tension appliquée doit de préférence avoir la même forme d'onde ou une forme d'onde similaire à la tension réelle appliquée sur le parafoudre. Lorsque les limites applicables aux matériels d'essai ne le permettent pas, une tension équivalente considérée comme générant une contrainte supérieure ou égale doit être appliquée. Une tension d'essai c.c. véritable est, par exemple, considérée plus stricte qu'une tension continue réelle avec des transitoires superposés si l'amplitude de la tension d'essai c.c. véritable appliquée est supérieure ou égale à la valeur de crête de la tension continue réelle y compris la tension transitoire.

Le temps d'essai doit être augmenté lorsque le parafoudre est installé sous une température ambiante supérieure à 60 °C (valeur moyenne sur une période de 24 heures). Le temps d'essai doit être calculé comme suit:

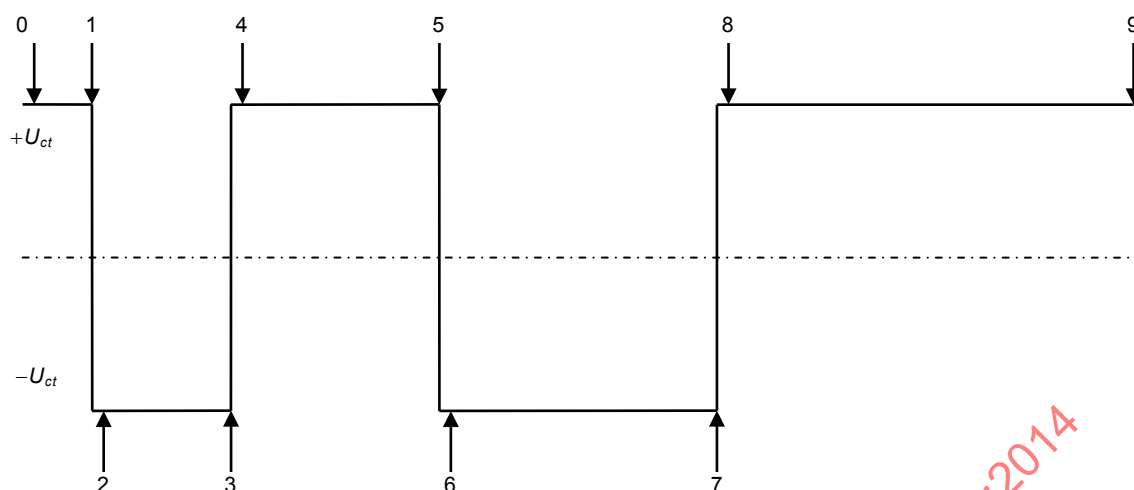
$$t = 154408 / (2,5^{(115 - T_a) / 10})$$

où

$t$  est la durée d'essai en h

$T_a$  est la température ambiante

Chaque période présentée à la Figure 9 doit être augmentée en proportion relative.



IEC 1991/14

**Légende:**

| Point | Temps                                             | Puissance absorbée mesurée |
|-------|---------------------------------------------------|----------------------------|
| 0     | 0,5 h à 1 h                                       | $P_0$                      |
| 1     | $T_1 = 24 \text{ h} \pm 1 \text{ h}$              | $P_1$                      |
| 2     | $T_1 + 0,5 \text{ h} \pm 1 \text{ minute}$        | $P_2$                      |
| 3     | $T_2 = 72 \text{ h} \pm 2 \text{ h}$              | $P_3$                      |
| 4     | $T_2 + 0,5 \text{ h} \pm 1 \text{ minute}$        | $P_4$                      |
| 5     | $T_3 = 168 \text{ h} \pm 3 \text{ h}$             | $P_5$                      |
| 6     | $T_3 + 0,5 \text{ h} \pm 1 \text{ minute}$        | $P_6$                      |
| 7     | $T_4 = 360 \text{ h} \pm 4 \text{ h}$             | $P_7$                      |
| 8     | $T_4 + 0,5 \text{ h} \pm 1 \text{ minute}$        | $P_8$                      |
| 9     | $1\,000 \text{ h} \text{ }^{+100}_{-0} \text{ h}$ | $P_9$                      |

**Figure 9 – Cycle d'essai pour l'essai de vieillissement accéléré avec inversions de la polarité, méthode a)**

### 9.11.2.2 Évaluation de l'essai

Pour la méthode a), l'essai est satisfait et l'essai de vérification des caractéristiques assignées d'énergie thermique (9.14) doit être réalisé sur de nouvelles résistances MO sans aucune correction si, pour l'ensemble des trois échantillons pour essai:

- $P_1$  à  $P_9$  sont inférieures ou égales à 1,1 fois  $P_0$

Si  $P_1$ ,  $P_3$ ,  $P_5$ ,  $P_7$  et  $P_9$  sont inférieures ou égales à 1,1 fois  $P_0$  mais les valeurs  $P_2$ ,  $P_4$ ,  $P_6$  et  $P_8$  sont supérieures à 1,1 fois  $P_0$ , l'essai de vérification des caractéristiques assignées d'énergie thermique (9.14) doit être réalisé sur des échantillons pour essai où les tensions ECOV sont augmentées afin de correspondre à la puissance absorbée la plus élevée de  $P_2$ ,  $P_4$ ,  $P_6$  et  $P_8$  pour tous les échantillons pour essai. La tension ECOV est déterminée sur trois échantillons comportant de nouvelles résistances MO, comme décrit au 9.14. La puissance absorbée  $P_{ECOV}$  à la tension ECOV est mesurée à la température de départ. Les tensions sont ensuite augmentées pour atteindre la tension ECOV\* de sorte que la puissance absorbée correspondante satisfasse la relation:

$$\frac{P_{ECOV*}}{P_{ECOV}} = K_{ECOV}$$

Où

$K_{ECOV}$  est le rapport le plus élevé de  $P_2$ ,  $P_4$ ,  $P_6$  et  $P_8$  sur  $P_0$  pour les trois fractions d'essai dans l'essai de vieillissement accéléré.

À défaut, l'essai est considéré comme non satisfait.

Pour la méthode b), l'essai est satisfait et l'essai de vérification des caractéristiques assignées d'énergie thermique (9.14) doit être réalisé sur de nouvelles résistances MO sans aucune correction si, pour l'ensemble des trois échantillons pour essai:

- $P_1$  à  $P_{11}$  sont inférieures ou égales à 1,1 fois  $P_0$
- $P_{10}$  n'est pas supérieure à 1,3 fois la valeur minimale de  $P_1$  à  $P_9$

Si  $P_1$  à  $P_{10}$  sont inférieures ou égales à 1,1 fois  $P_0$ ,  $P_{10}$ , non supérieures à 1,3 fois la valeur minimale de  $P_1$  à  $P_9$  mais avec  $P_{11}$  supérieure à 1,1 fois  $P_0$ , l'essai de vérification des caractéristiques assignées d'énergie thermique (9.14) doit être réalisé sur des échantillons pour essai où les tensions ECOV sont augmentées afin de correspondre à la puissance absorbée  $P_{11}$  pour tous les échantillons pour essai. La tension ECOV est déterminée sur trois échantillons comportant de nouvelles résistances MO, comme décrit au 9.14. La puissance absorbée  $P_{ECOV}$  à la tension ECOV est mesurée à la température de départ. Les tensions sont ensuite augmentées pour atteindre la tension ECOV\* de sorte que la puissance absorbée correspondante satisfasse la relation:

$$\frac{P_{ECOV*}}{P_{ECOV}} = K_{ECOV}$$

où

$K_{ECOV}$  est le rapport le plus élevé de  $P_{11}$  sur  $P_0$  pour les trois fractions d'essai dans l'essai de vieillissement accéléré.

À défaut, l'essai est considéré comme non satisfait.

### 9.11.3 Procédure d'essai pour les parafoudres non soumis à une inversion de la tension

#### 9.11.3.1 Généralités

La puissance absorbée par les résistances MO  $P_0$  doit être mesurée à une tension de  $U_{ct}$  0,5 h à 1 h après application de la tension. La puissance absorbée par les résistances MO doit être mesurée une fois toutes les 100 h et doit se voir attribuer la désignation  $P_1$  à  $P_9$ , après la première mesure donnant  $P_0$ . Enfin, la puissance absorbée par les résistances  $P_{10}$  doit être mesurée après 1 000 <sup>+100</sup><sub>0</sub> h de vieillissement dans les mêmes conditions. Une mise hors tension intermédiaire accidentelle des échantillons pour essai est acceptable, à condition qu'elle ne dépasse pas une durée totale de 24 h pendant la période d'essai. Cette interruption de l'essai n'est pas comptée dans le temps d'essai. Toutefois, la mesure finale doit être faite après une application de la tension d'une durée au moins égale à 100 h. Dans la gamme de températures admise, toutes les mesures doivent être faites à la même température à  $\pm 1$  K.

La tension appliquée doit de préférence avoir la même forme d'onde ou une forme d'onde similaire à la tension réelle appliquée sur le parafoudre. Lorsque les limites applicables aux matériels d'essai ne le permettent pas, une tension équivalente considérée comme générant une contrainte supérieure ou égale doit être appliquée. Une tension d'essai c.c. véritable est,

par exemple, considérée plus stricte qu'une tension continue réelle avec des transitoires superposés si l'amplitude de la tension d'essai c.c. véritable appliquée est supérieure ou égale à la valeur de crête de la tension continue réelle y compris les tensions transitoires.

Le temps d'essai doit être augmenté lorsque le parafoudre est installé sous une température ambiante supérieure à 60 °C (valeur moyenne sur une période de 24 heures). Le temps d'essai doit être calculé comme suit:

$$t = 154408 / (2,5^{(115 - T_a)/10})$$

où

$t$  est la durée d'essai en h

$T_a$  est la température ambiante

### 9.11.3.2 Évaluation de l'essai

L'essai doit être considéré comme satisfait si pour l'ensemble des trois résistances MO:

- $P_1$  à  $P_{10}$  sont inférieures ou égales à 1,1 fois  $P_0$
- $P_{10}$  n'est pas supérieure à 1,3 fois la valeur minimale de  $P_1$  à  $P_9$

À défaut, l'essai est considéré comme non satisfait.

## 9.12 Essai de vérification des caractéristiques assignées de transfert de charges répétitives, $Q_{rs}$

### 9.12.1 Généralités

Le but de cet essai est de vérifier les caractéristiques assignées de transfert de charges répétitives,  $Q_{rs}$ , d'un parafoudre.

La capacité de transfert de charges répétitives est spécifiée comme une contrainte de courant de choc qui peut être supportée par les résistances MO d'un parafoudre à vingt reprises sans dommage mécanique ou sans dommage électrique inacceptable. Une contrainte de courant de choc est considérée comme représentant un transfert de charge dans l'intervalle de temps compris entre 200 µs et 2 s dans des conditions de réseau réelles.

Pour certains parafoudres, par exemple, les parafoudres de filtres c.a. et de filtres c.c., le cas décisif peut généralement produire des impulsions de courant d'une durée inférieure à 200 µs. Dans ce type de cas, l'essai de transfert de charges répétitives doit être réalisé avec un courant de choc de la durée réelle ou d'une durée inférieure.

Les caractéristiques assignées de transfert de charges répétitives sont liées à une certaine probabilité de défaillance très faible, et ne constituent de ce fait pas une valeur déterministe, mais en revanche statistique. L'essai est réalisé sur des résistances MO individuelles à une valeur de charge comprise entre 1,1 et 1,2 fois la valeur assignée sélectionnée dans la liste donnée au 9.12.4. Cette approche suppose que les caractéristiques de fonctionnement des résistances MO individuelles peuvent également être attribuées à un parafoudre complet construit à partir de ces résistances MO, sur la base des exigences d'essai et de l'approche statistique choisie.

La charge a été choisie comme base d'essai pour une meilleure comparaison entre les différentes marques de résistances MO.

Pour cet essai, des courants de choc de longue durée ou des chocs de courant à demi-onde sinusoïdale unipolaire de durées similaires doivent être appliqués.

La charge et la capacité de traitement énergétique sont généralement plus importantes pour les décharges de choc de foudre par comparaison avec des chocs de courant de longue durée. Toutefois, lorsque l'événement réel est associé à des chocs de courant d'une durée inférieure à 200  $\mu$ s, l'essai doit être réalisé avec des chocs de cette durée ou d'une durée inférieure.

Une valeur  $Q_{rs}$  issue de la liste donnée au 9.12.4 doit être attribuée au parafoudre.

Une première séquence d'essai doit être effectuée sur 10 échantillons des résistances MO sélectionnées selon 8.3.1 d). L'essai complet est satisfait lorsqu'une résistance MO au plus est défaillante. Lorsque deux résistances MO sont défaillantes, une seconde séquence identique à la première doit être effectuée sur 10 échantillons supplémentaires. L'essai complet doit alors être satisfait en l'absence de défaillance d'une résistance MO au cours de cette seconde séquence.

Lorsque trois résistances MO ou plus sont défaillantes dans la première séquence d'essai, ou lorsque toute résistance MO est défaillante dans la seconde séquence d'essai, l'essai complet n'est pas satisfait.

### 9.12.2 Procédure d'essai

Dix échantillons pour essai doivent être soumis à l'essai dans la première séquence. Selon les résultats d'essai, il peut se révéler nécessaire de soumettre à essai dix autres échantillons dans une seconde séquence.

Les échantillons doivent consister en des résistances MO individuelles en air calme ou dans le milieu environnant réel du modèle. Le choix est laissé au constructeur.

Les échantillons doivent satisfaire aux exigences du 8.3.

La procédure d'essai suivant doit être suivie:

- Chaque échantillon doit être soumis à un essai de tension résiduelle avec un courant de décharge de 10 kA et à un essai de tension de référence avec un courant de référence spécifié avant et après l'essai.
- Chaque échantillon doit être soumis à vingt chocs de courant administrés en dix ensembles de deux chocs, avec un temps de 50 s à 60 s entre les chocs au sein d'un même ensemble, et un temps suffisant entre les ensembles pour permettre un refroidissement à la température ambiante.
- Les chocs de courant doivent être soit des chocs (rectangulaires) de longue durée d'une durée totale conventionnelle de 2 ms à 4 ms, soit des chocs à demi-onde sinusoïdale unipolaire d'une durée totale de 2 ms à 4 ms.
- La charge réelle de chaque choc de courant doit être la suivante:
  - a) pour les parafoudres à une seule colonne: au moins égale aux caractéristiques assignées revendiquées de transfert de charges répétitives (sélectionnées dans la liste donnée au 9.12.4) multipliées par 1,1;
  - b) pour les parafoudres à plusieurs colonnes: au moins égale aux caractéristiques assignées revendiquées de transfert de charges répétitives (sélectionnées dans la liste donnée au 9.12.4) multipliées par 1,1, puis divisées par le nombre de colonnes, et ensuite multipliées par le facteur de partage du courant,  $\beta_g$  (voir point c) de 8.3.1).

NOTE 1 L'exigence concernant la réalisation d'un essai à au moins 1,1 fois les valeurs de charge assignée est considérée comme garantissant une confiance suffisante dans le fait que les caractéristiques de fonctionnement des résistances MO individuelles peuvent également être attribuées aux parafoudres complets construits à partir de ce type de résistances MO.

NOTE 2 Lorsque les résistances MO soumises à l'essai avec des valeurs de charge applicables aux parafoudres à une seule colonne sont utilisées dans un parafoudre à plusieurs colonnes et lorsqu'aucun nouvel essai est réalisé, les caractéristiques assignées de transfert de charges répétitives pour le parafoudre à plusieurs colonnes

complet représentent la valeur inférieure ou égale suivante dans la liste (9.12.4) applicable aux caractéristiques assignées de transfert de charges répétitives des résistances MO, multipliée par le nombre de colonnes et divisée par le facteur de partage du courant.

### 9.12.3 Évaluation de l'essai

L'essai complet doit être considéré comme satisfait si

- un échantillon au plus a présenté une défaillance pendant la première séquence, ou
- deux échantillons au plus ont présenté une défaillance au cours de deux séquences d'essai.

À défaut, l'essai est considéré comme non satisfait et un niveau de charge inférieur,  $Q_{rs}$ , issu de la liste indiquée au 9.12.4 doit être choisi, et l'essai doit être répété pour ce niveau de charge inférieur, suivant la procédure d'essai donné au 9.12.2.

NOTE 1 Lorsqu'une seule défaillance se produit au cours de la première séquence et lorsque cela se produit, dans le cas le plus défavorable, lors de la toute première application de choc, 180 chocs sans aucune défaillance auront été appliqués à la fin de la séquence, donnant une probabilité de défaillance maximale de  $1/181 = 0,0056$  ou 0,56 % pour l'essai complet. Lorsque deux défaillances se produisent au cours de la première séquence et lorsque cela se produit, une nouvelle fois dans le cas le plus défavorable, lors des toutes premières applications sur deux des échantillons, 360 chocs sans aucune défaillance auront été appliqués à la fin des deux séquences, donnant à nouveau une probabilité de défaillance maximale de  $2/362 = 0,0056$  ou 0,56 % pour l'essai complet.

Chaque échantillon individuel doit être considéré comme ayant résisté aux séries complètes de chocs si tous les critères suivants sont satisfaits:

- il n'y a pas d'indication de dommage mécanique (perforation, contournement ou bris);
- toute variation de la tension de référence avant et après l'essai, mesurée à la même température  $\pm 3$  K, est de  $\pm 5$  %;
- toute variation de la tension résiduelle à un courant de décharge de 10 kA avant et après l'essai est de  $\pm 5$  %;
- une application finale d'un choc de courant de  $8/20 \mu s$  d'une amplitude d'au moins 20 kA est réalisée avec succès sans dommage mécanique.

NOTE 2 Tout dommage de la structure métallisée par inflammation ou formation d'arc n'est pas considéré comme un dommage mécanique lorsque tous les autres critères de réussite sont satisfaits.

### 9.12.4 Valeurs assignées des caractéristiques assignées de transfert de charges répétitives, $Q_{rs}$

Les valeurs des caractéristiques assignées de transfert de charges répétitives doivent être prises dans la liste suivante:

- de 0,1 C à 1,2 C par paliers de 0,1 C
- de 1,2 C à 4,4 C par paliers de 0,4 C
- de 4,4 C à 10,0 C au plus par paliers de 0,8 C
- de 10 C à 20 C par paliers de 2 C
- de 20 C et au-delà par paliers de 4 C

NOTE Les facteurs suivants de calcul des amplitudes de courant de choc correspondantes à partir des valeurs de charge sont donnés à des fins de recommandations:

- Courant de longue durée, 2 ms:  $i_{crête} / A \approx 500 \times Q_{rs} / C$
- Courant de longue durée, 4 ms:  $i_{crête} / A \approx 250 \times Q_{rs} / C$
- Demi-onde sinusoïdale unipolaire, 2 ms:  $i_{crête} / A \approx 786 \times Q_{rs} / C$
- Demi-onde sinusoïdale unipolaire, 4 ms:  $i_{crête} / A \approx 393 \times Q_{rs} / C$

Les amplitudes de courant résultantes sont informatives et constituent des valeurs approchées, calculées dans l'hypothèse d'une forme de courant de choc idéalement rectangulaire dans le cas des chocs de courant de longue durée. Dans la mesure où une forme de courant réelle s'écarte de la forme théorique, les amplitudes réelles nécessaires pour atteindre les valeurs de charge assignée peuvent être différentes des valeurs énumérées ici.

### 9.13 Capacité de dissipation de chaleur de l'échantillon pour essai

#### 9.13.1 Généralités

Dans l'essai de vérification des caractéristiques assignées d'énergie thermique (9.14), le comportement de l'échantillon pour essai est, dans une large mesure, fonction de sa capacité à dissiper la chaleur, c'est-à-dire à se refroidir à la suite d'une contrainte de décharge.

En conséquence, pour que l'essai apporte des renseignements corrects, les échantillons pour essai doivent avoir une capacité de dissipation de chaleur et une chaleur massique équivalentes à celles du parafoudre complet, tant en régime transitoire qu'en régime permanent. En principe, lorsqu'elles sont soumises à la même contrainte de tension dans les mêmes conditions ambiantes, il convient que les résistances MO atteignent la même température dans l'échantillon et dans le parafoudre complet.

Un essai doit être réalisé pour démontrer cette équivalence (voir 9.13.3).

#### 9.13.2 Exigences pour les fractions de parafoudre

Les exigences sont spécifiées au 8.3.2.1.

#### 9.13.3 Procédure de vérification de l'équivalence thermique entre un parafoudre et une fraction de parafoudre

L'équivalence thermique entre le parafoudre complet et la fraction de parafoudre doit être démontrée suivant la procédure d'essai décrite à l'Annexe A.

### 9.14 Essai de vérification des caractéristiques assignées d'énergie thermique, $W_{th}$

#### 9.14.1 Généralités

Le but de cet essai est de vérifier la capacité du parafoudre à la récupération thermique après injection de l'énergie thermique assignée,  $W_{th}$ , et suivant les conditions de tension de régime permanent. En raison des formes d'ondes généralement complexes dédiées aux parafoudres installés sur les postes CCHT, l'énergie due aux conditions de surtension temporaires doit être incluse dans l'énergie thermique assignée.

L'appareillage de mesure doit satisfaire aux exigences données au 8.1. La valeur de crête de la tension de régime permanent appliquée ne doit pas varier de plus de 1 % entre la valeur à vide et la valeur à pleine charge. Pendant les essais, les valeurs de crête et efficace de la tension ne doivent pas s'écarter des valeurs spécifiées de plus de  $\pm 1$  %.

NOTE 1 Il n'est pas nécessaire de soumettre à essai les parafoudres avec une tension de régime permanent non significative (3.34).

NOTE 2 L'énergie thermique assignée est issue des études de réseaux et peut être toute valeur.

#### 9.14.2 Exigences pour les fractions de parafoudre

La partie de cet essai dédiée à la récupération thermique (9.14.3.2) doit être effectuée sur des fractions thermiquement distribuées au prorata du parafoudre réel comme cela est spécifié au 8.3.2.1. Un capteur de température doit être intégré dans l'échantillon de sorte que la température de sa partie active puisse être mesurée.

La partie de l'essai dédiée à la caractérisation et au conditionnement (9.14.3.1) peut être effectuée à une température ambiante de  $20\text{ °C} \pm 15\text{ °K}$  sur les résistances MO en air calme ou sur la fraction diélectriquement distribuée au prorata selon 8.3.2.2. L'essai doit être réalisé sur trois échantillons pour essai.