

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60099-4

**Edition 1.2
2001-12**

Edition 1:1991 consolidée par les amendements 1:1998 et 2:2001
Edition 1:1991 consolidated with amendments 1:1998 and 2:2001

Parafoudres –

Partie 4:

**Parafoudres à oxyde métallique sans éclateurs
pour réseaux à courant alternatif**

Surge arresters –

Part 4:

**Metal-oxide surge arresters without gaps
for a.c. systems**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60099-4:1991+A1:1998+A2:2001

Numérotation des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000. Ainsi, la CEI 34-1 devient la CEI 60034-1.

Editions consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique. Des renseignements relatifs à cette publication, y compris sa validité, sont disponibles dans le Catalogue des publications de la CEI (voir ci-dessous) en plus des nouvelles éditions, amendements et corrigenda. Des informations sur les sujets à l'étude et l'avancement des travaux entrepris par le comité d'études qui a élaboré cette publication, ainsi que la liste des publications parues, sont également disponibles par l'intermédiaire de:

- Site web de la CEI (www.iec.ch)
- Catalogue des publications de la CEI

Le catalogue en ligne sur le site web de la CEI (www.iec.ch/catlg-f.htm) vous permet de faire des recherches en utilisant de nombreux critères, comprenant des recherches textuelles, par comité d'études ou date de publication. Des informations en ligne sont également disponibles sur les nouvelles publications, les publications remplacées ou retirées, ainsi que sur les corrigenda.

- IEC Just Published

Ce résumé des dernières publications parues (www.iec.ch/JP.htm) est aussi disponible par courrier électronique. Veuillez prendre contact avec le Service client (voir ci-dessous) pour plus d'informations.

- Service clients

Si vous avez des questions au sujet de cette publication ou avez besoin de renseignements supplémentaires, prenez contact avec le Service clients:

Email: custserv@iec.ch
Tél: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

Publication numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series. For example, IEC 34-1 is now referred to as IEC 60034-1.

Consolidated editions

The IEC is now publishing consolidated versions of its publications. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

Further information on IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology. Information relating to this publication, including its validity, is available in the IEC Catalogue of publications (see below) in addition to new editions, amendments and corrigenda. Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is also available from the following:

- IEC Web Site (www.iec.ch)
- Catalogue of IEC publications

The on-line catalogue on the IEC web site (www.iec.ch/catlg-e.htm) enables you to search by a variety of criteria including text searches, technical committees and date of publication. On-line information is also available on recently issued publications, withdrawn and replaced publications, as well as corrigenda.

- IEC Just Published

This summary of recently issued publications (www.iec.ch/JP.htm) is also available by email. Please contact the Customer Service Centre (see below) for further information.

- Customer Service Centre

If you have any questions regarding this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre:

Email: custserv@iec.ch
Tel: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60099-4

Edition 1.2

2001-12

Edition 1:1991 consolidée par les amendements 1:1998 et 2:2001
Edition 1:1991 consolidated with amendments 1:1998 et 2:2001

Parafoudres –

Partie 4:

**Parafoudres à oxyde métallique sans éclateurs
pour réseaux à courant alternatif**

Surge arresters –

Part 4:

**Metal-oxide surge arresters without gaps
for a.c. systems**

© IEC 2001 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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'éditeur.

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 the publisher.

International Electrotechnical Commission
Telefax: +41 22 919 0300

3, rue de Varembe Geneva, Switzerland
e-mail: inmail@iec.ch IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	12
INTRODUCTION	14

SECTION 1: GÉNÉRALITÉS

1.1 Domaine d'application	16
1.2 Références normatives	16

SECTION 2: DÉFINITIONS

SECTION 3: IDENTIFICATION ET CLASSIFICATION

3.1 Identification des parafoudres	34
3.2 Classification des parafoudres	36

SECTION 4: CARACTÉRISTIQUES ASSIGNÉES

4.1 Tensions assignées normales	38
4.2 Fréquences assignées normales	38
4.3 Valeurs normales des courants nominaux de décharge	38
4.4 Conditions de service	38

SECTION 5: PRESCRIPTIONS

5.1 Tenue diélectrique de l'enveloppe du parafoudre	40
5.2 Tension de référence	40
5.3 Tensions résiduelles	40
5.4 Décharges partielles internes	40
5.5 Taux de fuite de l'étanchéité	42
5.6 Répartition du courant dans les parafoudres à plusieurs colonnes	42
5.7 Stabilité thermique	42
5.8 Tenue au choc de courant de longue durée	42
5.9 Fonctionnement des parafoudres	42
5.10 Caractéristique de tension à fréquence industrielle en fonction du temps d'un parafoudre	44
5.11 Court-circuit	44
5.12 Dispositif de déconnexion	44
5.13 Prescriptions pour les équipements auxiliaires tels que les éléments de répartition	44
5.14 Efforts mécaniques	44

SECTION 6: CONDITIONS GÉNÉRALES D'EXÉCUTION DES ESSAIS

6.1 Appareillage de mesure et précision	46
6.2 Mesures de la tension de référence	46
6.3 Echantillons destinés aux essais	46

CONTENTS

FOREWORD	13
INTRODUCTION	15

SECTION 1: GENERAL

1.1 Scope	17
1.2 Normative references	17

SECTION 2: DEFINITIONS

SECTION 3: IDENTIFICATION AND CLASSIFICATION

3.1 Arrester identification	35
3.2 Arrester classification	37

SECTION 4: STANDARD RATINGS

4.1 Standard rated voltages	39
4.2 Standard rated frequencies	39
4.3 Standard nominal discharge currents	39
4.4 Service conditions	39

SECTION 5: REQUIREMENTS

5.1 Insulation withstand of the arrester housing	41
5.2 Reference voltage	41
5.3 Residual voltages	41
5.4 Internal partial discharge	41
5.5 Seal leak rate	43
5.6 Current distribution in a multi-column arrester	43
5.7 Thermal stability	43
5.8 Long duration current impulse withstand	43
5.9 Operating duty	43
5.10 Power frequency voltage versus time characteristics of an arrester	45
5.11 Short-circuit	45
5.12 Disconnectors	45
5.13 Requirements for auxiliary equipment such as grading components	45
5.14 Mechanical loads	45

SECTION 6: GENERAL TESTING PROCEDURE

6.1 Measuring equipment and accuracy	47
6.2 Reference voltage measurements	47
6.3 Test samples	47

SECTION 7: ESSAIS DE TYPE

7.1	Généralités	48
7.2	Essais de tenue de l'isolation de l'enveloppe du parafoudre	50
7.3	Essais de vérification de la tension résiduelle	52
7.4	Essai de tenue aux chocs de courant de longue durée	58
7.5	Essais de fonctionnement	60
7.6	Essai des déconnecteurs/indicateurs de défaut pour parafoudres	76
7.7	Essais de court-circuit	80
7.8	Essais de décharges partielles internes	80

SECTION 8: ESSAIS INDIVIDUELS ET ESSAIS DE RÉCEPTION

8.1	Essais individuels	80
8.2	Essais de réception	82

SECTION 9: PRESCRIPTIONS D'ESSAIS POUR LES PARAFOUDRES À ENVELOPPE SYNTHÉTIQUE

9.1	Généralités	84
9.2	Définitions	84
9.3	Identification et classification	84
9.4	Caractéristiques assignées	84
9.5	Prescriptions	84
9.6	Conditions générales d'exécution des essais	84
9.7	Essais de type (essais de conception)	86

SECTION 10: PRESCRIPTIONS D'ESSAIS POUR LES PARAFOUDRES SOUS ENVELOPPE MÉTALLIQUE À ISOLATION GAZEUSE (PARAFOUDRES BLINDÉS)

10.1	Généralités	104
10.2	Définitions	104
10.3	Identification des parafoudres	104
10.4	Caractéristiques assignées	104
10.5	Prescriptions	106
10.6	Conditions générales d'exécution des essais	108
10.7	Essais de type (essais de conception)	108
10.8	Essais individuels	116
10.9	Essais consécutifs à l'installation sur site	116

SECTION 11: PARAFOUDRES DÉBROCHABLES ET PARAFOUDRES POUR PRISE

11.1	Généralités	122
11.2	Définitions	122
11.3	Identification du parafoudre	122
11.4	Caractéristiques assignées	122
11.5	Prescriptions	122
11.6	Conditions générales d'exécution des essais	122
11.7	Essais de type (essais de conception)	122
11.8	Essais individuels et essais de réception	130

SECTION 7: TYPE TESTS (DESIGN TESTS)

7.1	General.....	49
7.2	Insulation withstand tests on the arrester housing.....	51
7.3	Residual voltage tests	53
7.4	Long duration current impulse withstand test	59
7.5	Operating duty tests	61
7.6	Tests of arrester disconnectors fault indicators.....	77
7.7	Short-circuit tests	81
7.8	Internal partial discharge tests.....	81

SECTION 8: ROUTINE TESTS AND ACCEPTANCE TESTS

8.1	Routine tests.....	81
8.2	Acceptance tests.....	83

SECTION 9: TEST REQUIREMENTS ON POLYMER-HOUSED
SURGE ARRESTERS

9.1	General.....	85
9.2	Definitions.....	85
9.3	Identification and classification	85
9.4	Standard ratings.....	85
9.5	Requirements.....	85
9.6	General testing procedure	85
9.7	Type tests (design tests)	87

SECTION 10: TEST REQUIREMENTS ON GAS-INSULATED METAL
ENCLOSED ARRESTERS (GIS-ARRESTERS)

10.1	General.....	105
10.2	Definitions.....	105
10.3	Arrester identification (nameplate).....	105
10.4	Standard rating	105
10.5	Requirements.....	107
10.6	General testing procedures	109
10.7	Type tests (design tests)	109
10.8	Routine tests.....	117
10.9	Test after erection on site.....	117

SECTION 11: SEPARABLE AND DEADFRONT ARRESTERS

11.1	General.....	123
11.2	Definitions.....	123
11.3	Arrester identification	123
11.4	Standard ratings.....	123
11.5	Requirements.....	123
11.6	General testing procedure	123
11.7	Type tests (design tests)	123
11.8	Routine tests and acceptance tests	131

SECTION 12: PARAFOUDRES IMMERGÉS

12.1 Généralités	130
12.2 Définitions.....	130
12.3 Identification du parafoudre.....	130
12.4 Caractéristiques assignées	130
12.5 Prescriptions.....	132
12.6 Conditions générales d'exécution des essais.....	132
12.7 Essais de type (essais de conception).....	132
12.8 Essais individuels et essais de réception	136

SECTION 13: PRESCRIPTIONS MÉCANIQUES POUR LES PARAFOUDRES

13.1 Généralités	138
13.2 Définitions.....	138
13.3 Identification et classification.....	138
13.4 Caractéristiques assignées	138
13.5 Prescriptions.....	140
13.6 Conditions générales d'exécution des essais.....	140
13.7 Essais de type (essais de conception)	140

Annexe A (normative) Conditions anormales de service.....	156
---	-----

Annexe B (normative) Essai de vérification de l'équivalence thermique entre un parafoudre complet et une fraction de parafoudre.....	158
--	-----

Annexe C (normative) Prescriptions relatives aux parafoudres pour courants de foudre élevés pour la gamme de tension de 1 kV à 52 kV	160
--	-----

Annexe D (normative) Méthode de vérification de la caractéristique de tension à fréquence industrielle en fonction du temps d'un parafoudre	164
---	-----

Annexe E (informative) Guide pour le choix de la classe de décharge de ligne.....	168
---	-----

Annexe F (normative) Essai de pollution artificielle relatif à la contrainte thermique des parafoudres à oxyde métallique à enveloppe en porcelaine comportant plusieurs éléments	172
---	-----

Annexe G (informative) Renseignements caractéristiques fournis dans les appels d'offres et les offres	204
---	-----

Annexe H (informative) Circuit type pour l'essai de fonctionnement aux chocs de courant de grande amplitude (voir 7.5.4).....	208
---	-----

Annexe J (informative) Circuit type de générateur de choc à constantes réparties pour l'essai de tenue aux chocs de courant de longue durée (voir 7.4).....	212
---	-----

Annexe K (informative) Tensions résiduelles maximales typiques	214
--	-----

Annexe L (informative) Procédure d'essai de vieillissement – Loi d'Arrhénius – Problèmes liés aux températures plus élevées	216
---	-----

Annexe M (informative) Guide pour la détermination de la répartition de tension dans les parafoudres à oxyde métallique	220
---	-----

Annexe N (normative) Considérations d'ordre mécanique	236
---	-----

Annexe O (informative) Essais de court-circuit	244
--	-----

Figure 1 – Essai de fonctionnement sur les parafoudres 10 000 A, classe de décharge de ligne 1 et les parafoudres 5 000 A, 2 500 A et 1 500 A, voir 7.5.4.....	150
--	-----

Figure 2 – Essai de fonctionnement sur les parafoudres 10 000 A, classes de décharge de ligne 2 et 3 et les parafoudres 20 000 A, classes de décharge de ligne 4 et 5, voir 7.5.5.....	152
--	-----

Figure 3 – Essai de stabilité thermique sur les parafoudres 10 000 A de classe de décharge de ligne 1 et les parafoudres 5 000 A, 2 500 A et 1 500 A, voir 8.2.2.....	154
---	-----

SECTION 12: LIQUID-IMMERSED ARRESTERS

12.1 General.....	131
12.2 Definitions.....	131
12.3 Arrester identification	131
12.4 Standard ratings.....	131
12.5 Requirements.....	133
12.6 General testing procedure	133
12.7 Type tests (design tests)	133
12.8 Routine tests and acceptance tests	137

SECTION 13: MECHANICAL CONSIDERATIONS FOR SURGE ARRESTERS

13.1 General.....	139
13.2 Definitions.....	139
13.3 Identification and classification	139
13.4 Standard ratings.....	139
13.5 Requirements.....	141
13.6 General testing procedure	141
13.7 Type tests (design tests)	141
Annex A (normative) Abnormal service conditions.....	157
Annex B (normative) Test to verify thermal equivalency between complete arrester and arrester section	159
Annex C (normative) Requirements for High Lightning Duty arresters for voltage range 1 kV to 52 kV.....	161
Annex D (normative) Procedure to verify the power frequency voltage versus time characteristics of an arrester.....	165
Annex E (informative) Guide to selection of line discharge class	169
Annex F (normative) Artificial pollution test with respect to the thermal stress on porcelain-housed multi-unit metal-oxide surge arresters.....	173
Annex G (informative) Typical information given with enquiries and tenders	205
Annex H (informative) Typical circuit for high current impulse operating duty test (see 7.5.4)	209
Annex J (informative) Typical circuit for a distributed constant impulse generator for the long duration current impulse withstand test (see 7.4).....	213
Annex K (informative) Typical maximum residual voltages	215
Annex L (informative) Ageing test procedure – Arrhenius law – Problems with higher temperatures.....	217
Annex M (informative) Guide for the determination of the voltage distribution along metal-oxide surge arresters.....	221
Annex N (normative) Mechanical considerations	237
Annex O (informative) Short-circuit tests	245
Figure 1 – Operating duty test on 10 000 A line discharge class 1, 5 000 A, 2 500 A and 1 500 A arresters, see 7.5.4.....	151
Figure 2 – Operating duty test on 10 000 A arresters line discharge classes 2 and 3 and 20 000 A arresters line discharge classes 4 and 5, see 7.5.5.....	153
Figure 3 – Thermal stability test on 10 000 A line discharge class 1, 5 000 A, 2 500 A and 1 500 A arresters, see 8.2.2.....	155

Figure 4 – Essai de stabilité thermique pour les parafoudres 10 000 A des classes de décharge de ligne 2 et 3 et les parafoudres 20 000 A des classes de décharge de ligne 4 et 5, voir 8.2.2	154
Figure 5 – Puissance absorbée par un parafoudre à températures élevées en fonction du temps	66
Figure 6 – Essai thermomécanique	92
Figure 7 – Exemple de configuration pour l'essai thermomécanique et orientation de l'effort de flexion	94
Figure 8 – Essai d'immersion dans l'eau	96
Figure 9 – Exemple de cycle de vieillissement climatique accéléré sous tension (conformément à la CEI 61109)	102
Figure 10 – Autre exemple de cycle de vieillissement climatique accéléré	104
Figure 11 – Tensions d'essai de tenue de l'isolation des parafoudres pour prise ou débouchables avec enveloppe blindée	124
Figure C.1 – Essai de fonctionnement sur les parafoudres 20 000 A pour courants de foudre élevés	162
Figure C.2 – Essai de stabilité thermique sur les parafoudres 20 000 A pour courants de foudre élevés, voir 8.2.2	162
Figure D.1 – Méthode de vérification de la caractéristique de tension à fréquence industrielle en fonction du temps. Essai des parafoudres 10 000 A, classe de décharge de ligne 1, 5 000 A, 2 500 A et 1 500 A	164
Figure D.2 – Méthode de vérification de la caractéristique de tension à fréquence industrielle en fonction du temps. Essai des parafoudres 20 000 A pour courants de foudre élevés	166
Figure D.3 – Méthode de vérification de la caractéristique de tension à fréquence industrielle en fonction du temps. Essai des parafoudres 10 000 A, classes de décharge de ligne 2 et 3 et parafoudres 20 000 A, classes de décharge de ligne 4 et 5	166
Figure E.1 – Energie spécifique en kJ par kV de tension assignée en fonction du rapport de la tension résiduelle aux chocs de manœuvre (U_a) à la valeur efficace de la tension assignée U_r du parafoudre	170
Figure F.1 – Organigramme démontrant la procédure permettant de déterminer le préchauffage d'un échantillon en essai	178
Figure H.1 – Schéma de circuit type pour l'essai de fonctionnement aux chocs de courant de grande amplitude	208
Figure J.1 – Circuit type de générateur de chocs à constantes réparties pour l'essai aux chocs de courant de longue durée	212
Figure M.1 – Installation triphasée type de parafoudres	230
Figure M.2 – Circuit équivalent simplifié multi-étages d'un parafoudre	230
Figure M.3 – Géométrie du modèle de parafoudre	232
Figure M.4 – Exemple de caractéristique courant-tension en valeurs réduites à +20 °C pour une résistance à oxydes métalliques dans la région des courants de fuite	234
Figure M.5 – Répartition de tension calculée le long de la colonne de résistances dans le cas B	234
Figure N.1 – Moment de flexion pour un parafoudre à plusieurs unités	236
Figure N.2 – Fraction de parafoudre	240
Figure N.3 – Dimensions du parafoudre	242
Figure O.1 – Positionnement du fil fusible dans différents cas (pour les parafoudres avec limiteur de pression)	258
Figure O.2 – Configuration d'essai pour les parafoudres avec limiteur de pression	260
Figure O.3 – Configuration d'essai pour les parafoudres sans limiteur de pression	260

Figure 4 – Thermal stability test on 10 000 A arresters line discharge classes 2 and 3 and 20 000 A arresters line discharge classes 4 and 5, see 8.2.2	155
Figure 5 – Power losses of arrester at elevated temperatures versus time	67
Figure 6 – Thermomechanical test	93
Figure 7 – Example of the test arrangement for the thermomechanical test and direction of the cantilever load	95
Figure 8 – Water immersion	97
Figure 9 – Example of an accelerated weather ageing cycle under operating voltage (according to IEC 61109)	103
Figure 10 – Another example of an accelerated weather ageing cycle	105
Figure 11 – Test set-up for insulation withstand test of separable arresters in insulating housings	125
Figure C.1 – Operating duty test on 20 000 A High Lightning Duty arresters	163
Figure C.2 – Thermal stability test on 20 000 A High Lightning Duty arresters, see 8.2.2	163
Figure D.1 – Procedure to verify the power frequency voltage versus time characteristics of an arrester. Test on 10 000 A line discharge class 1, 5 000 A, 2 500 A and 1 500 A arresters	165
Figure D.2 – Procedure to verify the power frequency voltage versus time characteristics of an arrester. Test on 20 000 A High Lightning Duty arresters	167
Figure D.3 – Procedure to verify the power frequency voltage versus time characteristics of an arrester. Test on 10 000 A arresters, line discharge classes 2 and 3 and 20 000 A arresters, line discharge classes 4 and 5	167
Figure E.1 – Specific energy in kJ per kV rating dependant on the ratio of switching impulse residual voltage (U_a) to the r.m.s. value of the rated voltage U_r of the arrester	171
Figure F.1 – Flow-chart showing the procedure for determining the preheating of a test sample	179
Figure H.1 – Typical test circuit diagram for high current impulse operating duty test	209
Figure J.1 – Typical distributed constant impulse generator for the long duration impulse test	213
Figure M.1 – Typical three-phase arrester installation	231
Figure M.2 – Simplified multi-stage equivalent circuit of an arrester	231
Figure M.3 – Geometry of arrester model	233
Figure M.4 – Example of voltage-current characteristic of metal-oxide resistors at +20 °C in the leakage current region	235
Figure M.5 – Calculated voltage stress along the resistor column in case B	235
Figure N.1 – Bending moment – multi-unit surge arrester	237
Figure N.2 – Surge arrester unit	241
Figure N.3 – Surge arrester dimensions	243
Figure O.1 – Position of the fuse wire in different cases (for arresters with pressure relief devices)	259
Figure O.2 – Circuit layout for surge arresters with pressure relief device	261
Figure O.3 – Circuit layout of surge arresters without pressure relief device	261

Tableau 1 – Classification des parafoudres et essais.....	36
Tableau 2 – Echelons de tensions assignées.....	38
Tableau 3 – Valeurs de crête des courants pour l'essai de vérification de la tension résiduelle aux chocs de manœuvre	56
Tableau 4 – Paramètres pour l'essai de décharge de ligne sur les parafoudres 20 000 A et 10 000 A	58
Tableau 5 – Prescriptions pour l'essai aux chocs de courant de longue durée sur les parafoudres 5 000 et 2 500 A	60
Tableau 7 – Détermination des tensions assignée et de service permanent majorées	66
Tableau 6 – Prescriptions pour les chocs de courant de grande amplitude	70
Tableau 8 – Parafoudres blindés triphasés 10 000 A et 20 000 A – Tensions de tenue prescrites.....	118
Tableau 9 – Parafoudres blindés triphasés 1 500 A, 2 500 A et 5 000 A – Tensions de tenue prescrites.....	120
Tableau 10 – Tensions d'essai de tenue de l'isolation des parafoudres débrochables non blindés	126
Tableau 11 – Tensions d'essai de tenue de l'isolation de l'enveloppe des parafoudres débrochables ou pour prise blindés	126
Tableau 12 – Essais de décharges partielles internes pour les parafoudres débrochables et les parafoudres pour prise	130
Tableau C.1 – Prescriptions relatives aux parafoudres 20 000 A pour courants de foudre élevés	160
Tableau F.1 – Charge moyenne externe pour différentes sévérités de la pollution.....	180
Tableau F.2 – Caractéristiques de l'échantillon utilisé lors de l'essai de pollution	182
Tableau F.3a – Exigences relatives à l'appareil de mesure de la charge	184
Tableau F.3b – Exigences relatives à l'appareil de mesure de la température	186
Tableau F.4 – Résultats du calcul de $\Delta T_{z \max}$ pour l'exemple choisi	198
Tableau F.5 – Résultats de l'essai sous brouillard salin pour l'exemple choisi	198
Tableau F.6 – Valeurs calculées de ΔT_z et T_{OD} après 5 cycles pour l'exemple choisi	200
Tableau F.7 – Valeurs calculées de ΔT_z et T_{OD} après 10 cycles pour l'exemple choisi	202
Tableau K.1 – Tensions résiduelles pour les parafoudres 20 000 A et 10 000 A Valeurs rapportées à la tension assignée	214
Tableau K.2 – Tensions résiduelles pour les parafoudres 5 000 A, 2 500 A et 1 500 A Valeurs rapportées à la tension assignée	214
Tableau L.1 – Durée de vie minimale prévisible démontrée.....	216
Tableau L.2 – Relation entre durée d'essai à 115 °C et durée équivalente à la limite supérieure de la température ambiante	218
Tableau M.1 – Résultats d'exemples de calcul.....	228
Tableau O.1 – Méthode de préparation des parafoudres avec limiteur de pression pour initier le courant de court-circuit	246
Tableau O.2 – Méthode de préparation des parafoudres sans limiteur de pression pour initier le courant de court-circuit	248
Tableau O.3 – Courants prescrits pour les essais de court-circuit	256

Table 1 – Arrester classification and test requirements	37
Table 2 – Steps of rated voltages	39
Table 3 – Peak currents for switching impulse residual voltage test	57
Table 4 – Parameters for the line discharge test on 20 000 A and 10 000 A arresters.....	59
Table 5 – Requirements for the long-duration current impulse test on 5 000 A and 2 500 A arresters	61
Table 7 – Determination of elevated rated and continuous operating voltages	67
Table 6 – Requirements for high current impulses	71
Table 8 – 10 000 A and 20 000 A three-phase GIS-arresters – Required withstand voltages.....	119
Table 9 – 1 500 A, 2 500 A and 5 000 A three-phase GIS-arresters – Required withstand voltages.....	121
Table 10 – Insulation withstand test voltages for unscreened separable arresters.....	127
Table 11 – Insulation withstand test voltages for deadfront arresters or separable arresters in a screened housing.....	127
Table 12 – Partial discharge test values for separable and deadfront arresters	131
Table C.1 – Test requirements on 20 000 A High Lightning Duty arresters	161
Table F.1 – Mean external charge for different pollution severities	181
Table F.2 – Characteristic of the sample used for the pollution test.....	183
Table F.3a – Requirements for the device used for the measurement of the charge	185
Table F.3b – Requirements for the device used for the measurement of the temperature	187
Table F.4 – Calculated values of $\Delta T_{z \max}$ for the selected example	199
Table F.5 – Results of the salt fog test for the selected example	199
Table F.6 – Calculated values of ΔT_z and of T_{OP} after 5 cycles for the selected example	201
Table F.7 – Calculated values of ΔT_z and of T_{OP} after 10 cycles for the selected example	203
Table K.1 – Residual voltages for 20 000 A and 10 000 A arresters in per unit of rated voltage	215
Table K.2 – Residual voltages for 5 000 A, 2 500 A and 1 500 A arresters in per unit of rated voltage.....	215
Table L.1 – Minimum demonstrated life time prediction.....	217
Table L.2 – Relationship between test durations at 115 °C and equivalent time at upper limit of ambient temperature	219
Table M.1 – Results from example calculations	229
Table O.1 – Method of preparing arresters with a pressure relief device for conducting short-circuit current	247
Table O.2 – Method of preparing arresters without a pressure relief device for conducting short-circuit current.....	249
Table O.3 – Required currents for short-circuit tests	257

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

PARAFOUDRES –

Partie 4: Parafoudres à oxyde métallique sans éclateurs pour réseaux à courant alternatif

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI, entre autres activités, publie des Normes internationales. Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales. Ils sont publiés comme normes, spécifications techniques, rapports techniques ou guides et agréés comme tels par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
- 6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Norme internationale peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La présente Norme internationale a été établie par le comité d'études 37 de la CEI: Parafoudres.

La présente version consolidée de la CEI 60099-4 est issue de la première édition (1991) [documents 37/BC38 et 37/BC45], de son amendement 1 (1998) [documents 37/192/FDIS et 37/198/RVD] et de son amendement 2 (2001) [documents 37/268/FDIS et 37/270/RVD].

Elle porte le numéro d'édition 1.2.

Une ligne verticale dans la marge indique où la publication de base a été modifiée par les amendements 1 et 2.

Les annexes A, B, C, D, F et N font partie intégrante de la présente norme.

Les annexes E, G, H, J, K, L, M et O sont données uniquement à titre d'information.

Le comité a décidé que le contenu de la publication de base et de ses amendements ne sera pas modifié avant 2003. A cette date, la publication sera

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

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

SURGE ARRESTERS –

Part 4: Metal-oxide surge arresters without gaps for a.c. systems

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the 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, the IEC publishes International Standards. 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. The 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 the 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 National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical specifications, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this International Standard may be the subject of patent rights. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

This International Standard has been prepared by IEC technical committee 37: Surge arresters.

This consolidated version of IEC 60099-4 is based on the first edition (1991) [documents 37(CO)38 and 37(CO)45], its amendment 1 (1998) [documents 37/192/FDIS and 37/198/RVD] and its amendment 2 (2001) [documents 37/268/FDIS and 37/270/RVD].

It bears the edition number 1.2.

A vertical line in the margin shows where the base publication has been modified by amendments 1 and 2.

Annexes A, B, C, D, F and N form an integral part of this standard.

Annexes E, G, H, J, K, L, M and O are for information only.

The committee has decided that the contents of the base publication and its amendments will remain unchanged until 2003. At this date, the publication will be

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

INTRODUCTION

Cette Norme internationale contient des informations minimales pour spécifier et pour essayer les parafoudres sans éclateur à oxyde métallique destinés à être utilisés sur les réseaux de puissance en courant alternatif.

Les parafoudres décrits dans cette norme sont couramment utilisés dans des installations reliées à des lignes aériennes, à la place des parafoudres à éclateurs à résistance variable qui font l'objet de la CEI 60099-1. La protection des circuits à basse tension (inférieure à 3 kV) est à l'étude.

Cette norme comprend une procédure de vieillissement accéléré destinée à simuler l'effet à long terme de la tension et de la température sur les parafoudres à oxyde métallique. La nécessité d'une telle procédure est liée au fait que les résistances composant le parafoudre sont soumises en permanence à la tension du réseau pendant toute la durée d'utilisation du parafoudre.

INTRODUCTION

This International Standard presents the minimum criteria for the requirements and testing of gapless metal-oxide surge arresters that are applied to a.c. power systems.

Arresters covered by this standard are commonly applied to live/front overhead installations in place of the non-linear resistor type gapped arresters covered in IEC 60099-1. Protection of low-voltage circuits, below 3 kV, is under consideration.

An accelerated ageing procedure is incorporated in the standard to simulate the long-term effects of voltage and temperature on the metal-oxide arrester. This is necessary since the arrester's resistor elements will have system power frequency voltage continuously applied across them during the arrester's time in service.

PARAFOUDRES –

Partie 4: Parafoudres à oxyde métallique sans éclateurs pour réseaux à courant alternatif

SECTION 1: GÉNÉRALITÉS

1.1 Domaine d'application

La présente Norme internationale s'applique aux parafoudres à résistance variable à oxyde métallique sans éclateur conçus pour limiter les surtensions sur les réseaux à courant alternatif.

1.2 Références normatives

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

CEI 60060-1:1989, *Techniques des essais à haute tension – Première partie: Définitions et prescriptions générales relatives aux essais*

CEI 60068-2-11:1981, *Essais d'environnement – Deuxième partie: Essais. Essai Ka: Brouillard salin*

CEI 60068-2-14:1984, *Essais d'environnement – Deuxième partie: Essais. Essai N: Variations de température*

CEI 60068-2-17:1994, *Essais fondamentaux climatiques et de robustesse mécanique – Partie 2: Essais – Essai Q: Étanchéité*

CEI 60068-2-42:1982, *Essais d'environnement – Deuxième partie: Essais. Essai Kc: Essai à l'anhydride sulfureux pour contacts et connexions*

CEI 60071: *Coordination de l'isolement*

CEI 60071-2:1976, *Coordination de l'isolement – Deuxième partie: Guide d'application*

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

CEI 60099-1:1991, *Parafoudres – Partie 1: Parafoudres à résistance variable avec éclateurs pour réseaux à courant alternatif*

CEI 60099-3:1990, *Parafoudres – Partie 3: Essais de pollution artificielle des parafoudres*

CEI 60270:1981, *Mesures des décharges partielles*

CEI 60298:1990, *Appareillage sous enveloppe métallique pour courant alternatif de tensions assignées supérieures à 1 kV et inférieures ou égales à 52 kV*

CEI 60507:1991, *Essais sous pollution artificielle des isolateurs pour haute tension destinés aux réseaux à courant alternatif*

CEI 60517:1990, *Appareillage sous enveloppe métallique à isolation gazeuse de tension assignée égale ou supérieure à 72,5 kV*

SURGE ARRESTERS –

Part 4: Metal-oxide surge arresters without gaps for a.c. systems

SECTION 1: GENERAL

1.1 Scope

This International Standard applies to non-linear metal-oxide resistor type surge arresters without spark gaps designed to limit voltage surges on a.c. power circuits.

1.2 Normative references

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

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

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

IEC 60068-2-14:1984, *Environmental testing – Part 2: Tests. Test N: Change of temperature*

IEC 60068-2-17:1994, *Basic environmental testing procedures – Part 2: Tests – Test Q: Sealing*

IEC 60068-2-42:1982, *Environmental testing – Part 2: Tests. Test Kc: Sulphur dioxide test for contacts and connections*

IEC 60071: *Insulation co-ordination*

IEC 60071-2:1976, *Insulation co-ordination – Part 2: Application guide*

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

IEC 60099-1:1991, *Surge arresters – Part 1: Non-linear resistor type gapped arresters for a.c. systems*

IEC 60099-3:1990, *Surge arresters – Part 3: Artificial pollution testing of surge arresters*

IEC 60270:1981, *Partial discharge measurements*

IEC 60298:1990, *A.C. metal-enclosed switchgear and controlgear for rated voltages above 1 kV to and up to and including 52 kV*

IEC 60507:1991, *Artificial pollution tests on high-voltage insulators to be used in a.c. systems*

IEC 60517:1990, *Gas-insulated metal-enclosed switchgear for rated voltages of 72,5 kV and above*

CEI 60694:1996, *Spécifications communes aux normes de l'appareillage à haute tension*

CEI 60721-3-2:1997, *Classification des conditions d'environnement – Partie 3: Classification des groupements des agents d'environnement et de leurs sévérités – Section 2: Transport*

CEI 60815:1986, *Guide pour le choix des isolateurs sous pollution*

CEI 61109:1992, *Isolateurs composites destinés aux lignes aériennes à courant alternatif de tension nominale supérieure à 1 000 V – Définitions, méthodes d'essai et critères d'acceptation*

CEI 61166:1993, *Disjoncteurs à courant alternatif à haute tension – Guide pour la qualification sismique des disjoncteurs à courant alternatif à haute tension*

CEI 61330:1995, *Postes préfabriqués haute tension/basse tension*

IEEE C62.11:1999, *Standard for Metal-Oxide Surge Arresters for Alternating Current Power Circuits* (publié en anglais seulement)

SECTION 2: DÉFINITIONS

Pour les besoins de la présente Norme internationale, les définitions suivantes s'appliquent.

2.1

parafoudre à oxyde métallique sans éclateur

parafoudre à résistances variables à oxyde métallique connectées en série et/ou en parallèle, ne comportant pas d'éclateurs en série ou en parallèle

2.2

résistance variable à oxyde métallique

partie d'un parafoudre qui, par sa caractéristique non linéaire 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.

2.3

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 groupe de résistances non linéaires à oxyde métallique pour fixer la répartition de la tension le long de la colonne de résistances à oxyde métallique

2.4

anneau de garde d'un parafoudre

une partie métallique, généralement de forme circulaire, montée pour modifier électrostatiquement la répartition de la tension le long du parafoudre

2.5

fraction de parafoudre

partie complète d'un parafoudre, correctement assemblée, nécessaire pour représenter le comportement d'un parafoudre complet lors d'un essai particulier. Une fraction de parafoudre n'est pas nécessairement un élément de parafoudre

IEC 60694:1996, *Common specifications for high-voltage switchgear and controlgear standards*

IEC 60721-3-2:1997, *Classification of environmental conditions – Part 3: Classification of groups of environmental parameters and their severities – Section 2: Transportation*

IEC 60815:1986, *Guide for the selection of insulators in respect of polluted conditions*

IEC 61109:1992, *Composite insulators for a.c. overhead lines with a nominal voltage greater than 1 000 V – Definitions, test methods and acceptance criteria*

IEC 61166:1993, *High-voltage alternating current circuit-breakers – Guide for seismic qualification of high-voltage alternating current circuit-breakers*

IEC 61330:1995, *High-voltage/low voltage prefabricated substations*

IEEE C62.11:1999, *Standard for Metal-Oxide Surge Arresters for Alternating Current Power Circuits*

SECTION 2: DEFINITIONS

For the purpose of this International Standard, the following definitions apply.

2.1

metal-oxide surge arrester without gaps

an arrester having non-linear metal-oxide resistors connected in series and/or in parallel without any integrated series or parallel spark gaps

2.2

non-linear metal-oxide resistor

the 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

2.3

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 metal-oxide resistor stack

2.4

grading ring of an arrester

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

2.5

section of an arrester

a complete, suitably assembled part of an arrester necessary to represent the behaviour of a complete arrester with respect to a particular test. A section of an arrester is not necessarily a unit of an arrester

2.6

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. Un élément de parafoudre n'est pas nécessairement une fraction de parafoudre

2.7

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

2.8

tension assignée d'un parafoudre (U_r)

valeur maximale de la tension efficace à fréquence industrielle admissible entre ses bornes pour laquelle le parafoudre est prévu pour fonctionner correctement dans des conditions de surtension temporaires comme il est défini dans les essais de fonctionnement, voir 7.5. La tension assignée est utilisée comme un paramètre de référence pour la spécification des caractéristiques de fonctionnement

NOTE La tension assignée comme définie dans le présent document est la tension à fréquence industrielle de 10 secondes, utilisée pour vérifier la stabilité après application des chocs de courant de grande amplitude ou de longue durée lors de l'essai de fonctionnement. Les essais utilisés pour définir la tension assignée dans la CEI 60099-1, ainsi que dans certaines Normes nationales, impliquent l'application de chocs répétés au courant nominal pendant que la tension à fréquence industrielle est appliquée. On attire l'attention sur le fait que ces deux méthodes utilisées pour définir les valeurs assignées ne produisent pas nécessairement des valeurs équivalentes (une résolution de cette différence est à l'étude).

2.9

tension de régime permanent d'un parafoudre (U_c)

la tension de régime permanent est la valeur spécifiée admissible de la tension efficace à fréquence industrielle qui peut être appliquée de façon continue entre les bornes du parafoudre selon 7.5

2.10

fréquence nominale d'un parafoudre

fréquence du réseau pour laquelle le parafoudre est prévu

2.11

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. Ce terme s'applique aux perforations électriques de diélectriques solides, liquides et gazeux, et à leurs combinaisons

NOTE Une décharge disruptive dans un isolant électrique solide entraîne une perte permanente de la rigidité diélectrique. Dans un isolant liquide ou gazeux, la perte de la rigidité diélectrique peut n'être que temporaire.

2.12

perforation (claquage)

décharge disruptive à travers un solide

2.13

contournement

décharge disruptive le long d'une surface solide

2.6**unit of an arrester**

a 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. A unit of an arrester is not necessarily a section of an arrester

2.7**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

2.8**rated voltage of an arrester (U_r)**

the maximum permissible r.m.s. value of power frequency voltage between its terminals at which it is designed to operate correctly under temporary overvoltage conditions as established in the operating duty tests, see 7.5. The rated voltage is used as a reference parameter for the specification of operating characteristics

NOTE The rated voltage as defined in this document is the 10 s power frequency voltage used in the operating duty test after high current or long duration impulses. Tests used to establish the voltage rating in IEC 60099-1, as well as some National Standards, involve the application of repetitive impulses at nominal current with power frequency voltage applied. Attention is drawn to the fact that these two methods used to establish rating do not necessarily produce equivalent values. (A resolution to this discrepancy is under consideration.)

2.9**continuous operating voltage of an arrester (U_c)**

the continuous operating voltage is the designated permissible r.m.s. value of power frequency voltage that may be applied continuously between the arrester terminals in accordance with 7.5

2.10**rated frequency of an arrester**

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

2.11**disruptive discharge**

the phenomena associated with the failure of insulation under electric stress, which include a collapse of voltage and the passage of current. The term applies to electrical breakdowns in solid, liquid and gaseous dielectric, and combinations of these

NOTE 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.

2.12**puncture (breakdown)**

a disruptive discharge through a solid.

2.13**flashover**

a disruptive discharge over a solid surface

2.14

choc

onde de tension ou de courant unidirectionnelle qui, sans oscillations appréciables, croît rapidement jusqu'à une valeur maximale et tombe, habituellement moins rapidement, à zéro avec, éventuellement, de petites ondes de polarité opposée

Les paramètres qui définissent un choc de tension ou de courant sont la polarité, la valeur de crête, la durée du front et la durée jusqu'à la mi-valeur sur la queue

2.15

énoncé de la forme d'un choc

combinaison de deux valeurs exprimée en microsecondes, la première représentant la durée conventionnelle du front (T_1) et la seconde la durée conventionnelle jusqu'à la mi-valeur sur la queue (T_2). L'onde est représentée par T_1/T_2 , le signe «/» n'ayant aucune signification mathématique

2.16

choc de courant à front raide

choc de courant dont la durée conventionnelle de front est de 1 μ s, les limites de réglage doivent être telles que l'on mesure des valeurs comprises entre 0,9 μ s et 1,1 μ s. La durée conventionnelle jusqu'à mi-valeur sur la queue ne doit pas dépasser 20 μ s

NOTE Pour la mesure de la tension résiduelle lors des essais de type (voir 7.3), la durée jusqu'à mi-valeur sur la queue n'est pas un paramètre critique et aucune tolérance n'est imposée.

2.17

choc de courant de foudre

choc de courant 8/20; les limites de réglage doivent être telles que l'on mesure des valeurs comprises entre 7 μ s et 9 μ s pour la durée conventionnelle de front et entre 18 μ s et 22 μ s pour la durée jusqu'à mi-valeur sur la queue

NOTE Pour la mesure de la tension résiduelle lors des essais de type (voir 7.3), la durée jusqu'à mi-valeur sur la queue n'est pas un paramètre critique et aucune tolérance n'est imposée.

2.18

choc de courant de longue durée

choc rectangulaire qui croît rapidement jusqu'à une valeur maximale, se maintient à peu près constant pendant une durée déterminée et tombe ensuite rapidement à zéro. Les paramètres qui définissent un choc rectangulaire sont la polarité, la valeur de crête, la durée conventionnelle de la crête et la durée conventionnelle totale

2.19

valeur de crête d'un choc

valeur maximale de la tension ou du courant lors d'un choc. Certaines oscillations superposées peuvent être négligées, voir 7.4.2c et 7.5.4.2e

2.20

front d'un choc

partie d'un choc précédant la crête

2.21

queue d'un choc

partie d'un choc postérieure à la crête

2.14**impulse**

a 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

The parameters which define a voltage or current impulse are polarity, peak value, front time and time to half value on the tail.

2.15**designation of an impulse shape**

a 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). It is written as T_1/T_2 , both in microseconds, the sign "/" having no mathematical meaning

2.16**steep current impulse**

a current impulse with a virtual front time of 1 μs with limits in the adjustment of equipment such that the measured values are from 0,9 μs to 1,1 μs . The virtual time to half value on the tail shall be not longer than 20 μs

NOTE The time to half value on the tail is not critical and may have any tolerance during the residual voltage type tests, see 7.3.

2.17**lightning current impulse**

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

NOTE The time to half value on the tail is not critical and may have any tolerance during the residual voltage type tests, see 7.3.

2.18**long duration current impulse**

a rectangular impulse which rises rapidly to maximum value, remains substantially constant for a specified period and then falls rapidly to zero. The parameters which define a rectangular impulse are polarity, peak value, virtual duration of the peak and virtual total duration

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

the maximum value of a voltage or current impulse. Superimposed oscillations may be disregarded, see 7.4.2c and 7.5.4.2e

2.20**front of an impulse**

the part of an impulse which occurs prior to the peak

2.21**tail of an impulse**

the part of an impulse which occurs after the peak

2.22

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. Pour les chocs de courant, les points de référence sont à 10 % et 90 % de la valeur de crête

NOTE 1 Cette définition ne s'applique que lorsque l'échelle des abscisses et celle des ordonnées sont toutes deux linéaires.

NOTE 2 S'il existe des oscillations sur le front, il convient de prendre les points de référence sur la courbe moyenne tracée à travers les oscillations.

2.23

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 S'il existe des oscillations sur le front, il convient de prendre les points de référence à 10 % et 90 % sur la courbe moyenne tracée à travers les oscillations.

2.24

raideur conventionnelle du front d'un choc

quotient de la valeur de crête par la durée conventionnelle du front du choc

2.25

durée conventionnelle jusqu'à la 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

2.26

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

2.27

durée conventionnelle totale d'un choc rectangulaire

temps pendant lequel l'amplitude du choc est supérieure à 10 % de sa valeur de crête. 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

2.28

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

2.29

courant de décharge d'un parafoudre

onde de courant qui circule à travers le parafoudre

2.30

courant nominal de décharge d'un parafoudre (I_n)

valeur de crête du choc de courant de foudre (voir 2.17) utilisé pour désigner un parafoudre

2.31

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

2.22**virtual origin of an impulse**

the 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. For current impulses the reference points shall be 10 % and 90 % of the peak value

NOTE 1 This definition applies only when scales of both ordinate and abscissa are linear.

NOTE 2 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.

2.23**virtual front time of a current impulse (T_1)**

the 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 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.

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

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

2.25**virtual time to half value on the tail of an impulse (T_2)**

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

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

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

2.27**virtual total duration of a rectangular impulse**

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

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

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

2.29**discharge current of an arrester**

the impulse current which flows through the arrester

2.30**nominal discharge current of an arrester (I_n)**

the peak value of lightning current impulse (see 2.17) which is used to classify an arrester

2.31**high current impulse of an arrester**

the 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

2.32

courant de choc de manœuvre d'un parafoudre

valeur de crête du courant de décharge dont la durée conventionnelle du front est comprise entre 30 μ s et 100 μ s, et dont la durée conventionnelle jusqu'à mi-valeur sur la queue est d'environ deux fois la durée conventionnelle du front

2.33

courant permanent d'un parafoudre

courant circulant à travers le parafoudre quand celui-ci est soumis à la tension de régime permanent

NOTE 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 en essai peut donc être différent du courant permanent d'un parafoudre complet.

A des fins de comparaison, le courant permanent est exprimé soit par sa valeur efficace, soit par sa valeur de crête.

2.34

courant de référence d'un parafoudre

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 d'un parafoudre. Le courant de référence doit être suffisamment élevé pour rendre négligeables les effets des capacités parasites aux tensions de référence mesurées sur les éléments de parafoudre (avec leur système de répartition) et doit être spécifié par le constructeur

NOTE Fonction du courant de décharge nominal et/ou de la classe de décharge de ligne du parafoudre, le courant de référence sera 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.

2.35

tension de référence d'un parafoudre (U_{ref})

valeur de crête divisée par $\sqrt{2}$ de la tension à fréquence industrielle qui doit être appliquée aux bornes du parafoudre pour que celui-ci soit parcouru par le courant de référence. La tension de référence d'un parafoudre à plusieurs éléments est la somme des tensions de référence des éléments séparés

NOTE La mesure de la tension de référence est nécessaire au choix d'un échantillon d'essai convenable dans l'essai de fonctionnement, voir 7.5

2.36

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 L'expression «discharge voltage» est utilisée dans certains pays.

2.37

caractéristique de tenue d'un parafoudre sous tension à fréquence industrielle en fonction du temps

la caractéristique de tenue sous tension à fréquence industrielle en fonction du temps définit les durées maximales pendant lesquelles les tensions à fréquence industrielle correspondantes peuvent être appliquées aux parafoudres sans entraîner de détérioration ou d'instabilité thermique, dans des conditions spécifiées selon 5.10

2.38

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

2.32**switching current impulse of an arrester**

the peak value of discharge current having a virtual front time greater than 30 μ s but less than 100 μ s and a virtual time to half value on the tail of roughly twice the virtual front time

2.33**continuous current of an arrester**

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

NOTE 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.

The continuous current is, for comparison purposes, expressed either by its r.m.s. or peak value.

2.34**reference current of an arrester**

the reference current is the peak value (the higher peak value of the two polarities if the current is asymmetrical) of the resistive component of a power frequency current used to determine the reference voltage of the arrester. The reference current shall 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 shall be specified by the manufacturer

NOTE Depending on the nominal discharge current and/or line discharge class of the arrester, 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.

2.35**reference voltage of an arrester (U_{ref})**

the peak value of power frequency voltage divided by $\sqrt{2}$ which shall be applied to the arrester to obtain the reference current. The reference voltage of a multi-unit arrester is the sum of the reference voltages of the individual units

NOTE Measurement of reference voltage is necessary for the selection of a correct test sample in the operating duty test, see 7.5.

2.36**residual voltage of an arrester (U_{res})**

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

NOTE The term "discharge voltage" is used in some countries.

2.37**power frequency withstand voltage versus time characteristic of an arrester**

the power frequency withstand voltage versus time characteristic shows the maximum time durations for which corresponding power frequency voltages may be applied to arresters without causing damage or thermal instability, under specified conditions in accordance with 5.10

2.38**prospective current of a circuit**

the 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

2.39

caractéristiques de protection d'un parafoudre

combinaison des caractéristiques suivantes:

- a) Tension résiduelle pour les chocs de courant à front raide selon 7.3.1.
- b) Caractéristique de la tension résiduelle en fonction du courant de décharge pour les chocs de foudre selon 7.3.2.

Le niveau de protection aux chocs de foudre du parafoudre est la tension résiduelle maximale pour le courant de décharge nominal.

- c) Tension résiduelle pour les chocs de manœuvre selon 7.3.3.

Le niveau de protection aux chocs de manœuvre du parafoudre est la tension résiduelle maximale aux courants de choc de manœuvre spécifiés

2.40

emballement thermique d'un parafoudre

le terme «emballement thermique» est utilisé pour décrire une situation où la puissance absorbée de façon prolongée par un parafoudre dépasse la capacité de dissipation de l'enveloppe et des connexions, et conduit à une augmentation cumulative de la température des varistances qui se termine par une défaillance du parafoudre

2.41

stabilité thermique d'un parafoudre

un parafoudre est thermiquement stable si, à la suite d'un fonctionnement ayant entraîné un échauffement, la température des varistances baisse quand le parafoudre est soumis à la tension spécifiée de service permanent et dans des conditions ambiantes spécifiées

2.42

dispositif de déconnexion pour parafoudre

dispositif permettant de déconnecter du réseau un parafoudre en cas de défaillance de ce dernier afin d'éviter un défaut permanent sur le réseau et de signaler de façon visible le parafoudre défectueux

NOTE L'interruption du courant de défaut dans le parafoudre pendant l'ouverture du circuit ne dépend généralement pas du dispositif de déconnexion.

2.43

essais de type

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. Ces essais ne doivent être repris sur un appareil que si des modifications viennent en changer les caractéristiques. Dans ce cas, seuls les essais concernés seront repris

2.44

essais individuels

essais effectués sur chaque parafoudre, élément ou matériau, pour s'assurer que le produit répond aux spécifications

2.45

essais de réception

essais effectués sur les parafoudres ou sur des prélèvements d'une fourniture après accord entre le constructeur et le client

2.39**protective characteristics of an arrester**

the combination of the following:

- a) Residual voltage for steep current impulse according to 7.3.1.
- b) Residual voltage versus discharge current characteristic for lightning impulses according to 7.3.2.

The lightning impulse protection level of the arrester is the maximum residual voltage for the nominal discharge current.

- c) Residual voltage for switching impulse according to 7.3.3.

The switching impulse protection level of the arrester is the maximum residual voltage at the specified switching impulse currents.

2.40**thermal runaway of an arrester**

the term "thermal runaway" is used to describe a 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 resistor elements culminating in failure

2.41**thermal stability of an arrester**

an arrester is thermally stable if, after an operating duty causing temperature rise, the temperature of the resistor elements decreases with time when the arrester is energized at specified continuous operating voltage and at specified ambient conditions

2.42**arrester disconnector**

a device for disconnecting an arrester from the system in the event of arrester failure, to prevent a persistent fault on the system and to give visible indication of the failed arrester

NOTE Clearing of the fault current through the arrester during disconnection generally is not a function of the device.

2.43**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. 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

2.44**routine tests**

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

2.45**acceptance tests**

tests which are made when it has been agreed between the manufacturer and the purchaser that the arresters or representative samples of an order are to be tested

2.46 Enveloppe et ailettes

2.46.1

enveloppe

élément isolant externe d'un parafoudre qui procure la ligne de fuite nécessaire et protège les éléments internes contre le milieu environnant

NOTE Une enveloppe peut être constituée de plusieurs éléments assurant la résistance mécanique et la protection contre le milieu environnant.

2.46.2

ailette

élément isolant saillant de l'enveloppe destiné à en augmenter la ligne de fuite

2.47

parafoudre à enveloppe synthétique

voir paragraphe 2.60

2.48

indicateur de défaut

dispositif destiné à donner une indication de la défaillance d'un parafoudre mais qui ne le déconnecte pas du réseau

2.49

fraction électrique

portion de parafoudre dont chacune des extrémités se termine par une électrode soumise au milieu environnant

NOTE Une fraction électrique est identique à une "élément de parafoudre" telle que définie en 2.6.

2.50

fraction mécanique

portion de parafoudre à l'intérieur de laquelle un dispositif mécanique empêche le déplacement axial des résistances

2.51

parafoudre sous enveloppe métallique à isolation gazeuse (parafoudre blindé)

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 La pression du gaz est habituellement supérieure à 1 bar = 10^5 Pa.

NOTE 2 Parafoudre utilisé dans les appareillages à isolation gazeuse

2.52

parafoudre du type débrochable (parafoudre débrochable)

parafoudre assemblé dans une enveloppe isolante ou blindée assurant l'isolation du système, destiné à être installé dans une enceinte pour assurer la protection des matériels et des réseaux de distribution. Les connexions électriques peuvent être assurées par un contact glissant ou par visserie; cependant, tous les parafoudres débrochables se raccordent hors tension

NOTE L'utilisation de parafoudres débrochables est une pratique commune en Europe.

2.53

parafoudre à raccorder sur prise (parafoudre pour prise)

parafoudre monté dans une enveloppe blindée, assurant l'isolation du système et la continuité du blindage à la terre, et destiné à être installé dans une enceinte pour assurer la protection des matériels et des réseaux de distribution enterrés ou montés sur poteaux

NOTE 1 La plupart des parafoudres pour prise se raccordent sous tension.

NOTE 2 Les parafoudres pour prise sont couramment utilisés aux USA.

2.46 Housing and sheds

2.46.1

housing

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

NOTE A housing may consist of several parts providing mechanical strength and protection against the environment.

2.46.2

shed

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

2.47

polymer housed surge arrester

see subclause 2.60.

2.48

fault indicator

device intended to provide an indication that the arrester is faulty, and which does not disconnect the arrester from the system

2.49

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 An electrical unit is identical to a "unit of an arrester" as defined in 2.6.

2.50

mechanical unit

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

2.51

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 The gas pressure is normally higher than 1 bar = 10^5 Pa.

NOTE 2 A surge-arrester used in gas-insulated switchgear.

2.52

arrester – separable type (separable arrester)

arrester assembled in an insulated or screened housing providing system insulation, intended to be installed in an enclosure for the protection of distribution equipment and systems. Electrical connection may be made by sliding contact or by bolted devices; however, all separable arresters are deadbreak arresters

NOTE Separable arrester use is common European practice.

2.53

arrester – deadfront type (deadfront arrester)

arrester assembled in a shielded housing providing system insulation and conductive ground shield, intended to be installed in an enclosure for the protection of underground and pad mounted distribution equipment and circuits

NOTE 1 Most deadfront arresters are loadbreak arresters.

NOTE 2 Deadfront arrester use is common U.S.A. practice.

2.54

parafoudre se raccordant hors tension

parafoudre pouvant être connecté et déconnecté du circuit seulement lorsque celui-ci est hors tension

2.55

parafoudre se raccordant sous tension

parafoudre pouvant être connecté et déconnecté lorsque le circuit est sous tension.

2.56

parafoudre du type immergé (parafoudre immergé)

parafoudre destiné à être immergé dans un liquide isolant

2.57

courant assigné de défaillance en circuit ouvert pour parafoudre immergé

niveau de courant de défaut au-delà duquel le parafoudre est déclaré se mettre en circuit ouvert après défaillance

2.58

courant assigné de défaillance en court-circuit pour parafoudre immergé

niveau de courant de défaut au-dessous duquel le parafoudre est déclaré se mettre en court-circuit après défaillance

NOTE Les définitions 2.57 et 2.58 sont préliminaires et sont susceptibles d'être remplacées par des définitions plus générales.

2.59

parafoudre à enveloppe en porcelaine

parafoudre utilisant la porcelaine comme matériau d'enveloppe, avec des fixations et un système d'étanchéité

2.60

parafoudre à enveloppe synthétique

parafoudre utilisant des matériaux synthétiques et composites pour l'enveloppe, avec des fixations

NOTE Des conceptions avec un volume de gaz interne sont possibles. L'étanchéité peut être assurée par le matériau synthétique lui-même ou l'utilisation d'un système séparé.

2.61

moment de flexion

force horizontale appliquée sur l'enveloppe du parafoudre multipliée par la distance verticale entre l'embase (niveau le plus bas de la collerette) de l'enveloppe et le point d'application de la force

2.62

effort en tête

force perpendiculaire à l'axe longitudinal du parafoudre mesurée au niveau de son axe

2.63

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

2.64

effort à la rupture

force perpendiculaire à l'axe longitudinal d'un parafoudre à enveloppe porcelaine, qui provoque la rupture mécanique de son enveloppe

2.65

limite de dégradation

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

2.54

deadbreak arrester

arrester which can be connected and disconnected from the circuit only when the circuit is de-energised

2.55

loadbreak arrester

arrester which can be connected and disconnected when the circuit is energised

2.56

arrester – liquid-immersed type (liquid-immersed arrester)

arrester designed to be immersed in an insulating liquid

2.57

fail-open current rating for liquid-immersed arrester

fault current level above which the arrester is claimed to evolve into an open circuit upon failure

2.58

fail-short current rating for liquid-immersed arrester

fault current level below which the arrester is claimed to evolve into a short-circuit upon failure

NOTE Definitions 2.57 and 2.58 are preliminary and may be superseded by more general definitions.

2.59

porcelain housed arrester

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

2.60

polymer housed arrester

arrester using polymeric and composite materials for housing, with fittings

NOTE 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.

2.61

bending moment

horizontal force acting on the arrester housing multiplied by the vertical distance between the mounting base (lower level of the flange) of the arrester housing and the point of application of the force

2.62

terminal line force

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

2.63

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

2.64

breaking load

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

2.65

damage limit

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

2.66

effort maximal admissible en service (MPSL)

force perpendiculaire la plus élevée appliquée sur l'axe longitudinal d'un parafoudre à enveloppe synthétique qui soit admissible en service sans provoquer de dommages mécaniques au parafoudre

2.67

effort dynamique maximal admissible en service (MPDSL)

force perpendiculaire la plus élevée appliquée sur l'axe longitudinal d'un parafoudre à enveloppe porcelaine qui est admissible en service pendant de courtes périodes (par exemple forces dues à des courants de court-circuit, contraintes sismiques) sans provoquer de dommages mécaniques au parafoudre

2.68

effort statique admissible en service (PSSL)

force perpendiculaire appliquée sur l'axe longitudinal d'un parafoudre à enveloppe porcelaine qui est admissible en permanence sans provoquer de dommages mécaniques au parafoudre

2.69

éléments internes

éléments résistifs à oxyde métallique avec leurs supports

2.70

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

SECTION 3: IDENTIFICATION ET CLASSIFICATION

3.1 Identification des parafoudres

Les parafoudres à oxyde métallique doivent être définis au moins au moyen des indications suivantes devant figurer sur une plaque placée en permanence sur le parafoudre:

- tension de régime permanent;
- tension assignée;
- fréquence nominale, si elle diffère des fréquences normales, voir 4.2;
- courant nominal de décharge;
- courant assigné de tenue au court-circuit en kiloampères (kA). Pour les parafoudres pour lesquels aucune tenue en court-circuit n'est déclarée, la marque «–» doit être indiquée;
- 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 (au moins pour les parafoudres dont les tensions assignées sont supérieures à 60 kV)

NOTE Si la dimension de la plaque signalétique est suffisante, il est recommandé d'y faire figurer également:

- la classe de décharge de ligne ou l'appartenance au type des parafoudres pour courants de foudre élevés, voir annexe C;
- le niveau de tenue sous pollution de l'enveloppe, voir CEI 60815.

2.66**maximum permissible service load (MPSL)**

greatest force perpendicular to the longitudinal axis of a polymer housed arrester, allowed to be applied during service without causing any mechanical damage to the arrester

2.67**maximum permissible dynamic service load (MPDSL)**

greatest force perpendicular to the longitudinal axis of a porcelain housed arrester, allowed to be applied during service for short periods (e.g. short-circuit current forces, seismic stress) without causing any mechanical damage to the arrester

2.68**permissible static service load (PSSL)**

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

2.69**internal parts**

metal-oxide resistor elements with supporting structure

2.70**seal (gas/water-tightness)**

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

SECTION 3: IDENTIFICATION AND CLASSIFICATION

3.1 Arrester identification

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

- continuous operating voltage;
- rated voltage;
- rated frequency, if other than one of the standard frequencies, see 4.2;
- nominal discharge current;
- rated short-circuit withstand current in kiloamperes (kA). For arresters for which no short-circuit rating is claimed, the sign "-" shall be indicated;
- 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 the manufacture;
- serial number (at least for arresters with rated voltage above 60 kV).

NOTE If sufficient space is available the nameplate should also contain:

- line discharge class or high lightning duty type, see annex C;
- contamination withstand level of the enclosure, see IEC 60815.

3.2 Classification des parafoudres

Les parafoudres sont classés par les valeurs normales de leurs courants nominaux de décharge et doivent répondre au moins aux conditions d'essais et aux caractéristiques de fonctionnement spécifiées dans le tableau 1

NOTE Il existe cinq types de parafoudres 10 000 A et 20 000 A, qui se différencient par l'amplitude et la durée du courant de choc de longue durée qu'ils peuvent supporter, voir tableau 4 en 7.4.2.

Tableau 1 – Classification des parafoudres et essais ¹⁾

	Valeurs normales des courants nominaux de décharge ²⁾				
	20 000 A	10 000 A	5 000 A	2 500 A	1 500 A
1. Tension assignée U_r (kV _{eff})	$360 < U_r \leq 756$	$3 \leq U_r \leq 360$	$U_r \leq 132$	$U_r \leq 36$	Voir note 3
2. Essai de tenue de l'isolation de l'enveloppe du parafoudre	7.2.6, 7.2.7	7.2.6, 7.2.7, 7.2.8	7.2.6, 7.2.8	7.2.6, 7.2.8	7.2.6, 7.2.8
3. Essai de vérification de la tension résiduelle	Tableau K.1	Tableau K.1	Tableau K.2	Tableau K.2	Tableau K.2
a) Essai de vérification de la tension résiduelle aux chocs de courant à front raide	7.3.1	7.3.1	7.3.1	7.3.1	7.3.1
b) Essai de vérification de la tension résiduelle aux chocs de foudre	7.3.2	7.3.2	7.3.2	7.3.2	7.3.2
c) Essai de vérification de la tension résiduelle aux chocs de manœuvre	7.3.3	7.3.3	Non spécifié	Non spécifié	Non spécifié
4. Essai de tenue aux chocs de courant de longue durée	7.4.2	7.4.2	7.4.3	7.4.3	Non spécifié
5. Essai de fonctionnement					
a) Essai de fonctionnement aux chocs de courant de grande amplitude	Non spécifié	7.5.4 Tableau 6	7.5.4 Tableau 6	7.5.4 Tableau 6	7.5.4 Tableau 6
b) Essai de fonctionnement aux surtensions de manœuvre	7.5.5 Tableau 4	7.5.5 Tableau 4	Non spécifié	Non spécifié	Non spécifié
6. Courbe de la tension à fréquence industrielle en fonction du temps	5.10	5.10	5.10	5.10	5.10
7. Essai du limiteur de pression (pour les parafoudres munis d'un limiteur de pression)	5.11	5.11	5.11	Non spécifié	Non spécifié
8. Dispositifs de déconnexion (pour les parafoudres munis de ces dispositifs)	5.12	5.12	5.12	5.12	5.12
9. Essai de pollution des enveloppes	Annexe F				
10. Essai de décharges partielles internes	7.8	7.8	7.8	7.8	–
11. Essais mécaniques	13	13	13	13	13

¹⁾ Les nombres des lignes 2 à 8, 10 et 11 se réfèrent aux articles et paragraphes de cette norme.

²⁾ Dans certains pays, il est habituel de classer les parafoudres selon 3 types:

- poste pour les parafoudres 10 000 A et 20 000 A;
- intermédiaire ou de distribution pour les parafoudres 5 000 A;
- secondaire pour les parafoudres 1 500 A.

³⁾ Cette gamme de basses tensions est à l'étude.

3.2 Arrester classification

Surge arresters are classified by their standard nominal discharge currents and they shall meet at least the test requirements and performance characteristics specified in table 1.

NOTE For the 10 000 A and 20 000 A arresters there are five types differentiated by the amplitude and the duration of the long duration current which they are capable of withstanding, see table 4 in 7.4.2.

Table 1 – Arrester classification and test requirements ¹⁾

	Standard nominal discharge current ²⁾				
	20 000 A	10 000 A	5 000 A	2 500 A	1 500 A
1. Rated voltage U_r (kV _{rms})	$360 < U_r \leq 756$	$3 \leq U_r \leq 360$	$U_r \leq 132$	$U_r \leq 36$	See note 3
2. Insulation withstand tests on the arrester housing	7.2.6, 7.2.7	7.2.6, 7.2.7, 7.2.8	7.2.6, 7.2.8	7.2.6, 7.2.8	7.2.6, 7.2.8
3. Residual voltage test	Table K.1	Table K.1	Table K.2	Table K.2	Table K.2
a) Steep current impulse residual voltage test	7.3.1	7.3.1	7.3.1	7.3.1	7.3.1
b) Lightning impulse residual voltage test	7.3.2	7.3.2	7.3.2	7.3.2	7.3.2
c) Switching impulse residual voltage test	7.3.3	7.3.3	Not required	Not required	Not required
4. Long duration current impulse withstand test	7.4.2	7.4.2	7.4.3	7.4.3	Not required
5. Operating duty test					
a) High current impulse operating duty test	Not required	7.5.4 Table 6	7.5.4 Table 6	7.5.4 Table 6	7.5.4 Table 6
b) Switching surge operating duty test	7.5.5 Table 4	7.5.5 Table 4	Not required	Not required	Not required
6. Power frequency voltage versus time curve	5.10	5.10	5.10	5.10	5.10
7. Pressure relief (when fitted with relief device)	5.11	5.11	5.11	Not required	Not required
8. Arrester disconnector (when fitted)	5.12	5.12	5.12	5.12	5.12
9. Polluted housing test	Annex F				
10. Internal partial discharge test	7.8	7.8	7.8	7.8	–
11. Mechanical tests	13	13	13	13	13
¹⁾ Numbers in rows 2 to 8, 10 and 11 refer to clauses and subclauses in this standard. ²⁾ In some countries it is customary to classify arresters as: – station for 10 000 A and 20 000 A arresters; – intermediate or distribution for 5 000 A arresters; – secondary for 1 500 A arresters. ³⁾ This low voltage range is under consideration.					

SECTION 4: CARACTÉRISTIQUES ASSIGNÉES

4.1 Tensions assignées normales

Les tensions assignées normales (en kilovolts, valeur efficace) des parafoudres sont spécifiées dans le tableau 2 avec des échelons de tension constants dans les gammes de tension spécifiées:

Tableau 2 – Echelons de tensions assignées

Gammes de tension assignée kV efficace	Echelons de tension assignée kV efficace
<3	A l'étude
3 – 30	1
30 – 54	3
54 – 96	6
96 – 288	12
288 – 396	18
396 – 756	24

NOTE Des valeurs de tension assignée autres que celles indiquées ci-dessus peuvent être admises à condition qu'elles soient des multiples de 6.

4.2 Fréquences assignées normales

Les fréquences assignées normales sont 50 Hz et 60 Hz.

4.3 Valeurs normales des courants nominaux de décharge

Les valeurs normales des courants nominaux de décharge 8/20 (voir 2.30) sont: 20 000 A, 10 000 A, 5 000 A, 2 500 A et 1 500 A.

4.4 Conditions de service

4.4.1 Conditions normales de service

Les parafoudres conformes à la présente norme doivent pouvoir fonctionner dans les conditions normales de service suivantes:

- Température ambiante de l'air comprise entre -40°C et $+40^{\circ}\text{C}$.
- Rayonnement solaire.

NOTE Les effets d'un rayonnement solaire maximal ($1,1 \text{ kW/m}^2$) sont pris en compte en préchauffant le spécimen en essai lors des essais de type. S'il existe d'autres sources de chaleur à proximité du parafoudre, l'utilisation du parafoudre doit faire l'objet d'un accord entre le constructeur et le client.

- Altitude ne dépassant pas 1 000 m.
- Fréquence de la source d'alimentation en courant alternatif comprise entre 48 Hz et 62 Hz.
- Tension à fréquence industrielle appliquée de façon continue entre les bornes du parafoudre ne dépassant pas sa tension de régime permanent.
- Conditions mécaniques (à l'étude).
- Conditions de pollution (pas de prescription actuellement).

4.4.2 Conditions anormales de service

Les parafoudres destinés à des utilisations différentes ou soumis à d'autres conditions de service 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 de service anormales est sujette à un accord entre le constructeur et le client. Une liste des conditions anormales de service possibles est donnée dans l'annexe A.

SECTION 4: STANDARD RATINGS

4.1 Standard rated voltages

Standard values of rated voltages for arresters (in kilovolts r.m.s.) are specified in table 2 in equal voltage steps within specified voltage ranges:

Table 2 – Steps of rated voltages

Range of rated voltage kV r.m.s.	Steps of rated voltage kV r.m.s.
<3	Under consideration
3 – 30	1
30 – 54	3
54 – 96	6
96 – 288	12
288 – 396	18
396 – 756	24

NOTE Other values of rated voltage may be accepted, provided they are multiples of 6.

4.2 Standard rated frequencies

The standard rated frequencies are 50 Hz and 60 Hz.

4.3 Standard nominal discharge currents

The standard nominal 8/20 discharge currents are: 20 000 A, 10 000 A, 5 000 A, 2 500 A and 1 500 A, see 2.30.

4.4 Service conditions**4.4.1 Normal service conditions**

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

- Ambient air temperature within the range of $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Solar radiation.

NOTE The effects of maximum solar radiation ($1,1\text{ kW/m}^2$) have been taken into account by preheating the test specimen in the type tests. If there are other heat sources near the arrester, the application of the arrester shall be subject to an agreement between the manufacturer and the purchaser.

- Altitude not exceeding 1 000 m.
- Frequency of the a.c. power supply not less than 48 Hz and not exceeding 62 Hz.
- Power frequency voltage applied continuously between the terminals of the arrester not exceeding its continuous operating voltage.
- Mechanical conditions (under consideration).
- Pollution conditions (no requirement at this time).

4.4.2 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 purchaser. A list of possible abnormal service conditions is given in annex A.

SECTION 5: PRESCRIPTIONS

5.1 Tenue diélectrique de l'enveloppe du parafoudre

L'enveloppe du parafoudre, essayée suivant 7.2, doit supporter les tensions suivantes:

- Niveau de protection aux chocs de foudre (voir 2.39) multiplié par 1,3.
NOTE Le facteur de 1,3 tient compte des variations des conditions atmosphériques et des courants de décharge supérieurs à la valeur nominale.
- Pour les parafoudres 10 000 A et 20 000 A ayant des tensions assignées de 200 kV et plus, niveau de protection aux chocs de manœuvre (voir 2.39) multiplié par 1,25.
NOTE Le facteur de 1,25 tient compte des variations des conditions atmosphériques et des courants de décharge supérieurs aux valeurs maximales du tableau 3, voir 7.3.3.
- Tension à fréquence industrielle, sous pluie pour les enveloppes de parafoudres de type extérieur, à sec pour les enveloppes de parafoudres de type intérieur.

Les enveloppes des parafoudres 1 500 A, 2 500 A et 5 000 A, et des parafoudres pour courants de foudre élevés (annexe C) doivent supporter pendant 1 minute une tension à fréquence industrielle dont la valeur de crête est égale au niveau de protection aux chocs de foudre multiplié par 0,88.

Les enveloppes des parafoudres 10 000 A et 20 000 A ayant des tensions assignées inférieures à 200 kV doivent supporter pendant 1 minute une tension à fréquence industrielle dont la valeur de crête est égale au niveau de protection aux chocs de manœuvre multiplié par 1,06.

5.2 Tension de référence

La tension de référence de chaque parafoudre doit être mesurée par le constructeur pour le courant de référence qu'il a choisi, voir 6.2. La valeur minimale de la tension de référence du parafoudre pour le courant de référence utilisé lors des essais individuels doit être spécifiée et elle doit figurer parmi les informations fournies par le constructeur.

5.3 Tensions résiduelles

Le but des mesures des tensions résiduelles est de connaître les valeurs maximales de ces tensions résiduelles pour une conception donnée 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.

La tension résiduelle maximale d'un parafoudre de type donné, pour un courant et une forme d'onde donnée, est calculée en multipliant la tension résiduelle des fractions essayées lors de l'essai de type par un facteur d'échelle spécifique. Ce facteur d'échelle est égal au rapport entre la tension résiduelle maximale annoncée, telle qu'elle est contrôlée pendant les essais individuels, et la tension résiduelle mesurée sur les fractions, pendant les essais de type, pour le même courant et la même forme d'onde.

NOTE Pour certains parafoudres dont la tension assignée est inférieure à 36 kV (voir 8.1b), on peut, pour ce calcul, remplacer la tension résiduelle par la tension de référence.

5.4 Décharges partielles internes

Le niveau de décharges partielles internes dans le parafoudre, lorsqu'il est alimenté sous 1,05 fois sa tension de service permanent, doit être ≤ 10 pC.

SECTION 5: REQUIREMENTS

5.1 Insulation withstand of the arrester housing

The arrester housing shall withstand the following voltages when tested according to clause 7.2:

- The lightning impulse protection level of the arresters (see 2.39) multiplied by 1,3.
NOTE The 1,3 factor covers variations in atmospheric conditions and discharge currents higher than nominal.
- For 10 000 A and 20 000 A arresters with rated voltages of 200 kV and above, switching impulse protection level of the arrester (see 2.39) multiplied by 1,25.
NOTE The 1,25 factor covers variations in atmospheric conditions and discharge currents higher than the maximum values of table 3, see 7.3.3.
- Power frequency voltage in wet conditions for arrester housings for outdoor use and in dry conditions for arrester housings for indoor use.

Housings of 1 500 A, 2 500 A and 5 000 A arresters and high lightning duty arresters (annex C) shall withstand a power frequency voltage with a peak value equal to the lightning impulse protection level multiplied by 0,88 for a duration of 1 minute.

Housings of 10 000 A and 20 000 A arresters with rated voltages less than 200 kV shall withstand a power frequency voltage with a peak value equal to the switching impulse protection level multiplied by 1,06 for a duration of 1 minute.

5.2 Reference voltage

The reference voltage of each arrester shall be measured by the manufacturer at the reference current selected by the manufacturer, see 6.2. The minimum reference voltage of the arrester at the reference current used for routine tests shall be specified and published in the manufacturer's data.

5.3 Residual voltages

The purpose of the measurement of residual voltages is to obtain the maximum residual voltages for a given design for all specified currents and waveshapes. 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 waveshape 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 waveshape.

NOTE For some arresters with a rated voltage less than 36 kV (see 8.1b) the reference voltage may be used for this calculation instead of the residual voltage.

5.4 Internal partial discharge

The internal partial discharges in the arrester energised at 1,05 times the continuous operating voltage shall be ≤ 10 pC.

5.5 Taux de fuite de l'étanchéité

Pour les parafoudres avec volume interne de gaz et système séparé d'étanchéité, des taux de fuite devront être spécifiés comme définis en 8.1 d) et 13.7.4.

5.6 Répartition du courant dans les parafoudres à plusieurs colonnes

Le constructeur doit spécifier la valeur maximale du courant dans une des colonnes d'un parafoudre qui en comporte plusieurs, voir 8.1e.

5.7 Stabilité thermique

Après accord entre le constructeur et le client, il est possible d'effectuer un essai spécial de stabilité thermique, conformément à 8.2.2.

5.8 Tenue au choc de courant de longue durée

Les parafoudres doivent supporter des courants de longue durée suivant les modalités décrites pour les essais de type, voir 7.4.

Pour les parafoudres 10 000 A et 20 000 A, la tenue aux courants de longue durée est démontrée par un essai de décharge de ligne (voir 7.4.2) correspondant à la classe de décharge de ligne spécifiée par l'utilisateur.

Pour les parafoudres 5 000 A et 2 500 A, la tenue aux courants de longue durée est démontrée par un essai au choc de longue durée, voir 7.4.3.

L'examen visuel des échantillons après l'essai doit révéler l'absence de toute trace de perforation, d'amorçage, de fissure ou d'autre détérioration importante des résistances à oxyde métallique.

La tension résiduelle mesurée avant et après l'essai au courant de longue durée ne doit pas avoir varié de plus de 5 %.

5.9 Fonctionnement des parafoudres

Les parafoudres doivent être capables de supporter des contraintes combinées comme il en existe en service; ceci est contrôlé lors des essais de fonctionnement, voir 7.5. Ces contraintes ne doivent occasionner ni détérioration ni emballement thermique.

Les parafoudres 1 500 A, 2 500 A, 5 000 A et 10 000 A classe de décharge 1 et les parafoudres pour courants de foudre élevés (voir annexe C) sont contrôlés par l'essai de fonctionnement aux chocs de courant de grande amplitude, voir 7.5.4 et figure 1 ou C.1.

Les parafoudres 10 000 A, classes de décharge 2 et 3, et les parafoudres 20 000 A, classes de décharge 4 et 5, sont contrôlés par l'essai de fonctionnement aux surtensions de manœuvre, voir 7.5.5 et figure 2.

Le parafoudre a passé l'essai avec succès s'il est thermiquement stable, si la tension résiduelle mesurée avant et après essai n'a pas varié de plus de 5 %, et si l'examen des échantillons essayés ne met en évidence ni perforation, ni contournement, ni fissure des résistances variables à oxyde métallique.

5.5 Seal leak rate

For arresters having an enclosed gas volume and a separate sealing system, seal leak rates shall be specified as defined in 8.1 d) and 13.7.4.

5.6 Current distribution in a multi-column arrester

The manufacturer shall specify the highest value of the current in a column of a multi-column arrester, see 8.1e.

5.7 Thermal stability

When agreed between manufacturer and purchaser, a special thermal stability test may be performed according to 8.2.2.

5.8 Long duration current impulse withstand

Arresters shall withstand long duration currents as checked during type tests, see 7.4.

For 20 000 A and 10 000 A arresters the long duration withstand is demonstrated by a line discharge test (see 7.4.2) with the line discharge class specified by the user.

For 5 000 A and 2 500 A arresters the long duration withstand is demonstrated by a long duration impulse test, see 7.4.3.

Visual examination of the test samples after the test shall reveal no evidence of puncture, flashover, cracking or other significant damage of the metal-oxide resistors.

The residual voltage measured before and after the long duration current test shall not have changed by more than 5 %.

5.9 Operating duty

Arresters shall be able to withstand the combination of stresses arising in service as demonstrated by the operating duty tests, see 7.5. These stresses shall not cause damage or thermal runaway.

For 1 500 A, 2 500 A, 5 000 A and 10 000 A line discharge class 1 arresters and High Lightning Duty arresters (see annex C), this is demonstrated by the high current impulse operating duty test, see 7.5.4 and figure 1 or C.1.

For 10 000 A line discharge classes 2 and 3 and 20 000 A line discharge classes 4 and 5 arresters, this is demonstrated by the switching surge operating duty test, see 7.5.5 and figure 2.

The arrester has passed the test if thermal stability is achieved, if the residual voltage measured before and after the test is not changed by more than 5 %, and if examination of the test samples after the test reveals no evidence of puncture, flashover or cracking of the non-linear metal-oxide resistors.

5.10 Caractéristique de tension à fréquence industrielle en fonction du temps d'un parafoudre

Le constructeur doit indiquer les durées admissibles d'application de différentes valeurs de la tension à fréquence industrielle après que le parafoudre ait été préchauffé à 60 °C et ait subi la contrainte énergétique de l'essai de décharge de ligne ou de l'essai au courant de grande amplitude, suivant le cas, sans détérioration ou emballement thermique.

Ces indications doivent être présentées sous forme de courbes de la tension à fréquence industrielle en fonction du temps, qui doivent mentionner l'absorption d'énergie due au choc avant application de cette tension à fréquence industrielle.

NOTE 1 Ces courbes sont nécessaires pour le choix de la tension assignée du parafoudre en fonction des caractéristiques locales du réseau telles que les surtensions de foudre et de manœuvre, et les surtensions temporaires.

NOTE 2 On peut déterminer les courbes par des calculs.

NOTE 3 La courbe des surtensions temporaires doit couvrir l'intervalle de temps compris entre 0,1 seconde et 20 minutes. Pour les parafoudres devant être utilisés sur des réseaux à neutre isolé ou compensé par bobine d'extinction sans élimination des défauts à la terre, cet intervalle de temps doit être prolongé jusqu'à 24 heures.

S'il est convenu entre le constructeur et le client de procéder à la vérification de la courbe de tension à fréquence industrielle en fonction du temps, on doit utiliser la méthode décrite à l'annexe D.

5.11 Court-circuit

Un parafoudre pour lequel une tenue en court-circuit est déclarée par le constructeur ne doit pas provoquer de rupture explosive en cas de défaillance; voir annexe O.

5.12 Dispositif de déconnexion

5.12.1 Tenue du dispositif de déconnexion

Lorsqu'un parafoudre est muni d'un dispositif de déconnexion (intégré ou séparé), ce dispositif doit supporter sans fonctionner chacun des essais suivants:

- essai aux chocs de courant de longue durée, voir 7.6.2.1;
- essai de fonctionnement, voir 7.6.2.2.

5.12.2 Fonctionnement du dispositif de déconnexion

Le temps de retard au fonctionnement du déconnecteur est déterminé, conformément à 7.6.3, pour trois valeurs de courant. Le dispositif doit assurer clairement une séparation effective et permanente.

5.13 Prescriptions pour les équipements auxiliaires tels que les éléments de répartition

Pas de prescriptions actuellement.

5.14 Efforts mécaniques

Le constructeur doit spécifier les efforts maximaux en tête admissibles lors de l'installation et en service, tels que des efforts de flexion, de torsion et de traction. La tenue à l'effort de flexion (moment de flexion) doit être vérifiée conformément à 13.7.2.

5.10 Power frequency voltage versus time characteristics of an arrester

The manufacturer shall supply data on the allowable time duration of power frequency voltage and the corresponding voltage value which may be applied to the arrester after the arrester has been preheated to 60 °C and subjected to the high current or line discharge class energy duty respectively, without damage or thermal runaway.

This information shall be presented as power frequency voltage versus time curves with the impulse energy consumption prior to this power frequency voltage application stated on the above mentioned curve.

NOTE 1 Such curves are necessary for the selection of the arrester rated voltage depending on local system conditions, such as lightning, switching and temporary overvoltages.

NOTE 2 The curves may be established by calculation.

NOTE 3 The temporary overvoltage curve should cover the time range from 0,1 s to 20 min. For arresters to be used in isolated neutral or resonant earthed systems without earth fault clearing, the time should be extended to 24 h.

If verification of the power frequency voltage versus time curve is agreed upon by the manufacturer and the purchaser, the procedure described in annex D shall be used.

5.11 Short-circuit

An arrester for which a short-circuit rating is claimed by the manufacturer shall not fail in a manner that causes violent shattering; see annex O.

5.12 Disconnectors

5.12.1 Disconnector withstand

When an arrester is fitted or associated with a disconnector, this device shall withstand, without operating, each of the following tests:

- long duration current impulse test, see 7.6.2.1;
- operating duty test, see 7.6.2.2.

5.12.2 Disconnector operation

The time delay for the operation of the disconnector is determined for three values of current according to 7.6.3. There shall be clear evidence of effective and permanent disconnection by the device.

5.13 Requirements for auxiliary equipment such as grading components

No requirement at this time.

5.14 Mechanical loads

The manufacturer shall specify the maximum permissible terminal loads relevant for installation and service, such as cantilever, torque and tensile loads. The cantilever load (bending moment) shall be tested according to 13.7.2.

SECTION 6: CONDITIONS GÉNÉRALES D'EXÉCUTION DES ESSAIS

6.1 Appareillage de mesure et précision

L'appareillage de mesure devra satisfaire aux exigences de la CEI 60060-3. On admettra que la précision des valeurs obtenues répond aux prescriptions relatives aux essais.

Sauf indication contraire, tous les essais à fréquence industrielle doivent être effectués sous une tension alternative ayant une fréquence comprise entre 48 Hz et 62 Hz et une forme d'onde pratiquement sinusoïdale.

6.2 Mesures de la tension de référence

La tension de référence d'un parafoudre (voir 2.35) est mesurée au courant de référence (voir 2.34) sur des fractions et des éléments quand cela est nécessaire. Cette mesure doit être effectuée à une température ambiante de $20\text{ °C} \pm 15\text{ °C}$ et cette température doit être enregistrée.

NOTE On peut considérer comme une approximation acceptable 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.

6.3 Echantillons destinés aux essais

Sauf pour les articles comportant une indication contraire, tous les essais seront effectués sur les mêmes parafoudres, fractions ou éléments d'appareils. Ces matériels seront 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.

Si les essais sont effectués sur des fractions, celles-ci devront reproduire le comportement de tous les parafoudres possibles, dans les limites de tolérance du constructeur, en ce qui concerne un essai particulier.

Les échantillons à choisir pour l'essai de décharge de ligne (voir 7.4.2) et l'essai de fonctionnement (voir 7.5) doivent avoir une valeur de tension de référence égale à la limite minimale de la gamme de variation indiquée par le constructeur. De plus, pour les parafoudres à plusieurs colonnes, on doit considérer la valeur la plus élevée de la répartition inégale du courant. En vue de respecter cette exigence, les conditions suivantes doivent être remplies:

- 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 d'essai ne doit pas être supérieur au volume minimal de l'ensemble des varistances utilisés dans le parafoudre complet divisé par n .
- b) Il est souhaitable que la tension de référence de la fraction d'essai soit égale à $k U_r/n$, k étant le rapport entre la tension minimale de référence du parafoudre et sa tension assignée. Si, pour un échantillon d'essai disponible, $U_{\text{ref}} > k U_r/n$, le facteur n doit être réduit en conséquence. (Si $U_{\text{ref}} < k U_r/n$, le parafoudre pourrait 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 8.1e. La valeur de courant la plus élevée ne doit pas être supérieure à la limite maximale spécifiée par le constructeur.

SECTION 6: GENERAL TESTING PROCEDURE

6.1 Measuring equipment and accuracy

The measuring equipment shall meet the requirements of IEC 60060-3. The values obtained shall be accepted as accurate for the purpose of compliance with the relevant test clauses.

Unless elsewhere stated, 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 waveshape.

6.2 Reference voltage measurements

The reference voltage of an arrester (see 2.35) is measured at the reference current (see 2.34) on sections and units when required. The measurement shall be performed at an ambient temperature of $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ and this temperature shall be recorded.

NOTE As an acceptable approximation, 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.

6.3 Test samples

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

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.

The samples to be chosen for the line discharge test (see 7.4.2) and operating duty test (see 7.5) shall have a reference voltage value at the lowest end of the variation range declared by the manufacturer. Furthermore, in case of multi-column arresters the highest value of uneven current distribution shall be considered. In order to comply with this demand the following shall be fulfilled.

- a) the ratio between 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 $k U_r/n$ where k is the ratio between the minimum reference voltage of the arrester and its rated voltage. In case $U_{\text{ref}} > k U_r/n$ for an available test sample, the factor n has to be reduced correspondingly. (In case $U_{\text{ref}} < k U_r/n$ 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 used for current distribution test, see 8.1e. The highest current value shall not be higher than an upper limit specified by the manufacturer.

SECTION 7: ESSAIS DE TYPE

7.1 Généralités

Les essais de type suivants doivent être effectués comme requis dans le tableau 1 et dans le tableau C.1 de l'annexe C:

- 1) Essais de tenue de l'isolation, voir 5.1 et 7.2.
Ces essais démontrent la capacité de l'enveloppe du parafoudre à supporter des contraintes de tension à sec et sous pluie.
- 2) Essais de vérification de la tension résiduelle, voir 5.3 et 7.3.
Ces essais déterminent les niveaux de protection du parafoudre.
- 3) Essais de tenue aux courants de choc de longue durée, voir 5.8 et 7.4.
Ces essais démontrent la capacité des varistances à supporter d'éventuelles contraintes diélectriques et énergétiques sans perforation ni contournement.
- 4) Essais de fonctionnement, voir 5.9 et 7.5.
Ces essais démontrent la stabilité thermique du parafoudre dans les conditions spécifiées.
- 5) Essais de court-circuit: voir 5.11 et annexe O
Ces essais démontrent la capacité du parafoudre à supporter des courants de court-circuit sans rupture explosive dans les conditions d'essai spécifiées. Pour les parafoudres à enveloppe synthétique, ces essais démontrent également la capacité du parafoudre à auto-éteindre les flammes provoquées par l'arc.
- 6) Essais des dispositifs de déconnexion, voir 5.12 et 7.6.
Pour les parafoudres munis d'un dispositif de déconnexion, ces essais montrent que le fonctionnement de ce dispositif est correct.
- 7) Essai de pollution artificielle pour les parafoudres à enveloppe porcelaine et à plusieurs éléments (voir annexe F)
Cet essai est effectué pour évaluer l'augmentation de température des parties internes due à une distribution non linéaire et transitoire de potentiel à cause d'une couche de pollution à la surface de l'enveloppe du parafoudre.
Un calcul préliminaire de l'augmentation maximale théorique de température doit être effectué selon l'article F.5. Si le résultat du calcul est inférieur à 40 K, aucun essai n'est nécessaire. Si le résultat du calcul est supérieur ou égal à 40 K, un essai selon l'annexe F doit être effectué, mais il peut néanmoins être omis après accord entre l'utilisateur et le constructeur (par exemple sur la base d'un retour d'expérience dans des environnements spécifiques).
- 8) Essai de décharges partielles internes: voir 5.4 et 7.8.
Cet essai mesure les décharges partielles internes.
- 9) Mesure du taux de fuite: voir 5.5 et 13.7.4
Cet essai démontre l'étanchéité aux gaz et à l'eau de l'assemblage complet du parafoudre. Il s'applique à tous les parafoudres à enveloppe porcelaine et aux parafoudres à enveloppe synthétique comportant des joints et composants associés qui sont essentiels pour maintenir une atmosphère contrôlée à l'intérieur de l'enveloppe (parafoudres avec volume interne de gaz et système d'étanchéité séparé).
- 10) Essai de répartition du courant pour les parafoudres à plusieurs colonnes, voir 5.6 et 8.1e.
Cet essai permet de connaître le courant dans chacune des colonnes de résistances montées en parallèle sans connexion électrique intermédiaire.

SECTION 7: TYPE TESTS (DESIGN TESTS)

7.1 General

The following type tests shall be made as far as required in table 1 and table C.1 of annex C:

- 1) Insulation withstand tests, see 5.1 and 7.2.
These tests demonstrate the ability of the arrester housing to withstand voltage stresses under dry and wet conditions.
- 2) Residual voltage tests, see 5.3 and 7.3.
These tests demonstrate the protective levels of the arrester.
- 3) Long duration current impulse withstand test, see 5.8 and 7.4.
These tests demonstrate the ability of the resistor elements to withstand possible dielectric and energy stresses without puncture or flashover.
- 4) Operating duty tests, see 5.9 and 7.5.
These tests demonstrate the thermal stability of the arrester under defined conditions.
- 5) Short-circuit tests: see 5.11 and annex O.
These tests demonstrate the ability of the arrester to withstand short-circuit currents without violent shattering under specified test conditions. For polymer housed arresters the tests also demonstrate the ability of the arrester to self-extinguish any fire caused by the arc.
- 6) Tests of arrester disconnectors, see 5.12 and 7.6.
For arresters fitted with disconnectors these tests demonstrate the correct operation of the disconnector.
- 7) Artificial pollution test for porcelain-housed multi-unit surge arresters (see annex F)
This test is made to evaluate the temperature rise of the internal parts due to a non-linear and transient voltage grading caused by the pollution layer on the surface of the arrester housing.
A preliminary calculation of the maximum theoretical temperature rise shall be performed according to clause F.5. If the result of the calculation is less than 40 K, no test is required. If the result of the calculation is 40 K or higher, a test according to annex F shall be performed unless, by agreement between user and manufacturer (for example, based on service experience in specified environments), the test can be omitted.
- 8) Internal partial discharge test: see 5.4 and 7.8.
This test measures the internal partial discharges.
- 9) Seal leak rate test: see 5.5 and 13.7.4.
This test demonstrates the gas/water-tightness of the complete system. It applies to all arresters employing porcelain housings and to arresters with polymer housings having seals and associated components essential for the maintenance of a controlled atmosphere within the housing (arresters with enclosed gas volume and a separate sealing system).
- 10) Current distribution test for multi-column arrester, see 5.6 and 8.1e.
This test determines the current through each column of parallel resistors when there is no electrical connection between columns.

11) Essai en moment de flexion: voir 13.7.2.

Cet essai démontre la capacité du parafoudre à supporter les valeurs des efforts de flexion déclarées par le constructeur.

12) Essai d'environnement: voir 13.7.3.

Ces essais démontrent par des procédures d'essai accéléré que le système d'étanchéité et les interfaces métalliques exposés du parafoudre ne sont pas affectés par les conditions environnementales.

Le nombre prescrit d'échantillons et leurs caractéristiques sont indiqués dans chaque article. Les parafoudres qui diffèrent entre eux seulement par des modalités de montage ou par la disposition du support et qui, par ailleurs, sont basés sur les mêmes éléments et une construction semblable, se traduisant par des caractéristiques de fonctionnement identiques, y compris les caractéristiques de dissipation de chaleur et l'atmosphère interne, sont considérés comme étant du même type.

7.2 Essais de tenue de l'isolation de l'enveloppe du parafoudre

7.2.1 Généralités

Les essais de tenue de l'isolation démontrent la capacité de tenue à la tension de l'isolation externe de l'enveloppe des parafoudres. Pour d'autres configurations, l'essai doit faire l'objet d'un accord entre le constructeur et le client.

Les essais doivent être effectués dans les conditions et sous les tensions d'essai spécifiées en 5.1 et rappelées ci-dessous. La surface extérieure des parties isolantes doit être nettoyée soigneusement et les parties internes doivent être retirées ou rendues inopérantes pour permettre d'effectuer ces essais.

7.2.2 Essais sur l'enveloppe d'un élément individuel

Les essais appropriés doivent être effectués sur la plus grande enveloppe de parafoudre. Si celle-ci ne représente pas la contrainte spécifique de tension 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. Les parties internes peuvent être remplacées par un arrangement équivalent (éléments de répartition par exemple) pour assurer une répartition linéaire de la tension le long de l'axe du parafoudre.

7.2.3 Essais sur l'assemblage des enveloppes du parafoudre complet

A l'étude

7.2.4 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 CEI 60060-1.

La correction due à l'humidité ne doit pas être appliquée pour les essais sous pluie.

7.2.5 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'essais décrite dans la CEI 60060-1.

7.2.6 Essais aux chocs de tension de foudre

Le parafoudre doit être soumis à un essai à sec au choc de tension de foudre normal en conformité avec la CEI 60060-1.

11) Bending moment test: see 13.7.2.

This test demonstrates the ability of the arrester to withstand the manufacturer's declared values for bending loads.

12) Environmental tests: see 13.7.3.

These 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 required numbers of samples and their conditions are specified in the individual clauses. Arresters which differ only in methods of mounting or arrangement of the supporting structure and which are otherwise based on the same components and similar construction resulting in the same performance characteristics including their heat dissipation conditions and internal atmosphere, are considered to be of the same design.

7.2 Insulation withstand tests on the arrester housing

7.2.1 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 purchaser.

The tests shall be performed in the conditions and with the test voltages specified in 5.1 and repeated below. The outside surface of insulating parts shall be carefully cleaned and the internal parts removed or rendered inoperative to permit these tests.

7.2.2 Tests on individual unit housing

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. The internal parts may be replaced by an equivalent arrangement (e.g. grading elements) to provide linear voltage distribution along the arrester axis.

7.2.3 Tests on complete arrester housing assemblies

Under consideration.

7.2.4 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.

7.2.5 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.

7.2.6 Lightning impulse voltage test

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

L'essai est effectué en appliquant quinze chocs consécutifs à la tension d'essai pour chaque polarité. Le parafoudre est déclaré avoir 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. La tension d'essai doit être égale au niveau de protection aux chocs de foudre du parafoudre multiplié par 1,3.

Si la distance d'amorçage à sec ou la somme des distances partielles d'amorçage à sec est supérieure à la tension d'essai divisée par 500 kV/m, cet essai n'est pas nécessaire.

7.2.7 Essai aux chocs de tension de manœuvre

Les parafoudres 10 000 A et 20 000 A ayant des tensions assignées de 200 kV et plus doivent être soumis à un essai au choc de tension de manœuvre normal selon la CEI 60060. Les parafoudres de type extérieur doivent être essayés sous pluie, les parafoudres de type intérieur à sec.

L'essai est effectué en appliquant quinze chocs consécutifs à la tension d'essai pour chaque polarité. Le parafoudre est déclaré avoir 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. La tension d'essai doit être égale au niveau de protection aux chocs de manœuvre du parafoudre, multiplié par 1,25.

7.2.8 Essai à la tension à fréquence industrielle

Les enveloppes des parafoudres de type extérieur doivent être essayées sous pluie, celles des parafoudres de type intérieur à sec.

Les enveloppes des parafoudres 1 500 A, 2 500 A et 5 000 A, ainsi que des parafoudres pour courants de foudre élevés (annexe C) doivent supporter pendant 1 minute une tension à fréquence industrielle de valeur de crête égale au niveau de protection aux chocs de foudre multiplié par 0,88.

Les enveloppes des parafoudres 10 000 A et 20 000 A ayant des tensions assignées inférieures à 200 kV doivent supporter pendant 1 minute une tension à fréquence industrielle, de valeur crête égale au niveau de protection aux chocs de manœuvre multiplié par 1,06.

7.3 Essais de vérification de la tension résiduelle

La mesure de la tension résiduelle lors des essais de type a pour but de fournir les éléments nécessaires au calcul de la tension résiduelle maximale, comme expliqué en 5.3. Cela passe par la détermination du rapport entre les tensions résiduelles aux courants de chocs spécifiés et le niveau de tension vérifié lors des essais individuels. Cette dernière valeur peut être soit la tension de référence, soit la tension résiduelle pour un courant de foudre convenable compris entre 0,01 et 2 fois le courant nominal de décharge, selon le choix fait par le constructeur pour les modalités des essais individuels.

La tension résiduelle maximale au courant de choc de foudre utilisé pour les essais individuels doit être spécifiée et publiée par le constructeur. Pour obtenir la tension résiduelle maximale du type considéré pour tous les courants et les formes d'onde spécifiés, les tensions résiduelles mesurées sur les fractions en essai sont alors multipliées par le rapport entre la valeur maximale annoncée de la tension résiduelle au courant de l'essai individuel et la tension résiduelle mesurée sur la fraction pour le même courant.

Pour les parafoudres dont la tension assignée est inférieure à 36 kV (voir 8.1b), le constructeur peut choisir de ne vérifier que la tension de référence lors des essais individuels. La tension de référence maximale doit alors être spécifiée. Pour obtenir la tension résiduelle maximale pour tous les courants et les formes d'onde spécifiés, les tensions résiduelles mesurées sur les fractions en essai sont multipliées par le rapport entre cette tension de référence maximale du parafoudre et la tension de référence mesurée sur les fractions essayées.

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. The test voltage shall be equal to the lightning impulse protection level of the arrester multiplied by 1,3.

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.

7.2.7 Switching impulse voltage test

The 10 000 A and 20 000 A arresters with rated voltages of 200 kV and above shall be subjected to a standard switching impulse voltage test according to IEC 60060. Arresters for outdoor use shall be tested in wet conditions, arresters for indoor use in dry conditions.

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. The test voltage shall be equal to the switching impulse protection level of the arrester multiplied by 1,25.

7.2.8 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.

Housings of 1 500 A, 2 500 A and 5 000 A arresters and High Lightning Duty arresters (annex C) shall withstand a power frequency voltage with a peak value equal to the lightning impulse protection level multiplied by 0,88 for a duration of 1 minute.

Housings of 10 000 A and 20 000 A arresters with rated voltages less than 200 kV shall withstand a power frequency voltage with a peak value equal to the switching impulse protection level multiplied by 1,06 for a duration of 1 minute.

7.3 Residual voltage tests

The purpose of the residual voltage type test is to obtain the data necessary to derive the maximum residual voltage as explained in 5.3. It includes the calculation of the ratio between voltages at specified impulse currents and the voltage level checked in routine tests. The latter voltage can be either the reference voltage or the residual voltage at a suitable lightning impulse current in the range 0,01 to 2 times the nominal discharge 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.

For arresters with rated voltages below 36 kV (see 8.1b), the manufacturer may choose to check only the reference voltage by routine test. The maximum reference voltage shall then be specified. The measured residual voltages of the test sections are multiplied by the ratio of this maximum arrester reference voltage to the measured reference voltage of the test sections to obtain maximum residual voltages for all specified currents and wave shapes.

Tous les essais de vérification de la 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 égaux aux courants du parafoudre complet divisés par le nombre de colonnes.

7.3.1 Essai de vérification de la tension résiduelle aux chocs de courant à front raide

Une impulsion de courant à front raide conformément à 2.16 avec une valeur crête égale au courant nominal de décharge du parafoudre $\pm 5\%$ doit être appliquée à chacun des trois échantillons. La valeur crête et la forme d'onde de la tension apparaissant aux bornes des trois échantillons doit être enregistrée et, si nécessaire, corrigée des effets inductifs du circuit de mesure de la tension ainsi qu'en fonction de la géométrie de l'échantillon et du circuit d'essai.

La procédure suivante doit être utilisée pour déterminer si une correction des effets inductifs est nécessaire. Une impulsion de courant à front raide comme décrite ci-dessus doit être appliquée à un bloc de métal de même dimension que les résistances échantillons en essai. La valeur crête et la forme d'onde apparaissant aux bornes du bloc de métal doivent être enregistrées. Si la tension crête sur le bloc de métal est inférieure à 2 % de la tension crête mesurée sur les résistances échantillons, aucune correction inductive de la tension mesurée sur les résistances n'est nécessaire. Si la tension crête sur le bloc de métal est comprise entre 2 % et 20 % de la tension crête mesurée sur les résistances échantillons, alors la forme d'onde de la tension aux bornes du bloc de métal doit être soustraite de la forme d'onde des tensions mesurées sur chacune des résistances, et les valeurs crête des ondes ainsi obtenues doivent être enregistrées comme valeur corrigée des tensions des résistances. Si la tension crête sur le bloc de métal est supérieure à 20 % de la tension crête sur les résistances échantillons, alors le circuit d'essai et le circuit de mesure de la tension doivent être améliorés.

NOTE Une manière possible de réaliser des formes d'onde de courant identiques lors des mesures est de les appliquer en même temps sur l'échantillon et sur le bloc métallique lacés en série dans le circuit d'essai. Seule leur position relative nécessite d'être inversée pour la mesure de la chute de tension sur l'échantillon ou sur le bloc métallique.

L'onde impulsionnelle de tension sur l'échantillon (corrigée si nécessaire) ayant la plus grande valeur crête doit être utilisée pour déterminer la valeur de la tension résiduelle au choc de courant à front raide du parafoudre selon l'une des procédures a) ou b) suivantes:

Procédure a)

- 1) multiplier l'onde de tension aux bornes de l'échantillon par le facteur d'échelle (voir 5.3);
- 2) à partir du choc de courant à front raide, déterminer le taux de variation du courant (di/dt) sur l'ensemble de l'onde et le multiplier par l'inductance pour déterminer la chute de tension inductive:

$$u(t) = L \, di/dt = L' h \, di/dt$$

où

$u(t)$ est la chute de tension inductive en fonction du temps (kV);

L' est l'inductance par unité de longueur ($\mu\text{H}/\text{m}$);

$L' = 1$ pour les parafoudres de type extérieur;

$L' = 0,3$ pour les parafoudres blindés;

h est la longueur du parafoudre de borne à borne (m);

di/dt est le taux de variation du courant en fonction du temps ($\text{kA}/\mu\text{s}$).

- 3) ajouter les résultats de 1) et 2) en termes de forme d'onde; la valeur crête de l'onde résultante est la tension résiduelle au choc de courant à front raide du parafoudre.

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.

7.3.1 Steep current impulse residual voltage test

One steep current impulse in accordance with 2.16 with a peak value equal to the nominal discharge 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 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 resistor samples, no inductive correction to the resistor measurements is required. If the peak voltage on the metal block is between 2 % and 20 % of the peak voltage on the resistor sample, then the impulse shape of the metal block voltage shall be subtracted from the impulse shape of each of the resistor voltages and the peak values of the resulting impulse shapes shall be recorded as the corrected resistor voltages. If the peak voltage on the metal block is greater than 20 % of the peak voltage on the resistor samples, then the test circuit and the voltage measuring circuit shall be improved.

NOTE 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 sample impulse voltage wave shape (corrected if necessary) with the highest peak value shall be used to determine the steep current impulse residual voltage of the arrester according to one of the following procedures a) or b):

Procedure a)

- 1) multiply the sample impulse voltage waveshape by the scale factor (see 5.3);
- 2) from the waveshape of the steep current impulse, determine the rate of change of current (di/dt) over the entire waveshape and multiply it by the inductance in order to determine the inductive voltage drop:

$$u(t) = L \, di/dt = L' \, h \, di/dt$$

where

$u(t)$ is the inductive voltage drop as a function of time (kV);

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

$L' = 1$ for outdoor arresters;

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

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

di/dt is the rate of change of current with time ($\text{kA}/\mu\text{s}$);

- 3) add results of 1) and 2) on a waveshape basis; the peak value of the resulting waveshape is the steep current impulse residual voltage of the arrester.

Procédure b)

- 1) multiplier la valeur crête de la tension de choc par le facteur d'échelle (voir 5.3);
- 2) déterminer la chute de tension inductive aux bornes du parafoudre, en utilisant la formule suivante:

$$U_L = L \, di/dt = L' \, h \, I_n / T_f$$

où

U_L est la valeur 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 extérieur;

$L' = 0,3$ pour les parafoudres blindés;

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_n est le courant nominal de décharge (kA).

- 3) ajouter les résultats de 1) et 2); la valeur résultante est la tension résiduelle au choc courant à front raide du parafoudre.

7.3.2 Essai de vérification de la tension résiduelle aux chocs de foudre

Chacun des trois échantillons doit être soumis à un choc de courant de foudre selon 2.17 avec des valeurs de crête qui sont approximativement les suivantes: 0,5, 1 et 2 fois le courant nominal de décharge du parafoudre. La durée conventionnelle du front doit être comprise entre 7 et 9 μs 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 5.3. Les valeurs maximales des tensions résiduelles déterminées seront portées sur une courbe donnant la tension résiduelle en fonction du courant de décharge. La tension résiduelle lue sur cette courbe correspondant au courant nominal de décharge est définie comme le niveau de protection aux chocs de foudre du parafoudre.

NOTE Si l'essai individuel du parafoudre complet ne peut être effectué à l'un de ces courants, des essais complémentaires doivent être effectués sur des fractions avec un courant compris entre 0,01 et 0,25 fois le courant nominal de décharge, pour comparaison avec le parafoudre complet.

7.3.3 Essai de vérification de la tension résiduelle aux chocs de manœuvre

Chacun des trois échantillons doit être soumis à un courant de choc de manœuvre selon 2.32 à chacune des valeurs spécifiées dans le tableau 3, les valeurs de crête étant celles du tableau 3 avec une tolérance de $\pm 5 \%$. Les tensions résiduelles sont déterminées selon 5.3. Parmi les trois crêtes de tension, on détermine la plus élevée que l'on définit comme la tension résiduelle aux chocs de manœuvre du parafoudre au courant considéré. Le niveau de protection aux chocs de manœuvre du parafoudre est défini comme la valeur de tension la plus élevée mesurée aux courants spécifiés dans le tableau 3.

Tableau 3 – Valeurs de crête des courants pour l'essai de vérification de la tension résiduelle aux chocs de manœuvre

Classification des parafoudres	Courant de crête A
20 000 A, décharge de ligne classes 4 et 5	500 et 2 000
10 000 A, décharge de ligne classe 3	250 et 1 000
10 000 A, décharge de ligne classes 1 et 2	125 et 500

Procedure b):

- 1) multiply the peak value of the sample impulse voltage by the scale factor (see 5.3);
- 2) determine the inductive voltage drop between the arrester terminals using the following formula:

$$U_L = L \, di/dt = L' \, h \, I_n / T_f$$

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 arresters;

$L' = 0,3$ 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_n is the nominal discharge current (kA);

- 3) add the results of 1) and 2); the resulting value is the steep current impulse residual voltage of the arrester.

7.3.2 Lightning impulse residual voltage test

One lightning current impulse in accordance with 2.17 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 nominal discharge current of the arrester. Virtual front time shall be within 7 to 9 μs while the half value time (which is not critical) may have any tolerance. The residual voltages are determined in accordance with 5.3. 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 nominal discharge current is defined as the lightning impulse protection level of the arrester.

NOTE 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 nominal discharge current for comparison to the complete arrester.

7.3.3 Switching impulse residual voltage test

One switching current impulse in accordance with 2.32 of each specified value in table 3 shall be applied to each of the three samples with peak values according to table 3 with a tolerance of $\pm 5 \, \%$. The residual voltages are determined in accordance with 5.3. The highest of these three voltages is defined as the switching impulse residual voltage of the arrester at the respective current. The switching impulse protection level of the arrester is defined as the highest voltage measured at the currents specified in table 3.

Table 3 – Peak currents for switching impulse residual voltage test

Arrester classification	Peak currents A
20 000 A, line discharge classes 4 and 5	500 and 2 000
10 000 A, line discharge class 3	250 and 1 000
10 000 A, line discharge classes 1 and 2	125 and 500

7.4 Essai de tenue aux chocs de courant de longue durée

7.4.1 Généralités

Avant les essais, on doit mesurer, à des fins d'évaluation, sur chaque échantillon essayé, la tension résiduelle aux chocs de foudre au courant nominal de décharge.

Chacun des essais de tenue aux courants de choc de longue durée doit être effectué conformément à 6.3 et 7.1 sur trois échantillons neufs de parafoudres complets, de fractions de parafoudre ou de varistances n'ayant subi aucun essai antérieurement à l'exception de celui spécifié ci-dessus à des fins d'évaluation. Pendant les essais, les résistances variables à oxyde métallique peuvent être exposées à l'air libre immobile à une température de $20\text{ °C} \pm 15\text{ °C}$. La tension assignée des échantillons essayés doit être au moins 3 kV, si la tension assignée du parafoudre n'est pas inférieure à cette valeur, mais n'a pas besoin de dépasser 6 kV. Si le parafoudre considéré comporte un dispositif de déconnexion, ces essais doivent être effectués avec le dispositif en état de fonctionnement, voir 7.6.

Chaque essai aux courants de choc de longue durée comporte l'application de 18 décharges réparties en 6 séries de 3 décharges. Les intervalles entre les décharges doivent être de 50 s à 60 s et les intervalles entre les séries doivent être suffisants pour permettre à l'échantillon de refroidir jusqu'à une température voisine de la température ambiante.

A la suite de l'essai aux courants de longue durée et après refroidissement de l'échantillon à une température voisine de la température ambiante, on recommencera les essais de vérification de la tension résiduelle effectués avant l'essai aux courants de longue durée, en vue de comparer les valeurs mesurées avec celles obtenues avant l'essai et les valeurs ne doivent pas avoir varié de plus de 5 %.

L'examen visuel des échantillons après l'essai doit révéler l'absence de toute trace de perforation, d'amorçage, de fissure ou d'autre détérioration importante des résistances à oxyde métallique.

7.4.2 Prescriptions pour l'essai de décharge de ligne sur les parafoudres 20 000 A et 10 000 A

Cet essai consiste en l'application à l'échantillon en essai de chocs de courant simulant la décharge à travers cet échantillon d'une ligne préchargée définie par les paramètres donnés au tableau 4.

Tableau 4 – Paramètres pour l'essai de décharge de ligne sur les parafoudres 20 000 A et 10 000 A

Classification des parafoudres	Classe de décharge de ligne	Impédance d'onde de la ligne Z	Durée conventionnelle de la crête T	Tension de charge U_L
		Ω	μs	kV tension continue
10 000 A	1	$4,9 U_r$	2 000	$3,2 U_r$
10 000 A	2	$2,4 U_r$	2 000	$3,2 U_r$
10 000 A	3	$1,3 U_r$	2 400	$2,8 U_r$
20 000 A	4	$0,8 U_r$	2 800	$2,6 U_r$
20 000 A	5	$0,5 U_r$	3 200	$2,4 U_r$

U_r est la tension assignée de l'échantillon essayé en kilovolts, valeur efficace.

NOTE Les classes 1 à 5 du tableau précédent correspondent à des prescriptions en matière de décharge de sévérité croissante. Le choix de la classe de décharge appropriée est fonction des exigences du réseau et fait l'objet de l'annexe E.

L'énergie (W) injectée dans l'échantillon en essai est déterminée à partir des paramètres du tableau 4 grâce à la formule:

$$W = U_{res} \cdot (U_L - U_{res}) \cdot 1/Z \cdot T$$

où U_{res} est la plus faible valeur de la tension résiduelle aux chocs de manœuvre mesurée sur les trois échantillons en essai pour la valeur la plus faible des courants donnés au tableau 3.

7.4 Long duration current impulse withstand test

7.4.1 General

Before the tests the lightning impulse residual voltage at nominal discharge current of each test sample shall be measured for evaluation purposes.

Each long duration current impulse withstand test shall be made in accordance with 6.3 and 7.1 on three new samples of complete arresters, arrester sections or resistor elements which have not been subjected previously to any test except that specified above for evaluation purposes. The non-linear metal-oxide resistors may be exposed to the open air at a still air temperature of $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ during these tests. The rated voltage of the test samples shall be at least 3 kV if the rated voltage of the arrester is not less than this and need not exceed 6 kV. If an arrester disconnector is built into the design of the arrester under consideration, these tests shall be made with the disconnector in operable condition, see 7.6.

Each long duration current impulse test shall consist of 18 discharge operations divided into six groups of three operations. Intervals between operations shall be 50 s to 60 s and between groups such that the sample cools to near ambient temperature.

Following the long duration current test and after the sample has cooled to near ambient temperature the residual voltage tests which were made before the long duration current test shall be repeated for comparison with the values obtained before the test and the values shall not have changed by more than 5 %.

Visual examination of the test samples after the test shall reveal no evidence of puncture, flashover, cracking or other significant damage of the metal-oxide resistors.

7.4.2 Line discharge test requirements for 20 000 A and 10 000 A arresters

This test consists in the application of current impulses to the test sample simulating discharges through it of a precharged line as defined by the parameters given in table 4.

**Table 4 – Parameters for the line discharge test
on 20 000 A and 10 000 A arresters**

Arrester classification	Line discharge class	Surge impedance of the line Z Ω	Virtual duration of peak T μs	Charging voltage U_L kV d.c.
10 000 A	1	$4,9 U_r$	2 000	$3,2 U_r$
10 000 A	2	$2,4 U_r$	2 000	$3,2 U_r$
10 000 A	3	$1,3 U_r$	2 400	$2,8 U_r$
20 000 A	4	$0,8 U_r$	2 800	$2,6 U_r$
20 000 A	5	$0,5 U_r$	3 200	$2,4 U_r$

U_r is the rated voltage of the test sample in kilovolts r.m.s.

NOTE The classes 1 to 5 of the preceding table correspond to increasing discharge requirements. The selection of the appropriate discharge class is based on system requirements and is dealt with in annex E.

The energy (W) injected into the test sample is determined from the parameters of table 4 by the formula:

$$W = U_{\text{res}} \cdot (U_L - U_{\text{res}}) \cdot 1/Z \cdot T$$

where U_{res} is the lowest value of the switching impulse residual voltage measured on the three test samples for the lower current value of table 3.

L'essai peut être réalisé avec n'importe quel générateur remplissant les conditions suivantes:

- La durée conventionnelle de la crête du choc de courant doit être comprise entre 100 % et 120 % de la valeur spécifiée dans le tableau 4.
- La durée conventionnelle totale du choc de courant ne doit pas dépasser 150 % de la durée conventionnelle de la crête.
- Les oscillations ou le décrochement initial ne doivent pas dépasser 10 % de la valeur de crête du courant. S'il existe des oscillations, on déterminera la valeur de crête en traçant une courbe moyenne.
- L'énergie de chacun des chocs pour chacun des échantillons essayés doit être comprise entre 90 % et 110 % de la valeur calculée plus haut pour le premier choc et entre 100 % et 110 % de cette valeur pour les chocs suivants.

Le générateur sera déconnecté de l'échantillon d'essai à un moment compris entre 1 et 2 fois la durée conventionnelle totale des chocs de courant après le passage du courant par zéro.

Un exemple de circuit d'essai est décrit à l'annexe J.

7.4.3 Prescriptions pour l'essai au courant de longue durée sur les parafoudres 5 000 A et 2 500 A

Le générateur utilisé pour cet essai devra fournir un choc de courant remplissant les prescriptions suivantes:

- La durée conventionnelle de la crête doit être comprise entre 100 % et 120 % de la valeur spécifiée dans le tableau 5.
- La durée totale conventionnelle ne doit pas dépasser 150 % de la durée conventionnelle de la crête.
- Les oscillations ou le décrochement initial ne doivent pas dépasser 10 % de la valeur de crête du courant. S'il existe des oscillations, on déterminera la valeur de crête en traçant une courbe moyenne.
- Le courant de crête doit être compris entre 90 % et 110 % de la valeur spécifiée dans le tableau 5 pour le premier choc et entre 100 % et 110 % de cette valeur pour les chocs suivants.

Tableau 5 – Prescriptions pour l'essai aux chocs de courant de longue durée sur les parafoudres 5 000 et 2 500 A

Classification des parafoudres	Courant de crête A	Durée conventionnelle de la crête T μ s
5 000 A	75	1 000
2 500 A	50	500

7.5 Essais de fonctionnement

7.5.1 Généralités

Dans ces essais, on reproduit les conditions de service, comme expliqué en 5.9, en appliquant au parafoudre un nombre fixé de chocs de courant spécifiés en association avec une source d'alimentation à fréquence industrielle de fréquence et de tension spécifiées. La tension doit être mesurée avec une précision de ± 1 % et sa valeur de crête ne doit pas varier de plus de 1 % entre la valeur à vide et la valeur à pleine charge. Il convient que le rapport de la tension de crête à la valeur efficace ne s'éloigne pas de $\sqrt{2}$ de plus de 2 %. Pendant les essais de fonctionnement, il est souhaitable que la tension à fréquence industrielle ne s'écarte pas des valeurs spécifiées de plus de ± 1 %.

The test may be carried out with any generator fulfilling the following requirements:

- The virtual duration of the peak of the current impulse shall be between 100 % and 120 % of the value specified in table 4.
- The virtual total duration of the current impulse shall not exceed 150 % of the virtual duration of the peak.
- Oscillations or initial overshoot shall not exceed 10 % of the peak of the current value. If oscillations occur, a mean curve shall be drawn for the determination of the peak value.
- The energy for each impulse on each tested sample shall lie between 90 % and 110 % of the above calculated value for the first impulse and between 100 % and 110 % of this value for the following impulses.

The current generator shall be disconnected from the test sample later than one time and earlier than two times the virtual total duration of the current impulses after passing through zero.

An example of a suitable test circuit is described in annex J.

7.4.3 Long duration current requirements for 5 000 A and 2 500 A arresters

The generator used in this test shall deliver a current impulse fulfilling the following requirements:

- The virtual duration of the peak shall lie between 100 % and 120 % of the value specified in table 5.
- The virtual total duration shall not exceed 150 % of the virtual duration of the peak.
- Oscillations or initial overshoot shall not exceed 10 % of the peak current value. If oscillations occur, a mean curve shall be drawn for the determination of the peak value.
- The peak current shall lie between 90 % and 110 % of the value specified in table 5 for the first impulse and between 100 % and 110 % of this value for the following impulses.

Table 5 – Requirements for the long-duration current impulse test on 5 000 A and 2 500 A arresters

Arrester classification	Peak current A	Virtual duration of peak T μ s
5 000 A	75	1 000
2 500 A	50	500

7.5 Operating duty tests

7.5.1 General

As explained in 5.9 these are tests in which service conditions are simulated by the application to the arrester of a stipulated number of specified impulses in combination with energization by a power supply of specified voltage and frequency. The voltage should be measured with an accuracy of ± 1 % and its peak value is not allowed to vary by more than 1 % from no load to full load condition. The ratio of peak voltage to r.m.s. value should not deviate from $\sqrt{2}$ by more than 2 %. During the operating duty tests the power frequency voltage should not deviate from the specified values by more than ± 1 %.

L'exigence principale pour que le parafoudre passe avec succès ces essais est qu'il soit capable de se refroidir pendant l'application de la tension à fréquence industrielle, c'est-à-dire qu'il ne doit pas y avoir d'emballement thermique. Les fractions de parafoudre en essai doivent donc avoir une capacité de dissipation de chaleur égale ou inférieure à celle du parafoudre complet tant en régime transitoire qu'en régime permanent, voir 7.5.3.

La séquence d'essai comprend:

- des mesures initiales;
- un conditionnement;
- l'application des chocs;
- des mesures et examens.

Cette séquence est illustrée par les figures 1, 2 et C.1.

L'essai doit être effectué, conformément à 6.2, 6.3 et 7.1, sur trois échantillons de parafoudres complets où de fractions de parafoudre à une température ambiante de $20\text{ °C} \pm 15\text{ °C}$. La tension assignée de ces échantillons doit être au moins égale à 3 kV (sauf si la tension assignée du parafoudre est inférieure à cette valeur) mais sans dépasser nécessairement 12 kV. Si le parafoudre considéré comporte par construction un dispositif de déconnexion, ces essais doivent être effectués avec le dispositif de déconnexion en état de fonctionnement, voir 7.6.

Pour les parafoudres de tension assignée supérieure à 12 kV, il est habituellement nécessaire, en raison des limitations des installations d'essai existantes, d'effectuer cet essai sur une fraction de parafoudre. Il importe que la tension aux bornes de l'échantillon en essai et le courant à fréquence industrielle traversant l'échantillon représentent le mieux possible les conditions prévalant pour le parafoudre complet.

La puissance dissipée par les varistances constitue le paramètre critique pour que le parafoudre passe avec succès l'essai de fonctionnement. On doit donc effectuer l'essai de fonctionnement sur des varistances neuves avec des tensions d'essai majorées U_c^* et U_r^* , qui donnent les mêmes valeurs de puissance dissipée que des varistances vieilles sous la tension de régime permanent et sous la tension assignée. Ces tensions d'essai majorées doivent être déterminées à partir de l'essai de vieillissement accéléré de la manière décrite en 7.5.2.2.

La fraction de parafoudre essayée doit être soumise à des tensions égales à la tension de régime permanent (voir 2.9) et à la tension assignée (voir 2.8) du parafoudre complet divisées par le nombre total n de fractions semblables, voir 6.3. Ces tensions, U_{sc} égale à U_c/n et U_{sr} égale à U_r/n sont modifiées conformément à 7.5.2.2 pour obtenir les tensions d'essais majorées U_c^* et U_r^* .

NOTE La température de préchauffage de $60\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$ spécifiée dans les figures 1 et 2 est une moyenne pondérée qui tient compte de l'influence de la température ambiante, du rayonnement solaire ainsi que de certains effets de la pollution sur l'enveloppe du parafoudre.

7.5.2 Essai de vieillissement accéléré

Cet essai permet de déterminer les valeurs de tension majorées U_c^* et U_r^* qui sont utilisées pour les essais de fonctionnement (voir les figures 1, 2 et le tableau C.1) et permettront d'effectuer ces essais sur des résistances neuves.

NOTE Pour les résistances soumises à une tension proche de la tension de référence U_{ref} , une procédure d'essai alternative est à l'étude.

7.5.2.1 Procédure d'essai

Trois échantillons de résistances doivent être alimentés sous une tension égale à leur tension de service permanent corrigée U_{ct} (voir plus loin) pendant une durée de 1 000 h durant laquelle la température doit être régulée de façon à ce que la température à la surface des résistances se maintienne à $115\text{ °C} \pm 4\text{ K}$.

The main requirement to pass these tests is that the arrester is able to cool down during the power frequency voltage application, i.e. thermal runaway does not occur. It is required therefore that the arrester sections tested shall have both a transient and a steady state heat dissipation capability equal to or less than for the complete arrester, see 7.5.3.

The test sequence comprises:

- initial measurements;
- conditioning;
- application of impulses;
- measurements and examination.

This sequence is illustrated in figures 1, 2 and C.1.

The test shall be made on three samples of complete arresters or arrester sections in accordance with 6.2, 6.3 and 7.1 at an ambient temperature of $20\text{ °C} \pm 15\text{ °C}$. The rated voltage of the test samples shall be at least 3 kV if the rated voltage of the arrester is not lower than this and need not exceed 12 kV. If an arrester disconnector is built into the design of arrester under consideration, these tests shall be made with the disconnector in operable condition, see 7.6.

For arresters rated above 12 kV it is usually necessary to make this test on an arrester section because of limitations of existing test facilities. It is important that the voltage across the test sample and the power frequency current through the sample represent as closely as possible the conditions in the complete arrester.

The critical arrester parameter for successfully passing the operating duty test is the resistor power loss. The operating duty test shall, therefore, be carried out on new resistors at elevated test voltages U_c^* and U_r^* that give the same power losses as aged resistors at continuous operating and rated voltage respectively. These elevated test voltages shall be determined from the accelerated ageing procedure in the way described in 7.5.2.2.

The power frequency test voltages to be applied to the test arrester section shall be the continuous operating (see 2.9) and rated (see 2.8) voltages of the complete arrester divided by the total number of similar arrester sections n , see 6.3. These voltages, U_{sc} equal to U_c/n and U_{sr} equal to U_r/n are modified according to 7.5.2.2 to establish the elevated test voltages U_c^* and U_r^* .

NOTE The established preheat temperature of $60\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$ specified in figures 1 and 2 is a weighted average that covers the influence of ambient temperature, solar radiation and some influence of pollution on the arrester housing.

7.5.2 Accelerated ageing procedure

This test procedure is designed to determine the voltage values U_c^* and U_r^* used in the operating duty tests (see figures 1, 2 and table C.1) which will allow those tests to be carried out on new resistors.

NOTE An alternate test procedure for resistors stressed close to or above the reference voltage U_{ref} is under consideration.

7.5.2.1 Test procedure

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

Tous les matériaux (solides ou liquides) en contact direct avec les résistances doivent être présents lors de l'essai de vieillissement, avec une conception identique à celle du parafoudre complet.

Pendant ce vieillissement accéléré, la résistance doit se trouver dans le milieu utilisé dans le parafoudre. Dans ce cas, l'essai doit être effectué sur des résistances séparées dans une enceinte fermée dont le volume est au moins le double de celui de la résistance; la densité du milieu dans l'enceinte ne doit pas être inférieure à celle du milieu dans le parafoudre.

NOTE 1 Le milieu entourant la résistance à l'intérieur du parafoudre peut subir des modifications durant la vie normale du parafoudre en raison de décharges partielles internes. Une éventuelle modification du milieu entourant la résistance peut accroître de façon significative la puissance absorbée en service.

Une procédure d'essai appropriée prenant en compte de telles modifications est à l'étude. Entre-temps, une procédure alternative consiste à réaliser l'essai dans du N_2 ou du SF_6 (pour les parafoudres blindés) avec une concentration d'oxygène faible (moins de 0,1 % en volume). Cela assure que, même en l'absence totale d'oxygène, le parafoudre ne vieillira pas.

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 pourra être effectué à l'air libre. La tension appropriée pour cet essai est la tension de service permanent corrigée (U_{ct}) à laquelle sont soumises les résistances 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 tension.

NOTE 2 Des informations sur les procédures utilisables pour le calcul de la répartition de tension sont données à l'annexe M.

Pour les parafoudres de longueur H inférieure à 1 m, à l'exception de ceux à enveloppe conductrice et mise à la terre tels les parafoudres blindés, immergés, débroschables et pour prise, la tension peut être déterminée à partir de la formule suivante:

$$U_{ct} = U_c (1 + 0,15 H)$$

où H est la longueur totale du parafoudre (m).

L'essai de vieillissement décrit ci-dessus doit être effectué sur trois échantillons types de résistances dont la tension de référence doit répondre aux prescriptions de 6.3. La tension à fréquence industrielle doit correspondre aux prescriptions des essais de fonctionnement (voir 7.5.1).

7.5.2.2 Détermination des valeurs majorées de la tension assignée et de la tension de service permanent

Les trois échantillons en essai doivent être chauffés jusqu'à une température de $115\text{ °C} \pm 4\text{ K}$ et la puissance absorbée par les résistances P_{1ct} doit être mesurée à la tension U_{ct} 1 h ou 2 h après l'application de la tension. La puissance absorbée par les résistances doit être mesurée une fois dans chaque intervalle de 100 h après la première mesure donnant P_{1ct} . Enfin, la puissance absorbée par les résistances P_{2ct} doit être mesurée après $1\,000^{+100}_0$ h de vieillissement dans les mêmes conditions. Une mise hors tension intermédiaire accidentelle de l'échantillon en essai est acceptable, à condition qu'elle n'excède pas une durée totale de 24 h pour toute la période d'essai. Cette interruption de l'essai ne sera pas comptée dans le temps d'essai. Il convient que la mesure finale soit faite après une application de la tension d'une durée au moins égale à 100 h. Dans la gamme de température admise, toutes les mesures doivent être faites à la même température à $\pm 1\text{ K}$ près.

La valeur minimale de la puissance absorbée parmi les valeurs mesurées au moins toutes les 100 h est appelée P_{3ct} . Cela est récapitulé à la figure 5.

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

During this accelerated ageing, the resistor shall be in the surrounding medium used in the arrester. In this case, the procedure shall be carried out on single 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 1 The medium surrounding the 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.

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 arrester will not age.

If the manufacturer can prove that the test carried out in open air is equivalent to that carried out in the actual medium, the ageing procedure can be carried out in open air. The relevant voltage for this procedure is the corrected maximum continuous operating voltage (U_{ct}), which the resistors support in the arrester including voltage unbalance effects. This voltage should be determined by voltage distribution measurements or computations.

NOTE 2 Information on procedures for voltage distribution calculations are given in annex M.

For arresters with a length H of less than 1 m, except for arresters with conductive, grounded enclosures such as GIS-arresters, liquid-immersed, deadfront or separable arresters, the voltage may be determined from the following formula:

$$U_{ct} = U_c (1 + 0,15 H)$$

where H is the total length of the arrester (m).

The ageing procedure described above shall be carried out on three typical samples of resistor elements with a reference voltage fulfilling the requirements of 6.3. The power frequency voltage shall fulfil the requirements stated for the operating duty test (see 7.5.1).

7.5.2.2 Determination of elevated rated and continuous operating voltages

The three test samples shall be heated to $115\text{ °C} \pm 4\text{ K}$ and the resistor power losses P_{1ct} shall be measured at a voltage of U_{ct} 1 h to 2 h after the voltage application. The resistor power losses shall be measured once in every 100 h time span after the first measurement giving P_{1ct} . Finally, the resistor power losses P_{2ct} shall be measured after $1\,000^{+100}_0$ h of ageing under the same conditions. Accidental intermediate de-energising 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. The final measurement should be performed after not less than 100 h of continuous energising. Within the temperature range allowed, all measurements shall be made at the same temperature $\pm 1\text{ K}$.

The minimum power losses value among those measured at least every 100 h time span shall be called P_{3ct} . This is summarised in figure 5.

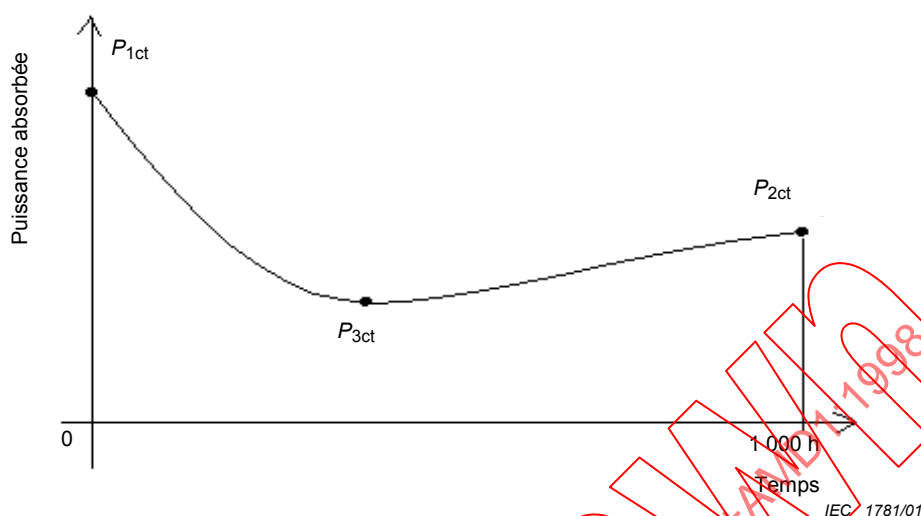


Figure 5 – Puissance absorbée par un parafoudre à températures élevées en fonction du temps

- Si P_{2ct} est inférieure ou égale à 1,1 fois P_{3ct} , les essais décrits en 7.5.4.2 et 7.5.5.2 doivent être réalisés sur des résistances neuves:
 - si P_{2ct} est inférieure ou égale à P_{1ct} , U_{sc} et U_{sr} sont utilisées sans majoration;
 - si P_{2ct} est supérieure à P_{1ct} , le rapport P_{2ct}/P_{1ct} est déterminé pour chaque échantillon. Le plus élevé de ces rapports est appelé K_{ct} . On mesure ensuite sur trois résistances neuves, à température ambiante, les puissances absorbées P_{1c} et P_{1r} respectivement à U_{sc} et U_{sr} . Puis on élève les tensions de façon à ce que les puissances correspondantes P_{2c} et P_{2r} obéissent à la relation:

$$\frac{P_{2c}}{P_{1c}} = K_{ct}; \quad \frac{P_{2r}}{P_{1r}} = K_{ct}$$

Les valeurs majorées U_c^* et U_r^* sont respectivement les plus élevées parmi les trois valeurs des tensions ainsi obtenues. Alternativement, des résistances vieilles peuvent aussi être utilisées après accord entre l'utilisateur et le constructeur.

- Si P_{2ct} est supérieure à 1,1 fois P_{3ct} et si P_{2ct} est supérieure ou égale à P_{1ct} , les essais décrits en 7.5.4.2 et 7.5.5.2 doivent être effectués sur des résistances vieilles. Des résistances neuves avec valeurs majorées U_c^* et U_r^* peuvent être utilisées, mais seulement après accord entre l'utilisateur et le constructeur.

Les résistances vieilles sont, par définition, des résistances essayées selon 7.5.2.1.

Le tableau 7 suivant résume ces cas:

Tableau 7 – Détermination des tensions assignée et de service permanent majorées

Puissances absorbées mesurées	Echantillons et tensions d'essai pour les essais de fonctionnement
$P_{2ct} \leq 1,1 \times P_{3ct}$ et $P_{2ct} \leq P_{1ct}$	Echantillons neufs à U_{sc} et U_{sr}
$P_{2ct} \leq 1,1 \times P_{3ct}$ et $P_{2ct} > P_{1ct}$	Echantillons neufs à U_{sc}^* et U_{sr}^*
$P_{2ct} > 1,1 \times P_{3ct}$ et $P_{2ct} < P_{1ct}$	Echantillons vieillis à U_{sc} et U_{sr}
$P_{2ct} > 1,1 \times P_{3ct}$ et $P_{2ct} \geq P_{1ct}$	Echantillons vieillis à U_{sc} et U_{sr} (ou échantillons neufs à U_{sc}^* et U_{sr}^* après accord entre l'utilisateur et le constructeur)

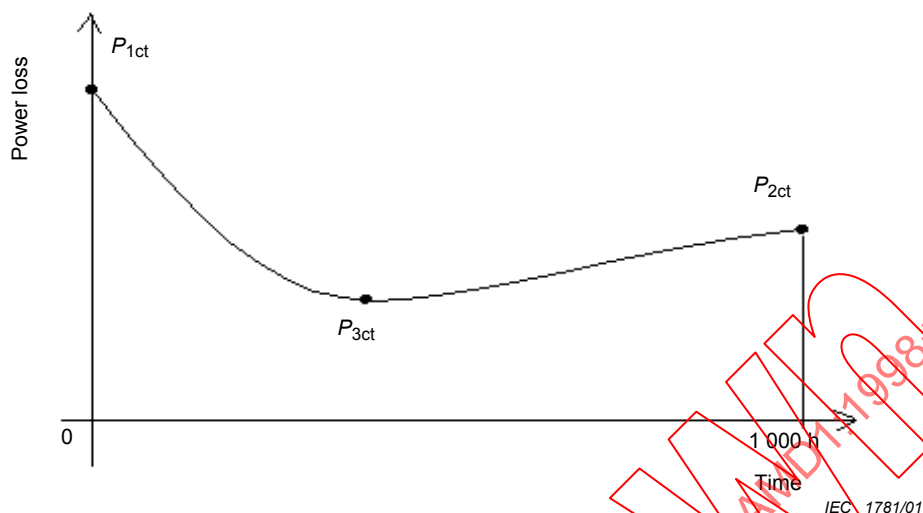


Figure 5 – Power losses of arrester at elevated temperatures versus time

- If P_{2ct} is equal to or below 1,1 times P_{3ct} , then the test according to 7.5.4.2 and 7.5.5.2 shall be performed on new resistors:
 - if P_{2ct} is equal to or less than P_{1ct} , U_{sc} and U_{sr} are used without any modification;
 - if P_{2ct} is greater than P_{1ct} , the ratio P_{2ct}/P_{1ct} is determined for each sample. The highest of these three ratios is called K_{ct} . On three new resistors at ambient temperature, the power losses P_{1c} and P_{1r} are measured at U_{sc} and U_{sr} respectively. Thereafter, the voltages are increased so that the corresponding power losses P_{2c} and P_{2r} fill the relation:

$$\frac{P_{2c}}{P_{1c}} = K_{ct}, \quad \frac{P_{2r}}{P_{1r}} = K_{ct}$$

U_c^* and U_r^* are the highest of the three increased voltages obtained. As an alternative, aged resistors may also be used after agreement between the user and the manufacturer.

- If P_{2ct} is greater than 1,1 times P_{3ct} , and P_{2ct} is greater than or equal to P_{1ct} then aged resistors shall be used for the following tests of 7.5.4.2 and 7.5.5.2. New resistors with corrected values U_c^* and U_r^* can be used, but only after agreement between the user and the manufacturer.

Aged resistors are, by definition, resistors tested according to 7.5.2.1.

The following table 7 summarises these cases:

Table 7 – Determination of elevated rated and continuous operating voltages

Power losses measured	Test samples and test voltage for the operating duty test
$P_{2ct} \leq 1,1 \times P_{3ct}$ and $P_{2ct} \leq P_{1ct}$	New samples at U_{sc} and U_{sr}
$P_{2ct} \leq 1,1 \times P_{3ct}$ and $P_{2ct} > P_{1ct}$	New samples at U_{sc}^* and U_{sr}^*
$P_{2ct} > 1,1 \times P_{3ct}$ and $P_{2ct} < P_{1ct}$	Aged samples at U_{sc} and U_{sr}
$P_{2ct} > 1,1 \times P_{3ct}$ and $P_{2ct} \geq P_{1ct}$	Aged samples at U_{sc} and U_{sr} (or new samples at U_{sc}^* and U_{sr}^* after agreement between the user and the manufacturer)

Quand des résistances vieilles sont utilisées pour les essais de fonctionnement, il est recommandé que l'intervalle de temps entre l'essai de vieillissement et les essais de fonctionnement soit inférieur à 24 h.

Il convient que la durée des mesures soit suffisamment courte pour éviter une augmentation de la puissance absorbée en raison de l'échauffement.

7.5.3 Capacité de dissipation de chaleur de l'échantillon en essai

7.5.3.1 Généralités

Dans les essais de fonctionnement, le comportement de l'échantillon en 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 en 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, quand elles sont soumises à la même contrainte de tension dans les mêmes conditions ambiantes, les résistances variables à oxyde métallique doivent atteindre la même température dans l'échantillon et dans le parafoudre complet.

7.5.3.2 Prescriptions pour les fractions de parafoudre

Le présent paragraphe spécifie un modèle thermique pour les fractions de parafoudre et devra être appliqué s'il est prescrit d'établir l'équivalence thermique:

- a) Le modèle doit simuler, électriquement et thermiquement, une tranche de la partie active du parafoudre à modéliser.
- b) L'enveloppe doit répondre aux prescriptions suivantes:
 - i) Le matériau doit être le même que celui de l'enveloppe du parafoudre.
 - ii) Le diamètre intérieur doit être le même que celui du parafoudre ± 5 %.
 - iii) La masse totale de l'enveloppe ne doit pas dépasser de plus de 10 % la masse de la fraction d'enveloppe moyenne du parafoudre à modéliser.
 - iv) L'enveloppe doit être suffisamment longue pour contenir la fraction de parafoudre; la quantité de matériau isolant aux deux extrémités devra être réglée de façon à satisfaire aux exigences thermiques décrites dans l'annexe B.
- c) Le conducteur utilisé pour les connexions électriques de l'échantillon est un fil de cuivre dont le diamètre maximal est de 3 mm.

7.5.4 Essai de fonctionnement aux chocs de courant de grande amplitude

Cet essai s'applique aux parafoudres 1 500 A, 2 500 A, 5 000 A et 10 000 A de classe de décharge de ligne 1 ainsi qu'aux parafoudres pour courants de foudre élevés décrits dans l'annexe C, conformément à 5.9.

La séquence d'essai complète est représentée par la figure 1 ou C.1.

Avant l'essai de conditionnement, la première partie de l'essai de fonctionnement consiste à déterminer, à la température ambiante, la tension résiduelle aux chocs de foudre au courant nominal de décharge des trois échantillons essayés (varistances), voir 7.3.2.

Where aged resistors are used in the operating duty test, it is recommended that the time delay between the ageing test and the operating duty test be not more than 24 h

The measuring time should be short enough to avoid increased power loss due to heating.

7.5.3 Heat dissipation behaviour of test sample

7.5.3.1 General

In the operating duty tests 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 non-linear metal-oxide resistors in the sample and in the complete arrester should in principle reach the same temperature when subjected to the same voltage stress.

7.5.3.2 Arrester section requirements

This subclause specifies a thermal model of the arrester section and shall be followed when thermal equivalence is required:

- a) The model shall electrically and thermally represent a sliced portion of the active part of the arrester being modeled.
- b) The housing shall meet the following requirements:
 - i) Material shall be the same as that of the arrester housing.
 - ii) Inside diameter shall be the same as that of the arrester $\pm 5\%$.
 - iii) The total mass of the housing shall not be more than 10 % greater than the mass of the average housing section of the arrester being modelled.
 - iv) The housing shall be long enough to enclose the arrester section and the amount of insulation at the two ends shall be adjusted so as to meet the thermal requirements described in annex B.
- c) The maximum conductor size used for electrical connections within the sample is 3 mm diameter copper wire.

7.5.4 High current impulse operating duty test

This test applies to 1 500 A, 2 500 A, 5 000 A and 10 000 A line discharge class 1 arresters and High Lightning Duty arresters in annex C, according to 5.9.

The complete test sequence is illustrated in figure 1 or C.1.

Before the conditioning test, as the first part of the operating duty test, the lightning impulse residual voltage at nominal discharge current of each of the three test samples (resistor elements) is determined at ambient temperature, see 7.3.2.

7.5.4.1 Conditionnement

On soumet les échantillons à un essai de conditionnement comportant vingt chocs de courant de foudre 8/20 selon 2.17 et dont la valeur de crête est égale au courant nominal de décharge du parafoudre. Les chocs sont appliqués pendant que l'échantillon d'essai est soumis à une tension égale à 1,2 fois sa tension de régime permanent. L'application des vingt chocs se fait en quatre séries de cinq chocs. L'intervalle de temps séparant les chocs consécutifs doit être de 50 s à 60 s et l'intervalle entre les séries de 25 min à 30 min. Il n'est pas nécessaire que l'échantillon reste sous tension entre les séries de chocs. Le choc de courant doit être de la même polarité que la demi-période de tension à la fréquence industrielle pendant laquelle il survient; il doit être appliqué 60 ± 15 degrés électriques avant la crête de la tension à fréquence industrielle.

Cet essai de conditionnement peut être effectué sur les varistances à l'air libre immobile à une température de $20\text{ °C} \pm 15\text{ °C}$. La valeur de crête mesurée du choc de courant doit être comprise entre 90 % et 110 % de la valeur de crête spécifiée.

Après l'essai de conditionnement, les varistances sont conservées en vue de leur utilisation ultérieure dans les essais de fonctionnement, voir la figure 1 et la figure C.1 de l'annexe C.

7.5.4.2 Application des chocs

Au début de l'essai de fonctionnement, la température de la fraction complète doit être de $20\text{ °C} \pm 15\text{ °C}$.

On soumet la fraction à deux chocs de courant de grande amplitude dont la valeur de crête et la forme d'onde sont spécifiées dans le tableau 6. On soumet les parafoudres pour courants de foudre élevés spécifiés dans l'annexe C à trois chocs 30/80 dont la valeur de crête est 40 kA.

Tableau 6 – Prescriptions pour les chocs de courant de grande amplitude

Classification des parafoudres	Courant de crête 4/10 kA
10 000 A	100
5 000 A	65
2 500 A	25
1 500 A	10

NOTE 1 Selon les conditions de service, on pourra adopter pour le courant de crête des valeurs différentes (inférieures ou supérieures).

Entre les deux chocs, la fraction doit être préchauffée dans une étuve de façon que la température au moment d'application du deuxième choc soit de $60\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$. Les essais doivent être effectués à la température ambiante de $20\text{ °C} \pm 15\text{ °C}$.

Si, en raison d'une pollution élevée ou de conditions de service anormales, une température plus élevée est jugée nécessaire, la valeur plus élevée sera utilisée pour l'essai à condition qu'il y ait un accord entre le constructeur et le client.

Les tolérances admises sur le réglage de l'appareillage d'essai pour les courants de choc doivent être telles que l'on mesure des valeurs comprises entre les limites suivantes:

- a) valeur de crête comprise entre 90 % et 110 % de la valeur spécifiée;
- b) durée conventionnelle du front comprise entre 3,5 μs et 4,5 μs ;
- c) durée conventionnelle jusqu'à mi-valeur sur la queue comprise entre 9 μs à 11 μs ;

7.5.4.1 Conditioning

The samples are exposed to a conditioning test consisting of twenty 8/20 lightning current impulses according to 2.17 and having a peak value equal to the nominal discharge current of the arrester. The impulses are applied while the test sample is energized at 1,2 times the continuous operating voltage of the sample. The twenty impulses are applied in four groups of five impulses. The interval between the impulses shall be 50 s to 60 s and the interval between groups shall be 25 min to 30 min. It is not required that the test sample be energized between groups of impulses. The polarity of the current impulse shall be the same as that of the half cycle of power frequency voltage during which it occurs and it shall be applied 60 ± 15 electrical degrees before the peak of the power frequency voltage.

This conditioning test may be carried out on the resistor elements in open air at a still air temperature of $20\text{ °C} \pm 15\text{ °C}$. The measured peak value of the current impulse shall be within 90 % and 110 % of the specified peak value.

After this conditioning test the resistors are stored for future use in the operating duty tests, see figures 1 and C.1 in annex C.

7.5.4.2 Application of impulses

At the beginning of the operating duty test the temperature of the complete section shall be $20\text{ °C} \pm 15\text{ °C}$.

The section is subjected to two high current impulses with peak value and impulse shape as specified in table 6. High Lightning Duty arresters specified in annex C are subjected to three 30/80 impulses with a peak value of 40 kA.

Table 6 – Requirements for high current impulses

Arrester classification	Peak current 4/10 kA
10 000 A	100
5 000 A	65
2 500 A	25
1 500 A	10

NOTE 1 According to service conditions other values (lower or higher) may be adopted for the peak current.

Between the two impulses the section shall be preheated in an oven so that the temperature at the application of the second impulse is $60\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$. The tests shall be carried out at an ambient temperature of $20\text{ °C} \pm 15\text{ °C}$.

If a higher temperature is deemed necessary because of high pollution or abnormal service conditions, then the higher value is used for the test if agreed to between manufacturer and purchaser.

The tolerances on the adjustment of the equipment shall be such that the measured values of the current impulses are within the following limits:

- from 90 % to 110 % of the specified peak value;
- from 3,5 μs to 4,5 μs for virtual front time;
- from 9 μs to 11 μs for virtual time to half value on the tail;

- d) la valeur de crête de toute onde de courant de la polarité opposée doit être inférieure à 20 % de la valeur de crête du courant;
- e) on admet la présence sur l'onde de petites oscillations à condition que leur amplitude au voisinage de la crête du choc soit inférieure à 5 % de la valeur de crête. Dans ces conditions, pour les besoins des mesures, on établit une courbe moyenne pour déterminer la valeur de crête.

L'essai de conditionnement et les chocs de courant de grande amplitude qui le suivent doivent être appliqués avec la même polarité.

Un circuit type pouvant être utilisé pour cet essai est décrit dans l'annexe H.

Dès que possible après le dernier choc de courant de grande amplitude et avant que 100 milli-secondes ne se soient écoulées, on applique une tension à fréquence industrielle égale aux valeurs majorées de la tension assignée (U_r^*) et de la tension de régime permanent (U_c^*) (voir 7.5.2) pendant une durée de 10 secondes et de 30 minutes respectivement, pour mettre en évidence la stabilité thermique ou l'emballement thermique.

NOTE 2 Pour reproduire les conditions réelles du réseau, le deuxième choc de courant de grande amplitude est appliqué de préférence pendant que l'échantillon est soumis à la tension U_r^* . Le délai de 100 ms est admis en considérant les limitations pratiques du circuit d'essai.

On doit enregistrer le courant à chaque choc et les différents enregistrements de courant effectués sur un même échantillon ne doivent mettre en évidence aucune variation indiquant une perforation ou un contournement de l'échantillon.

Le courant à la valeur majorée de la tension de régime permanent (U_c^*) doit être enregistré de façon continue pendant l'application de la tension à fréquence industrielle.

Pendant l'application de la tension à fréquence industrielle, on doit enregistrer la température des résistances variables à oxyde métallique ou la composante résistive du courant ou la puissance dissipée pour démontrer la stabilité thermique ou l'emballement thermique, voir 7.5.6.

Après le déroulement complet des essais et le refroidissement de l'échantillon en essai jusqu'à une température voisine de la température ambiante, on recommence les essais de vérification de la tension résiduelle effectués au début des essais.

Le parafoudre a passé l'essai avec succès s'il est thermiquement stable, si la tension résiduelle mesurée avant et après essai n'a pas varié de plus de 5 % et si l'examen des échantillons ne met en évidence ni perforation, ni contournement, ni fissure des résistances variables à oxyde métallique.

7.5.5 Essai de fonctionnement en surtensions de manœuvre

Cet essai s'applique aux parafoudres 10 000 A des classes de décharge de ligne 2 et 3 ainsi qu'aux parafoudres 20 000 A des classes de décharge de ligne 4 et 5, conformément à 5.9.

La séquence d'essai complète est représentée par la figure 2.

Avant l'essai de fonctionnement en surtensions de manœuvre, on doit déterminer, à la température ambiante, la tension résiduelle aux chocs de foudre au courant nominal de décharge de chacun des trois échantillons d'essai (varistances), voir 7.3.2.

Les échantillons d'essai doivent être convenablement repérés afin d'assurer la polarité correcte de l'application décrite aux paragraphes suivants.

- d) the peak value of any opposite polarity current wave shall be less than 20 % of the peak value of the current;
- e) small oscillations on the impulse are permissible provided their amplitude near the peak of the impulse is less than 5 % of the peak value. Under these conditions, for the purpose of measurement, a mean curve shall be accepted for determination of the peak value.

The conditioning test and the following high current impulses shall be applied at the same polarity.

Annex H describes a typical test circuit which may be used.

As soon as possible but not later than 100 ms after the last high current impulse a power frequency voltage equal to the elevated rated voltage (U_r^*) and the elevated continuous operating voltage (U_c^*) (see 7.5.2) shall be applied for a time period of 10 s and 30 min respectively to prove thermal stability or thermal runaway.

NOTE 2 To reproduce actual system conditions the second high current impulse is preferably applied while the sample is energized at U_r^* . The 100 ms are permitted in view of practical limitations in the test circuit.

The current shall be recorded in each impulse and the current records from the same sample should show no difference that indicates puncture or flashover of the sample.

The current at the elevated continuous operating voltage (U_c^*) shall be registered continuously during the power frequency voltage application.

Non-linear metal-oxide resistor temperature or resistive component of current or power dissipation shall be monitored during the power frequency voltage application to prove thermal stability or thermal runaway, see 7.5.6.

Following the complete test sequence and after the test sample has cooled to near ambient temperature, the residual voltage tests which were made at the beginning of the test sequence are repeated.

The arrester has passed the test if thermal stability is achieved, if the change in residual voltage measured before and after the test is not changed by more than 5 % and if examination of the test samples after the test reveals no evidence of puncture, flashover or cracking of the non-linear metal-oxide resistors.

7.5.5 Switching surge operating duty test

This test applies to 10 000 A line discharge classes 2 and 3 and 20 000 A line discharge classes 4 and 5 arresters according to 5.9.

The complete test sequence is illustrated in figure 2.

Before the switching surge operating duty test the lightning impulse residual voltage at nominal discharge current of each of the three test samples (resistor elements) is determined at ambient temperature, see 7.3.2.

The test samples shall be suitably marked to ensure the correct polarity of application in the following subclauses.

7.5.5.1 Conditionnement

On soumet les échantillons à un essai de conditionnement dont la première partie se compose de vingt chocs de courant 8/20 selon 2.17 avec une valeur de crête égale au courant nominal de décharge du parafoudre. Les chocs sont appliqués pendant que l'échantillon est soumis à une tension égale à 1,2 fois sa tension de régime permanent. Les vingt chocs sont appliqués en quatre séries de cinq chocs. L'intervalle de temps entre les chocs consécutifs doit être de 50 s à 60 s et l'intervalle entre les séries de 25 min à 30 min. Il n'est pas nécessaire que l'échantillon reste sous tension entre les séries de chocs. Le choc de courant sera de la même polarité que la demi-période de tension à fréquence industrielle pendant laquelle il survient; il doit être appliqué 60 ± 15 degrés électriques avant la crête de la tension à fréquence industrielle.

La première partie du conditionnement peut être effectuée sur les varistances à l'air libre immobile à la température de $20\text{ °C} \pm 15\text{ °C}$.

La deuxième partie du conditionnement consiste à appliquer deux chocs de courant de grande amplitude 100 kA 4/10, voir 2.31. La valeur de crête mesurée des chocs de courant doit être comprise entre 90 % et 110 % de la valeur de crête spécifiée.

Après ce conditionnement, les fractions sont conservées en vue de leur utilisation ultérieure dans l'essai de fonctionnement en surtensions de manœuvre.

7.5.5.2 Application des chocs

Au début de l'essai de fonctionnement en surtensions de manœuvre, c'est-à-dire avant l'application de deux chocs de courant de longue durée, la température de la fraction complète doit être de $60\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$ à la température ambiante de $20\text{ °C} \pm 15\text{ °C}$.

Si une température plus élevée est jugée nécessaire, en raison d'une forte pollution ou de conditions de service anormales, la valeur plus élevée sera utilisée à condition qu'il y ait un accord entre le constructeur et le client.

La fraction de parafoudre doit être soumise à deux chocs de courant de longue durée spécifiés au tableau 4 en 7.4.2 pour les classes de décharge de ligne considérées. L'intervalle de temps entre les chocs doit être de 50 à 60 secondes. Les chocs de conditionnement et les chocs de courant de longue durée doivent être appliqués avec la même polarité.

Dès que possible, après le deuxième choc de courant de longue durée et avant que 100 millisecondes ne se soient écoulées, la fraction sera déconnectée de la ligne et reliée à la source à fréquence industrielle. Les valeurs majorées de la tension assignée (U_r^*) et de la tension de régime permanent (U_c^*) déterminées lors de l'essai de vieillissement accéléré décrit en 7.5.2, doivent être appliquées pendant une durée respectivement de 10 secondes et de 30 minutes pour mettre en évidence soit la stabilité thermique, soit l'emballement thermique.

NOTE Pour reproduire les conditions réelles du réseau, le deuxième choc de courant de longue durée devrait être appliqué pendant que l'échantillon est soumis à la tension U_r^* . Les 100 ms sont admises étant donné les limitations pratiques du circuit d'essai.

Au deuxième choc de courant de longue durée, on effectue des enregistrements oscillographiques de la tension aux bornes de l'échantillon en essai et du courant le traversant. L'énergie dissipée par l'échantillon en essai doit être déterminée à partir des oscillogrammes de la tension et du courant, et la valeur de l'énergie doit être mentionnée dans le rapport d'essais de type. Le courant et la tension doivent être enregistrés de façon continue pendant l'application de la tension à fréquence industrielle.

Pendant l'application de la tension à fréquence industrielle, on doit enregistrer la température des résistances variables à oxyde métallique, ou la composante résistive du courant ou la puissance dissipée pour démontrer la stabilité thermique ou l'emballement thermique.

7.5.5.1 Conditioning

The samples are exposed to a conditioning test the first part of which consisting of twenty 8/20 current impulses according to 2.17 and a peak value equal to the nominal discharge current of the arrester. The impulses are applied while the test sample is energized at 1,2 times the continuous operating voltage of the sample. The twenty impulses are applied in four groups of five impulses. The interval between the impulses shall be 50 s to 60 s and the interval between groups shall be 25 min to 30 min. It is not required that the test sample shall be energized between groups of impulses. The polarity of the current impulse shall be the same as that of the half cycle of power frequency voltage during which it occurs and it shall be applied 60 ± 15 electrical degrees before the peak of the power frequency voltage.

This first part of the conditioning may be carried out on the resistor elements in open air at a still air temperature of $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 15\text{ }^{\circ}\text{C}$.

The second part of the conditioning is the application of two high current impulses 100 kA 4/10, see 2.31. The measured peak value of the current impulses shall be within 90 % and 110 % of the specified peak value.

After this conditioning the sections are stored for future use in the switching surge operating duty test.

7.5.5.2 Application of impulses

At the beginning of the switching surge operating duty test, that is before the application of two long duration current impulses, the temperature of the complete section shall be $60\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ at the ambient temperature of $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 15\text{ }^{\circ}\text{C}$.

If a higher temperature is deemed necessary because of high pollution or abnormal service conditions, then the higher value may be used for the test if agreed between manufacturer and purchaser.

The arrester section shall be subjected to two long duration current impulses as specified in 7.4.2 table 4 for the relevant line discharge classes. The time interval between the impulses shall be 50 s to 60 s. The conditioning impulses and the long duration current impulses shall be applied with the same polarity.

After the second long duration current impulse the section shall be disconnected from the line and connected to the power frequency source as soon as possible but not later than 100 ms after the impulse. The elevated rated voltage (U_r^*) and the elevated continuous operating voltage (U_c^*), determined from the accelerated ageing procedure described in 7.5.2, shall be applied for a time period of 10 s and 30 min respectively to prove thermal stability or thermal runaway.

NOTE To reproduce actual system conditions the second long duration current impulse should be applied while the sample is energized at U_r^* . The 100 ms are permitted in view of practical limitation in the test circuit.

Oscillographic records of the voltage across and current through the test sample shall be made at the second long duration current impulse. The energy dissipated by the test sample during the second operation shall be determined from the voltage and current oscillograms, and the energy value shall be reported in the type test report. The current and voltage shall be registered continuously during the power frequency voltage application.

Non-linear metal-oxide resistor temperature or resistive component of current or power dissipation shall be monitored during the power frequency voltage application to prove thermal stability or thermal runaway.

Après le déroulement complet des essais et le refroidissement de l'échantillon en essai jusqu'à une température voisine de la température ambiante, on reprend les essais de vérification de la tension résiduelle effectués au début de l'essai.

Le parafoudre a passé l'essai avec succès s'il est thermiquement stable (voir 7.5.6), si la tension résiduelle mesurée avant et après l'essai n'a pas varié de plus de 5 % et si l'examen des échantillons essayés ne révèle ni perforation, ni contournement, ni fissures des résistances variables à oxyde métallique.

7.5.6 Evaluation de la stabilité thermique lors des essais de fonctionnement

On considère que les fractions de parafoudre soumises aux essais de fonctionnement sont thermiquement stables et ont passé l'essai avec succès si la crête de la composante résistive du courant de fuite ou la puissance dissipée ou la température des varistances décroît régulièrement au moins pendant les 15 dernières minutes de l'application de la tension U_c^* , selon les modalités décrites dans les figures 1, 2 et C.1 pour les différents types de parafoudres.

La crête de la composante résistive du courant de fuite dépend fortement de la stabilité de la tension appliquée et des variations de la température ambiante. En conséquence, le jugement si le parafoudre est ou n'est pas thermiquement stable peut dans certains cas ne pas apparaître clairement à la fin de l'application de la tension U_c^* . Dans ce cas, on doit prolonger la durée d'application de la tension U_c^* jusqu'à ce que soit confirmée une baisse régulière du courant ou de la puissance dissipée ou de la température. Si aucune tendance croissante du courant ou de la puissance dissipée ou de la température n'apparaît avant trois heures d'application de la tension, la stabilité est démontrée.

7.6 Essai des déconnecteurs/indicateurs de défaut pour parafoudres

7.6.1 Généralités

Dans cette procédure, le terme «déconnecteur/indicateur de défaut» signifie soit un déconnecteur soit un indicateur de défaut, selon le type d'accessoires utilisé sur le parafoudre.

Ces essais doivent être réalisés sur des parafoudres équipés d'un déconnecteur/indicateur de défaut ou sur l'ensemble déconnecteur/indicateur de défaut seul, si celui-ci est conçu de manière à ne pas être affecté par l'échauffement des pièces adjacentes au parafoudre en position d'installation normale.

7.6.2 Essais de tenue aux chocs de courant et lors du fonctionnement

Comme il est indiqué en 7.4 et 7.5, ces essais seront effectués en même temps que les essais du parafoudre lorsque le dispositif de déconnecteur/indicateur de défaut en constitue une partie intégrante. Lorsque les dispositifs de déconnecteur/indicateur de défaut sont prévus pour être fixés sur un parafoudre ou comme accessoires intercalés sur le trajet du conducteur de ligne ou sur celui du conducteur de terre, ces essais peuvent être effectués séparément ou en liaison avec les essais des échantillons de parafoudre. On utilisera trois échantillons neufs pour chacun des différents essais, et le dispositif de déconnecteur/indicateur de défaut doit supporter, sans fonctionner, chacun des essais suivants.

7.6.2.1 Essai aux chocs de courant de longue durée

On effectuera cet essai selon 7.4 avec une valeur de crête du courant et une durée correspondant à la classe de parafoudre la plus élevée associée au dispositif de déconnexion, voir tableaux 4 et 5.

Following the complete test sequence and after the test sample has cooled to near ambient temperature, the residual voltage tests which were made at the beginning of the test sequence are repeated.

The arrester has passed the test if thermal stability is achieved (see 7.5.6), if the change in residual voltage measured before and after the test is not changed by more than 5 % and if visual examination of the test samples after the test reveals no evidence of puncture, flashover or cracking of the non-linear metal-oxide resistors.

7.5.6 Evaluation of thermal stability in the operating duty tests

The arrester sections subjected to the operating duty tests are considered to be thermally stable and pass the test if the peak of the resistive component of the leakage current or power dissipation or resistor temperature steadily decreases at least during the last 15 min of U_C^* voltage application in the procedures shown in figures 1, 2 and C.1 for respective types of arresters.

The peak of the resistive component of leakage current is strongly influenced by the stability of the applied voltage and also by the change in ambient temperature. Because of this, the judgement whether the arrester is thermally stable or not may in some cases not be clear at the end of the U_C^* voltage application. If that is the case, the time of the U_C^* voltage application shall be extended until the steady decrease in the current or power dissipation or temperature is clearly confirmed. If an increasing trend of current or power dissipation or temperature is not observed within 3 h of voltage application the section is considered stable.

7.6 Tests of arrester disconnectors fault indicators

7.6.1 General

In this procedure, the term "disconnector/fault indicator" shall mean either a disconnector or a fault indicator, whichever type of device is used with the arrester.

These tests shall be made on arresters which are fitted with arrester disconnectors/fault indicators or on the disconnector/fault indicator assembly alone if its design is such as to be unaffected by the heating of adjacent parts of the arrester in its normally installed position.

7.6.2 Current impulse and operating duty withstand tests

As noted in 7.4 and 7.5 these tests will be made at the same time as the tests on the arrester, for arresters with built-in disconnector/fault indicator. In the case of disconnector/fault indicator designed for attachment to an arrester or for insertion into the line or ground lead as an accessory, these tests may be made separately or in conjunction with tests on arrester samples. The disconnector/fault indicator shall withstand without operating each of the following tests. Three new samples shall be used for each different test.

7.6.2.1 Long duration current impulse test

This test shall be made in accordance with 7.4 with the peak current and duration corresponding to the highest classification of arrester with which the disconnector is designed to be used, see tables 4 and 5.

7.6.2.2 Essai de fonctionnement du parafoudre

On effectuera cet essai selon 7.5 en plaçant l'échantillon du dispositif de déconnexion en série avec la fraction de parafoudre échantillon en essai possédant le plus grand courant de référence de tous les parafoudres associés au dispositif de déconnexion.

7.6.3 Fonctionnement du dispositif de déconnexion

7.6.3.1 Détermination de la courbe «temps en fonction du courant»

On déterminera les données nécessaires pour tracer une courbe du temps en fonction du courant pour trois niveaux différents de courant en régime initialement symétrique, correspondant à 20 A, 200 A et 800 A (eff.) ± 10 % traversant l'échantillon essayé du dispositif de déconnexion avec ou sans parafoudre, conformément à 7.6.1.

Lorsque les essais sont effectués sur des dispositifs de déconnexion qui sont affectés par l'échauffement interne des parafoudres associés, les résistances variables doivent être court-circuitées par un fil de cuivre nu de 0,08 mm à 0,13 mm de diamètre en vue de provoquer l'amorçage interne.

Lorsque les essais sont effectués sur des dispositifs de déconnexion qui ne sont pas affectés par le fonctionnement du parafoudre associé, et si le dispositif de déconnexion est monté sur le parafoudre, les résistances variables de ce dernier sont court-circuitées ou remplacées par un conducteur de section suffisante pour éviter sa fusion pendant l'essai.

La tension d'essai peut avoir toute valeur convenable permettant d'assurer le passage du plein courant dans l'arc contournant les éléments du parafoudre et permettant d'amorcer et de maintenir un arc dans tous les éclateurs dont peut dépendre le fonctionnement du dispositif de déconnexion. La tension d'essai ne doit pas dépasser la tension assignée du parafoudre de la plus faible tension assignée associée au dispositif de déconnexion.

On règle d'abord les caractéristiques du circuit d'essai en vue d'obtenir la valeur prescrite du courant en court-circuitant l'échantillon en essai par un conducteur d'impédance négligeable. Il est recommandé que la temporisation de l'interrupteur de fermeture assure la fermeture du circuit dans la limite de quelques degrés électriques au voisinage de la crête de la tension de façon à faire apparaître un courant sensiblement symétrique. On peut ajuster la durée de passage du courant dans l'échantillon en essai à l'aide d'un interrupteur d'ouverture. Cet interrupteur peut être supprimé s'il n'est pas nécessaire de fixer avec précision la durée du courant. Après réglage des caractéristiques du circuit d'essai, on enlève le conducteur court-circuitant l'échantillon en essai.

Le courant doit être maintenu au niveau prescrit jusqu'au fonctionnement du dispositif de déconnexion. L'essai doit être effectué sur au moins cinq échantillons neufs pour chacune des trois valeurs de courant.

Pour tous les échantillons essayés, on note sur un graphique la valeur efficace du courant traversant l'appareil en fonction de la durée du courant jusqu'au premier déplacement du dispositif de déconnexion. La courbe caractéristique «temps en fonction du courant» du dispositif de déconnexion est une courbe lissée correspondant aux durées maximales.

Pour les dispositifs de déconnexion fonctionnant avec un retard notable, on peut tracer la caractéristique «temps en fonction du courant» en faisant passer le courant dans les échantillons en essai pendant des durées données; on détermine alors, pour chacun des trois niveaux de courant, la durée minimale qui provoquera systématiquement un fonctionnement satisfaisant du dispositif de déconnexion. Les valeurs à retenir pour le tracé de la caractéristique «temps en fonction du courant» doivent correspondre à cinq fonctionnements satisfaisants du dispositif de déconnexion au cours de cinq essais ou, s'il survient au cours de ces cinq essais un fonctionnement non satisfaisant, à cinq fonctionnements satisfaisants au cours de cinq essais complémentaires effectués au même niveau de courant et avec la même durée.

7.6.2.2 Operating duty test

This test shall be made in accordance with 7.5 with the sample disconnector in series with a test sample section of the arrester design having the highest reference current of all the arresters with which it is designed to be used.

7.6.3 Disconnector operation

7.6.3.1 Time versus current curve test

Data for a time versus current curve shall be obtained at three different symmetrically initiated current levels – 20 A, 200 A and 800 A r.m.s. $\pm 10\%$ – flowing through test sample disconnectors with or without arresters as required by 7.6.1.

For tests on disconnectors affected by internal heating of the associated arresters, the non-linear resistors shall be bypassed with a bare copper wire 0,08 mm to 0,13 mm in diameter in order to start the internal arcing.

For tests on disconnectors unaffected by the operation of the associated arrester, the arrester, if it is used for mounting the disconnector, shall have its non-linear resistors shunted or replaced by a conductor of size sufficient to ensure that it will not be melted during the test.

The test voltage may be any convenient value so long as it is sufficient to maintain full current flow in the arc over the arrester elements and sufficient to cause and maintain arcing of any gaps upon which operation of the disconnector may depend. The test voltage shall not exceed the rated voltage of the lowest rated arrester with which the disconnector is designed to be used.

The parameters of the test circuit should first be adjusted, with the test sample shunted by a link of negligible impedance to produce the required value of current. The closing switch should be timed to close the circuit within a few electrical degrees of voltage crest so as to produce nearly symmetrical current. An opening switch may be provided with provision for adjusting the time of current flow through the test sample. This switch may be omitted when accurate control over the current duration is not necessary. After the test circuit parameters have been adjusted, the link shunting the test sample shall be removed.

The current flow shall be maintained at the required level until operation of the disconnector occurs. At least five new samples shall be tested at each of the three current levels.

The r.m.s. value of current through the specimen and the duration to the first movement of the disconnector shall be plotted for all the samples tested. The time versus current characteristic curve of the disconnector shall be drawn as a smooth curve through the points representing maximum duration.

For disconnectors which operate with an appreciable time delay, the time versus current curve test shall be made by subjecting the test samples to controlled durations of current flow to determine the minimum duration for each of the three current levels which will consistently result in successful operation of the disconnector. For the points to be used for the time versus current curve, successful operation of the disconnector shall occur in five tests out of five trials or, if one unsuccessful test occurs, five additional tests at the same current level and duration shall result in successful operations.

7.6.3.2 Evaluation des caractéristiques de fonctionnement des dispositifs de déconnexion

Le dispositif doit assurer clairement une séparation effective et permanente. S'il n'est pas nettement évident que le dispositif a accompli une séparation effective et permanente, on appliquera pendant 1 min une tension à fréquence industrielle égale à 1,2 fois la tension assignée du parafoudre de la tension assignée la plus élevée, associé au dispositif de déconnexion. Le courant correspondant ne devra pas dépasser une valeur efficace de 1 mA.

7.6.4 Fonctionnement de l'indicateur de défaut

A l'étude.

7.7 Essais de court-circuit

Voir annexe O.

7.8 Essais de décharges partielles internes

L'essai doit être réalisé sur la fraction électrique de parafoudre la plus longue. Si cela ne correspond pas à la contrainte spécifique de tension par élément la plus élevée, des essais supplémentaires doivent être réalisés sur l'élément ayant la contrainte de tension la plus élevée. L'échantillon en essai peut être muni de protections aptes à éviter que ne se produisent des décharges partielles externes.

NOTE Il convient que ces protections aient des effets négligeables sur la répartition de tension.

La tension à fréquence industrielle doit être augmentée jusqu'à la tension assignée de l'échantillon, maintenue pendant 2 s à 10 s, puis réduite à 1,05 fois sa tension de service permanent. A cette tension, le niveau des décharges partielles doit être mesuré selon la CEI 60270. La valeur mesurée pour les décharges partielles internes ne doit pas excéder 10 pC.

SECTION 8: ESSAIS INDIVIDUELS ET ESSAIS DE RÉCEPTION

8.1 Essais individuels

Le constructeur doit effectuer comme essais individuels au moins:

- a) La mesure de la tension de référence (U_{ref}), voir 2.35 et 5.2. Les valeurs mesurées doivent être comprises entre des limites spécifiées par le constructeur.
- b) L'essai de vérification de la tension résiduelle. Cet essai est obligatoire pour les parafoudres dont la tension assignée est supérieure à 1 kV. Il peut être effectué soit sur des parafoudres complets, soit sur des éléments de parafoudres assemblés, soit sur un échantillon composé d'une ou plusieurs varistances. Le constructeur doit spécifier un courant de choc de foudre convenable compris entre 0,01 et 2 fois le courant nominal auquel la tension résiduelle est mesurée. Si on ne la mesure pas directement, la tension résiduelle du parafoudre complet est prise comme étant la somme des tensions résiduelles des varistances, ou des éléments de parafoudre séparés. La tension résiduelle pour le parafoudre complet ne doit pas être supérieure à la valeur spécifiée par le constructeur.

NOTE 1 Quand des parafoudres 2 500 A et 5 000 A dont la tension assignée est inférieure à 36 kV, sont fournis en grande quantité, on peut sous réserve d'un accord entre le constructeur et le client, supprimer des essais individuels l'essai de vérification de la tension résiduelle.

- c) Essai de décharges partielles internes

L'essai doit être réalisé sur chaque élément de parafoudre. L'échantillon en essai peut être muni de protections aptes à éviter que ne se produisent des décharges partielles externes.

7.6.3.2 Evaluation of disconnector performance

There shall be clear evidence of effective and permanent disconnection by the device. If there is no clear evidence of effective and permanent disconnection by the device, a power-frequency voltage equal to 1,2 times the rated voltage of the highest rated arrester with which the disconnector is designed to be used, shall be applied for one minute without current flow in excess of 1 mA r.m.s.

7.6.4 Fault indicator operation

Under consideration.

7.7 Short-circuit tests

See annex O.

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

The power frequency voltage shall be increased to the rated voltage of the sample, held for 2 s to 10 s, and then decreased to 1,05 times the continuous operating 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.

SECTION 8: ROUTINE TESTS AND ACCEPTANCE TESTS

8.1 Routine tests

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

- a) Measurement of reference voltage (U_{ref}), see 2.35 and 5.2. The measured values shall be within a range specified by the manufacturer.
- b) Residual voltage test. This test is compulsory for arresters with rated voltage above 1 kV. The test may be performed either on complete arresters, assembled arrester units or on a sample comprising one or several resistor elements. The manufacturer shall specify a suitable lightning impulse current in the range between 0,01 and 2 times the nominal 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 resistor elements or the individual arrester units. The residual voltage for the complete arrester shall not be higher than the value specified by the manufacturer.

NOTE 1 When 5 000 A and 2 500 A arresters below 36 kV rating are supplied in volume, the residual voltage test may be omitted in the routine tests if agreed between manufacturer and purchaser.

- c) Internal partial discharge test

The test shall be performed on each arrester unit. The test sample may be shielded against external partial discharges.

La tension à fréquence industrielle doit être augmentée jusqu'à la tension assignée de l'échantillon, maintenue pendant 2 s à 10 s, puis réduite à 1,05 fois sa tension de service permanent. A cette tension, le niveau des décharges partielles doit être mesuré selon la CEI 60270. La valeur mesurée pour les décharges partielles internes ne doit pas excéder 10 pC. Alternativement, le constructeur peut réaliser la mesure des décharges partielles internes à la tension assignée ou à une valeur de tension supérieure, sans réduire la tension d'essai par la suite.

- d) Pour les éléments de parafoudre à enveloppe étanche, le contrôle de l'étanchéité doit être fait sur chaque élément au moyen de toute méthode sensible adoptée par le constructeur.
- e) Essai de répartition du courant pour les parafoudres à plusieurs colonnes. Cet essai doit être effectué sur tous les ensembles de varistances en parallèle. Un ensemble de varistances en parallèle désigne une partie du montage où aucune connexion électrique intermédiaire n'est utilisée entre les colonnes. Le constructeur doit spécifier un courant de choc convenable compris entre 0,01 et 1 fois le courant nominal de décharge pour lequel le courant traversant chaque colonne doit être mesuré. La valeur de courant la plus élevée ne doit pas être supérieure à la limite maximale spécifiée par le constructeur. Le choc de courant ne doit pas avoir une durée conventionnelle du front inférieure à 7 µs et la durée jusqu'à la mi-valeur peut prendre n'importe quelle valeur.

NOTE 2 Si la tension assignée des ensembles de varistances en parallèle utilisés dans la construction est trop élevée pour les moyens d'essais disponibles, on peut réduire la tension assignée de l'ensemble de varistances en parallèle utilisé dans cet essai en introduisant des connexions électriques intermédiaires entre les colonnes, établissant ainsi plusieurs ensembles artificiels de varistances en parallèle. Chacun de ces ensembles artificiels doit alors satisfaire l'essai spécifié de répartition du courant.

8.2 Essais de réception

8.2.1 Essais de réception normaux

Lorsque des essais de réception ont été spécifiés par le client dans la commande, les essais suivants doivent être effectués sur le nombre entier inférieur le plus proche de la racine cubique du nombre de parafoudres commandés.

- a) Mesure de la tension à fréquence industrielle sur le parafoudre complet au courant de référence mesuré à la base du parafoudre. La valeur mesurée doit être comprise entre des limites spécifiées par le constructeur. Pour les parafoudres à plusieurs éléments, cette valeur peut s'écarter de la tension de référence du parafoudre.
- b) Tension résiduelle aux chocs de foudre sur le parafoudre complet ou sur des éléments de parafoudre (voir 7.3) au courant nominal de décharge, quand cela est possible, ou à une valeur de courant choisie conformément à 7.3. Dans ce cas, la durée conventionnelle jusqu'à la mi-valeur sur la queue est moins importante et ne doit pas nécessairement être obtenue.

La tension résiduelle d'un parafoudre complet est prise comme la somme des tensions résiduelles des différents éléments de parafoudre. La tension résiduelle pour le parafoudre complet ne doit pas être supérieure à la valeur spécifiée par le constructeur.

- c) Essai de décharges partielles internes

L'essai doit être réalisé sur un parafoudre complet ou sur chaque élément du parafoudre. L'échantillon en essai peut être muni de protections aptes à éviter que ne se produisent des décharges partielles externes.

La tension à fréquence industrielle doit être augmentée jusqu'à la tension assignée de l'échantillon, maintenue pendant 2 s à 10 s, puis réduite à 1,05 fois sa tension de service permanent. A cette tension, le niveau des décharges partielles doit être mesuré selon la CEI 60270. La valeur mesurée pour les décharges partielles internes ne doit pas excéder 10 pC.

Toute modification dans le nombre d'échantillons ou le type d'essai doit être discutée entre le constructeur et le client.

The power frequency voltage shall be increased to the rated voltage of the sample, held for 2 s to 10 s, and then decreased to 1,05 times the continuous operating 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. Alternatively, the manufacturer may carry out the partial discharge measurement at the rated voltage or at a higher value without reducing the test voltage afterwards.

- d) For arrester units with sealed housing a leakage check shall be made on each unit by any sensitive method adopted by the manufacturer.
- e) Current distribution test for multi-column arrester. This test shall be carried out on all groups of parallel resistors. A group of parallel 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 1 times the nominal discharge 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 not less than 7 microseconds and the half value time may have any value.

NOTE 2 If the rated voltage of the groups of parallel resistors used in the design is too high compared to available test facilities, the rated voltage of the group of parallel resistors used in this test can be reduced by introducing intermediate electrical connections between the columns, thereby establishing several artificial groups of parallel resistors. Each such artificial group shall then pass the current distribution test specified.

8.2 Acceptance tests

8.2.1 Standard acceptance tests

When the purchaser 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 power frequency voltage on the complete arrester at the reference current measured at the bottom of the arrester. The measured value shall be within a range specified by the manufacturer. For multi-unit arresters the value may deviate from the reference voltage of the arrester.
- b) Lightning impulse residual voltage on the complete arrester or arrester unit (see 7.3), at nominal discharge current if possible or at a current value chosen according to 7.3. 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 the arrester units. The test sample may be shielded against external partial discharges.

The power frequency voltage shall be increased to the rated voltage of the sample, held for 2 s to 10 s, and then decreased to 1,05 times the continuous operating 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.

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

8.2.2 Essai spécial de stabilité thermique

L'essai suivant doit faire l'objet d'un accord spécial préalable au début du montage du parafoudre, entre le constructeur et le client, voir 5.7.

Cet essai doit être effectué sur trois fractions totalement différentes; ces fractions seront constituées par des résistances variables à oxyde métallique prises dans la fabrication courante et ayant des dimensions et caractéristiques identiques à celles des varistances utilisées dans les parafoudres soumis à l'essai. L'essai consiste en une partie de l'essai de fonctionnement approprié au type de parafoudre selon les indications des figures 3, 4 et C.2.

Pendant l'application de la tension à fréquence industrielle, en vue de prouver la stabilité thermique, on doit surveiller la température des résistances à oxyde métallique ou la composante résistive du courant ou la puissance dissipée. L'essai est passé avec succès si l'on obtient une stabilité thermique sur les trois échantillons, voir 7.5.6. Si un seul échantillon échoue, tout nouvel essai devra faire l'objet d'un accord entre le constructeur et le client.

SECTION 9: PRESCRIPTIONS D'ESSAIS POUR LES PARAFOUDRES À ENVELOPPE SYNTHÉTIQUE

9.1 Généralités

Voir section 1.

9.2 Définitions

Voir section 2.

9.3 Identification et classification

Voir section 3.

9.4 Caractéristiques assignées

Voir section 4.

9.5 Prescriptions

Les prescriptions de la section 5 s'appliquent avec les modifications suivantes:

5.1 Tenue diélectrique de l'enveloppe du parafoudre, modifié par 9.7.2

5.8 Tenue au choc de courant de longue durée, modifié par 9.7.4

5.9 Fonctionnement des parafoudres, modifié par 9.7.5

Des exigences supplémentaires sont spécifiées pour l'étanchéité (voir 9.7.9) et le vieillissement sous contraintes climatiques (voir 9.7.10).

9.6 Conditions générales d'exécution des essais

Voir section 6.

8.2.2 Special thermal stability test

The following test requires additional agreement between manufacturer and purchaser prior to the commencement of arrester assembly, see 5.7.

This test has to be performed on three totally different test sections consisting of metal-oxide resistors taken from current routine production and having the same dimensions and characteristics as those of the arresters under test. The test consists of a part of the operating duty test relevant to the type of arrester as indicated in figures 3, 4 and C.2.

Metal-oxide resistor temperature or resistive component of current or power dissipation shall be monitored during the power frequency voltage application to prove thermal stability. The test is passed if thermal stability occurs in all three samples, see 7.5.6. If one sample fails, agreement shall be reached between the manufacturer and the purchaser regarding any further tests.

SECTION 9: TEST REQUIREMENTS ON POLYMER-HOUSED SURGE ARRESTERS

9.1 General

See section 1.

9.2 Definitions

See section 2.

9.3 Identification and classification

See section 3.

9.4 Standard ratings

See section 4.

9.5 Requirements

The requirements of section 5 apply with the following modification:

- 5.1 Insulation withstand of the arrester housing, modified by 9.7.2
- 5.8 Long duration current impulse withstand, modified by 9.7.4
- 5.9 Operating duty, modified by 9.7.5

Additional requirements are imposed for moisture ingress (see 9.7.9) and weather ageing (see 9.7.10.)

9.6 General testing procedure

See section 6.

9.7 Essais de type (essais de conception)

9.7.1 Généralités

Les essais de type à réaliser sur les parafoudres à enveloppe synthétique sont ceux définis dans la section 7 modifiée comme indiqué ci-après.

Les essais de type suivants doivent être effectués en fonction du type du parafoudre:

- 1) Essais de tenue de l'isolation de l'enveloppe du parafoudre, comme modifiés par 9.7.2.
- 3) Essai de tenue aux chocs de courant de longue durée, comme modifié par 9.7.4.
- 4) Essais de fonctionnement, comme modifiés par 9.7.5.
- 6) Essais des déconnecteurs/indicateurs de défaut, comme modifiés par 9.7.6.
- 7) Les essais de pollution artificielle de l'annexe F ne sont pas applicables

De plus, les essais suivants doivent être réalisés:

- 11) Essai d'étanchéité (voir 9.7.9)
Cet essai démontre la capacité du parafoudre à résister à la pénétration d'humidité après avoir été soumis aux contraintes mécaniques spécifiées.
- 12) Essai de vieillissement climatique (voir 9.7.10)
Cet essai démontre la capacité du parafoudre à résister aux conditions climatiques spécifiées.
NOTE Cet essai ne s'applique pas aux parafoudres à enveloppe synthétique uniquement destinés à un usage intérieur.

9.7.2 Essais de tenue de l'isolation de l'enveloppe du parafoudre

Le paragraphe 7.2 s'applique en remplaçant 7.2.2 par le texte suivant:

9.7.2.2 Essais sur fraction électrique individuelle

Les essais appropriés doivent être réalisés sur la fraction électrique la plus longue. Si celle-ci ne représente pas la contrainte de tension spécifique par unité de longueur la plus élevée, des essais supplémentaires doivent être effectués sur la fraction présentant la plus forte contrainte de tension spécifique. Les parties internes peuvent être remplacées par un arrangement équivalent (éléments de répartition par exemple) pour assurer une répartition linéaire de la tension le long de l'axe du parafoudre.

Pour les conceptions où l'isolation externe est moulée directement sur les résistances ou un substrat d'isolation quelconque, ces essais peuvent être réalisés avec un revêtement moulé sur un substrat isolant approprié.

9.7.3 Essais de vérification des tensions résiduelles

Le paragraphe 7.3 s'applique.

9.7.4 Essai de tenue aux chocs de courant de longue durée

Le paragraphe 7.4 s'applique en ajoutant le texte suivant à la fin de 7.4.1:

Si le constructeur déclare que les résistances peuvent être extraites de l'échantillon, l'essai peut être réalisé conformément à 7.4.1. Dans les autres cas, l'inspection visuelle des parafoudres à enveloppe synthétique ne concerne que leurs éléments extérieurs. Pour contrôler l'intégrité de leurs éléments internes, un choc supplémentaire de courant de longue durée doit être appliqué, après avoir laissé l'échantillon refroidir jusqu'à température ambiante, pour s'assurer qu'aucun dommage n'a été provoqué. Si l'échantillon a résisté sans dommages à ce dix-neuvième choc de courant de longue durée, selon les enregistrements oscillographiques, l'essai est positif.

9.7 Type tests (design tests)

9.7.1 General

The type tests performed for polymer housed surge arresters are those defined in section 7 modified as indicated below.

The following type tests shall be carried out depending upon the arrester type:

- 1) Insulation withstand tests on the arrester housing, as modified by 9.7.2.
- 3) Long duration current impulse withstand test, as modified by 9.7.4.
- 4) Operating duty tests, as modified by 9.7.5.
- 6) Tests of arrester disconnectors/fault indicators, as modified by 9.7.6.
- 7) Artificial pollution tests of annex F do not apply.

In addition, the following tests are to be made

- 11) Moisture ingress test (see 9.7.9)

This test demonstrates the ability of the arrester to resist ingress of moisture after being subjected to specified mechanical stresses.

- 12) Weather ageing test (see 9.7.10)

This test demonstrates the ability of the arrester to withstand specified climatic conditions.

NOTE This test does not apply to polymer housed arresters intended for indoor use only.

9.7.2 Insulation withstand tests on the arrester housing

Subclause 7.2 applies, except that the following should be used instead of 7.2.2:

9.7.2.2 Tests on individual electrical section

The applicable tests shall be run on the longest electrical section. If this does not represent the highest specific voltage stress per unit length, additional tests shall be performed on the electrical section having the highest specific voltage stress. The internal parts may be replaced by an equivalent arrangement (e.g. grading elements) to provide linear voltage distribution along the arrester axis.

In design cases where the external insulation is moulded directly onto the resistors or some insulating material substrate, these tests may be performed with the housing moulded on to a suitable insulating substrate.

9.7.3 Residual voltage tests

Subclause 7.3 applies.

9.7.4 Long duration current impulse withstand test

Subclause 7.4 applies, with the following addition at end of 7.4.1:

If the manufacturer declares that the resistors may be removed from the test sample, the test may be performed according to 7.4.1. In the other cases, visual inspection applies only to external parts. To check the integrity of the internal parts, an additional long duration current impulse shall be performed after the sample has cooled down to ambient temperature to verify that no damage occurred. If the sample has withstood this nineteenth long duration current impulse with no damage (checked by the oscillographic records), then the sample has passed the test.

9.7.5 Essais de fonctionnement

Le paragraphe 7.5 s'applique avec les modifications suivantes:

Remplacer le point b) iv) de 7.5.3.2 par le suivant:

- iv) l'enveloppe doit être suffisamment longue pour contenir la fraction de parafoudre.

Ajouter les nouveaux points suivants à 7.5.3.2 b):

- v) l'arrangement interne doit être le même que celui du parafoudre complet. Autrement dit, il convient que la fraction représente une tranche du parafoudre.
- vi) une isolation peut être ajoutée à l'extrémité et, si nécessaire, autour de l'enveloppe pour répondre aux exigences thermiques de l'annexe B.

Ajouter le texte suivant à 7.5.4.1:

Si les résistances ne sont pas en contact direct avec un matériau solide, l'essai de conditionnement peut être réalisé à l'air libre. Dans les autres cas, cet essai de conditionnement doit être réalisé sur la fraction à une température d'air non ventilé de $20\text{ °C} \pm 15\text{ K}$.

Ajouter le texte suivant à la fin de 7.5.4.2:

Si le constructeur déclare que les résistances peuvent être extraites de l'échantillon, une inspection visuelle des résistances doit être faite afin de vérifier que l'essai n'a pas provoqué de perforation, contournement ou bris des résistances. Sinon, pour contrôler l'intégrité des résistances, des essais complémentaires doivent être effectués comme suit afin de s'assurer qu'aucun dommage ne s'est produit pendant l'essai:

- Avant les essais, la tension résiduelle au courant nominal de décharge I_n est mesurée sur les échantillons.
- Après les essais, deux chocs de courant à I_n sont appliqués aux échantillons, le premier étant appliqué à l'issue d'un délai suffisant pour permettre à l'échantillon de refroidir jusqu'à température ambiante, et le second étant appliqué entre 50 s et 60 s après le premier.
- Lors des deux chocs, il convient que les oscillogrammes de tension et de courant ne révèlent aucune rupture d'isolement et que l'écart de tension résiduelle entre la mesure initiale et le dernier choc de courant n'excède pas 5 %.

Ajouter le texte suivant à 7.5.5.1:

Si les résistances ne sont pas en contact direct avec un matériau solide, l'essai de conditionnement peut être réalisé à l'air libre. Dans les autres cas, cet essai de conditionnement doit être réalisé sur la fraction à une température d'air non ventilé de $20\text{ °C} \pm 15\text{ K}$.

Ajouter, à la fin de 7.5.5.2, l'alinéa suivant:

Si le constructeur déclare que les résistances peuvent être extraites de l'échantillon, l'essai peut être réalisé conformément à 7.4.1. Dans les autres cas, l'inspection visuelle des parafoudres à enveloppe synthétique ne concerne que leurs éléments extérieurs. Pour contrôler l'intégrité de leurs éléments internes, un choc supplémentaire de courant de longue durée doit être appliqué après avoir laissé l'échantillon refroidir jusqu'à température ambiante pour s'assurer qu'aucun dommage n'a été provoqué. Si l'échantillon a résisté sans dommages à ce troisième choc de courant de longue durée, selon les enregistrements oscillographiques, l'essai est positif.

9.7.6 Essais des déconnecteurs\indicateurs de défaut

Le paragraphe 7.6 s'applique.

9.7.5 Operating duty tests

Subclause 7.5 applies, with the following modifications:

Replace item b) iv) of 7.5.3.2 with the following:

- iv) the housing shall be long enough to enclose the arrester section.

Add the following new items to 7.5.3.2 b):

- v) the internal arrangement shall be the same as that of the complete arrester. It means that the section should represent a slice of the surge arrester.
- vi) insulation may be added at the end and, if necessary, around the housing to meet the thermal requirement of annex B.

Add the following text to 7.5.4.1:

If the resistors are not in direct contact with a solid material, the conditioning test can be performed in open air. In the other cases, this conditioning test shall be carried out on the section at a still air temperature of $20\text{ °C} \pm 15\text{ K}$.

Add the following paragraph at the end of 7.5.4.2:

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:

- Before the tests, the residual voltage at the nominal discharge current I_n is measured on the samples.
- After the tests, two impulses at I_n are applied on 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 should not reveal any breakdown. The variation of the residual voltage between the initial measurement and the last impulse should not be greater than 5 %.

Add the following text to 7.5.5.1.

If the resistors are not in direct contact with a solid material, the conditioning test can be performed in the open air. In other cases, this conditioning test shall be carried out on the section at a still air temperature of $20\text{ °C} \pm 15\text{ K}$.

Add, at the end of 7.5.5.2, the following paragraph:

If the manufacturer declares that the resistors may be removed from the test sample, the test may be performed according to 7.4.1. In other cases, visual inspection applies only to external parts. To check the integrity of the internal parts, an additional long duration current impulse shall be performed after the sample has cooled to ambient temperature to be sure that no damage occurred. If the sample has withstood this third, long duration current impulse with no damage, checked by the oscillographic records, then the sample has passed the test.

9.7.6 Tests of arrester disconnectors and fault indicators

Subclause 7.6 applies.

9.7.7 Essais de court-circuit

Le paragraphe 7.7 s'applique.

9.7.8 Essais de décharges partielles internes

Le paragraphe 7.8 s'applique.

9.7.9 Essai d'étanchéité

En général, il convient que l'échantillon en essai corresponde à la fraction mécanique la plus longue. Si la longueur de la fraction mécanique la plus longue excède 800 mm, une longueur plus petite peut être essayée à condition qu'elle soit supérieure à trois fois le diamètre externe de l'enveloppe au niveau de la bride inférieure, ailettes non comprises, avec un minimum de 800 mm.

NOTE 1 Pour les profils non circulaires, il convient qu'un diamètre équivalent soit défini.

NOTE 2 Cette valeur de trois fois le diamètre externe de l'enveloppe au niveau de la bride inférieure est à l'étude.

Le même échantillon de parafoudre est soumis à différentes contraintes mécaniques et climatiques décrites en 9.7.9.1 à 9.7.9.4.

9.7.9.1 Mesures initiales

Avant tout essai, les mesures suivantes doivent être effectuées dans l'ordre ci-après:

- puissance absorbée mesurée sous une valeur située entre 80 % et 100 % de U_c et à une température ambiante de $20\text{ °C} \pm 15\text{ K}$;
- décharges partielles internes conformément à 7.8;
- tension résiduelle au courant nominal de décharge ou à une valeur inférieure conformément à l'essai de réception.

9.7.9.2 Préconditionnement

9.7.9.2.1 Préconditionnement en torsion

Le couple de torsion spécifié par le constructeur pour le parafoudre doit être appliqué à l'échantillon pendant une durée de 30 s.

9.7.9.2.2 Préconditionnement thermomécanique

Le parafoudre est ensuite soumis dans quatre directions à l'effort maximal de flexion permanente spécifié par le constructeur et à des variations de température, comme indiqué aux figures 6 et 7.

NOTE Si, dans des applications particulières, d'autres efforts sont essentiels, les efforts correspondants doivent être appliqués en lieu et place des précédents. La durée totale d'essai et le cycle de température doivent rester inchangés.

Si l'échantillon ne présente pas de symétrie de révolution, les directions de l'effort doivent être choisies de manière à obtenir la contrainte mécanique maximale.

Les variations de température consistent en deux cycles de 48 h de chauffage et de refroidissement comme cela est indiqué à la figure 6. La température des périodes de chaud et de froid doit être maintenue pendant au moins 16 h. Ces essais doivent être réalisés dans l'air.

L'effort statique de flexion permanente correspond au moment maximal de flexion permanente déclaré par le constructeur. Sa direction change toutes les 24 h comme indiqué à la figure 7.

9.7.7 Short-circuit tests

Subclause 7.7 applies.

9.7.8 Internal partial discharge tests

Subclause 7.8 applies.

9.7.9 Moisture ingress test

In general, the sample under test should be the longest mechanical unit. If the length of the longest mechanical unit is greater than 800 mm, a shorter length section may be tested, provided it is not less than three times the outside diameter of the housing at the bottom flange excluding the sheds or 800 mm long, whichever is greater.

NOTE 1 For non-circular profiles, an equivalent diameter should be defined.

NOTE 2 This value of three times the outside diameter of the housing at the bottom flange is under consideration.

The same sample of arrester is submitted to various mechanical and climatic stresses described in 9.7.9.1 to 9.7.9.4.

9.7.9.1 Initial measurements

Before tests, the following measurements shall be made in the following sequence:

- watt losses measured at a value in the range between 80 % to 100 % of U_c and at an ambient temperature of $20\text{ °C} \pm 15\text{ K}$;
- internal partial discharge according to 7.8;
- residual voltage at the nominal discharge current or a lower value in accordance with the acceptance test.

9.7.9.2 Preconditioning

9.7.9.2.1 Terminal torque pre-conditioning

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

9.7.9.2.2 Thermomechanical preconditioning

The arrester is then submitted to the maximum continuous cantilever load specified by the manufacturer in four directions and in thermal variations as described in figures 6 and 7.

NOTE 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.

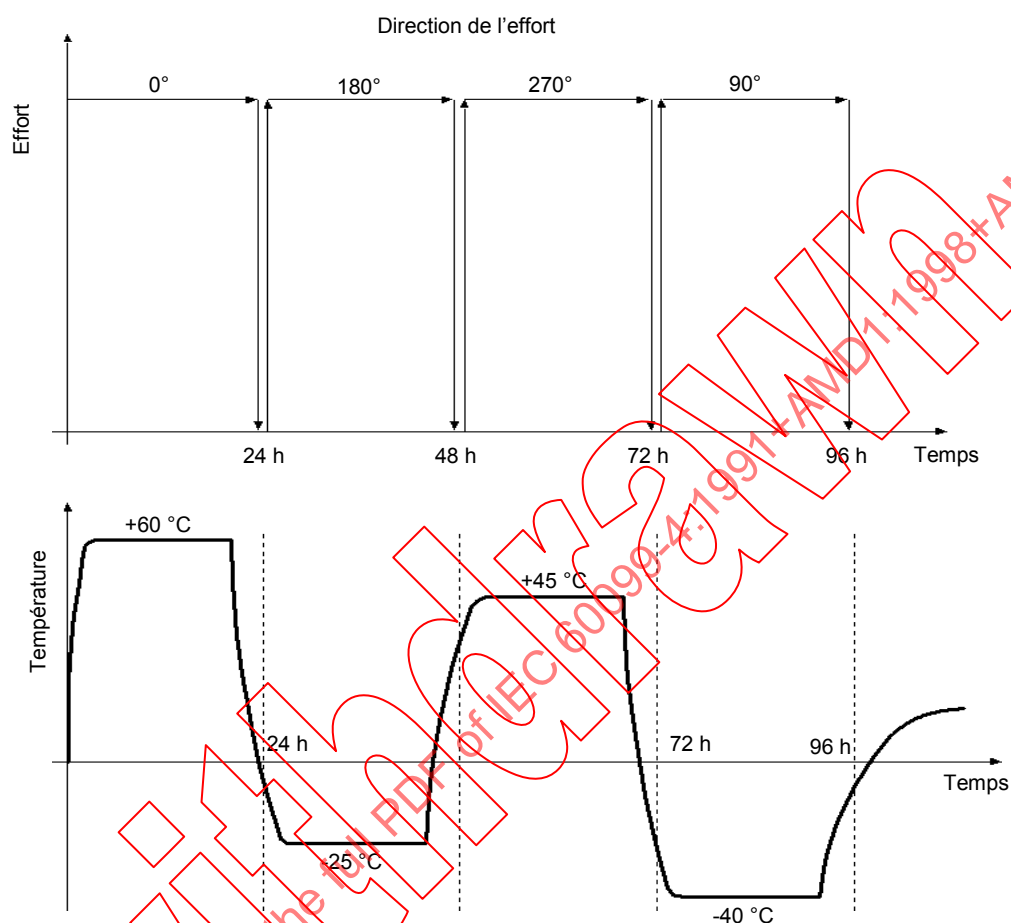
If the sample has no cylindrical symmetry, the load direction shall be chosen in such a manner as to achieve the maximum mechanical stress.

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 tests shall be conducted in air.

The continuous static mechanical load corresponds to the maximum continuous bending moment defined by the manufacturer. Its direction changes every 24 h as defined in figure 7.

Cet essai peut être interrompu pour des raisons de maintenance pendant une durée totale de 4 h, puis repris après l'interruption; le cycle reste alors valide.

Toute déformation permanente par rapport à la position initiale au repos doit être relevée.



IEC 1782/01

Figure 6 – Essai thermomécanique

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

Any permanent deformation measured from the initial no-load position shall be reported.

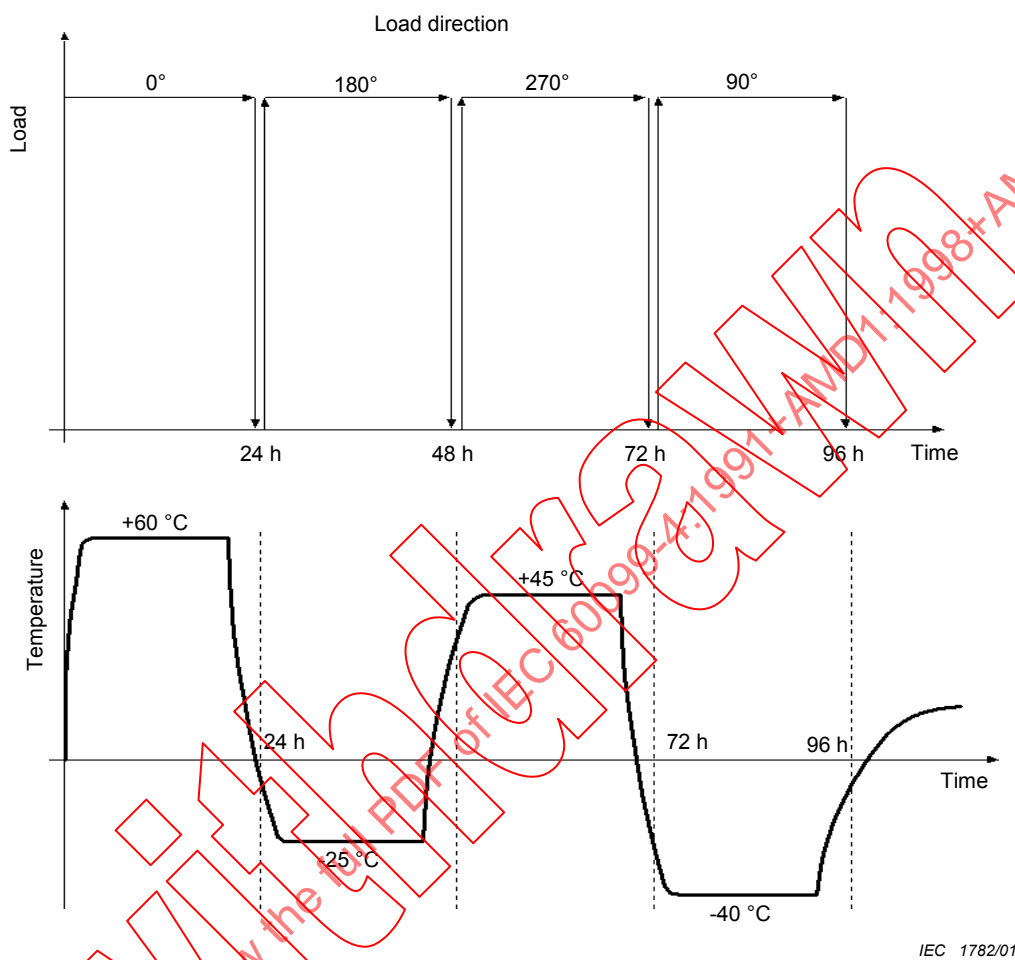
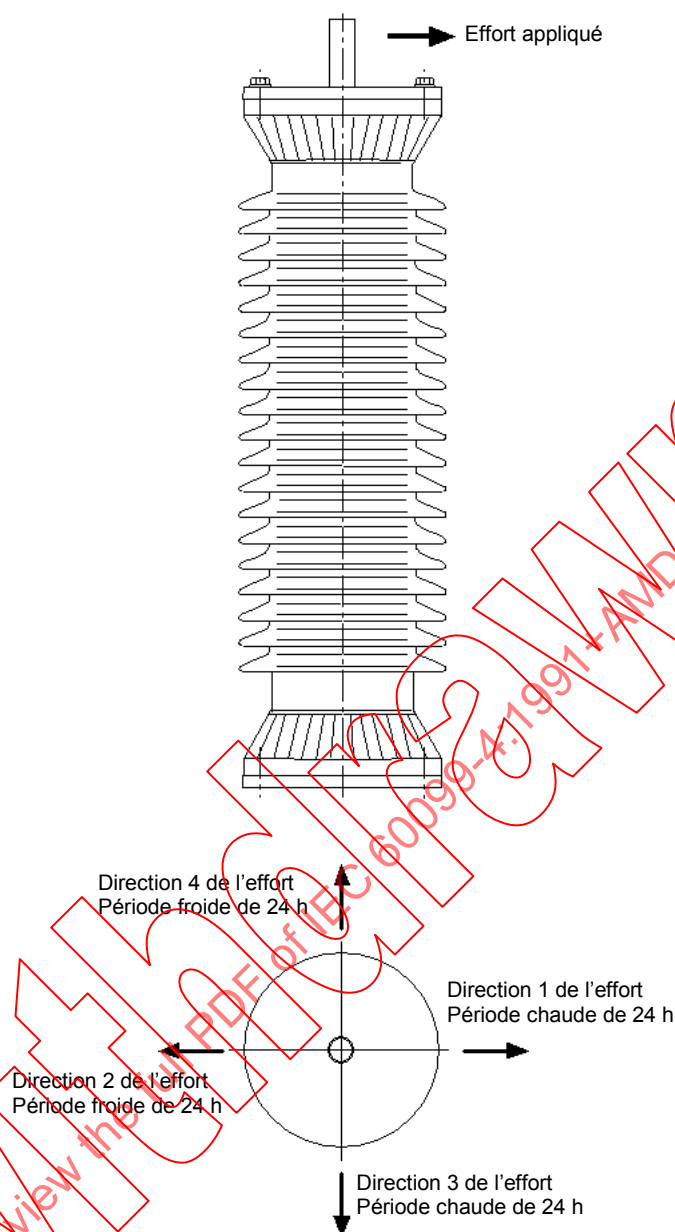


Figure 6 – Thermomechanical test



IEC 1783/01

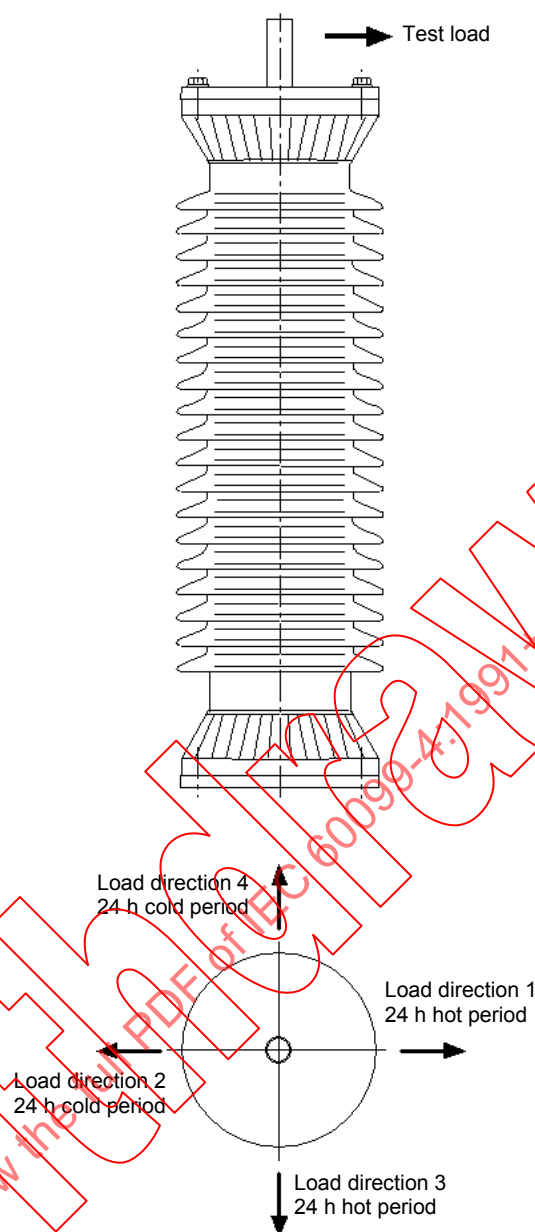
Figure 7 – Exemple de configuration pour l'essai thermomécanique et orientation de l'effort de flexion

9.7.9.3 Essai d'immersion dans l'eau

Le parafoudre doit être immergé pendant 42 h dans un bac contenant de l'eau déminéralisée en ébullition additionnée de 1 kg/m³ 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 ne peut pas résister à la température d'ébullition pendant une durée de 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.



IEC 1783/01

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

9.7.9.3 Water immersion test

The arrester shall be kept immersed in a vessel, in boiling deionized water with 1 kg/m³ 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.

A l'issue de l'ébullition, le parafoudre doit rester dans le bac jusqu'à ce que l'eau refroidisse aux environs de 50 °C, et doit être maintenu à cette température jusqu'aux essais de vérification de la séquence suivante. Ces essais de vérification sont réalisés sur des échantillons ayant refroidi jusqu'à température ambiante. La température de maintien de 50 °C n'est nécessaire que s'il faut reporter les essais de vérification à l'issue de l'essai d'immersion dans l'eau comme indiqué à la figure 8.

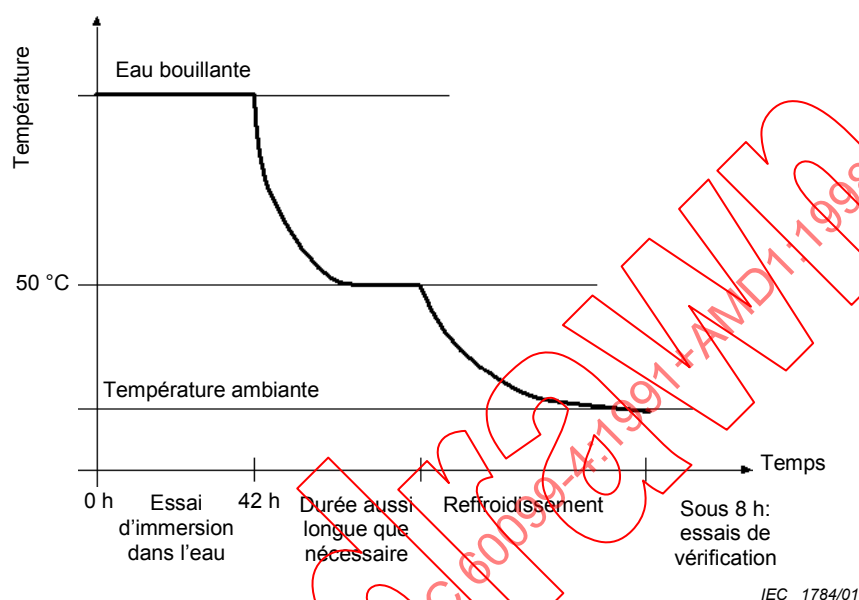


Figure 8 – Essai d'immersion dans l'eau

9.7.9.4 Essais de vérification

Tous les essais de vérification doivent être réalisés sous 8 h dans l'ordre suivant:

- inspection visuelle: il convient d'enregistrer toutes les modifications d'ordre mécanique;
- puissance absorbée mesurée sous la même tension que celle utilisée en 9.7.9.1: l'augmentation par rapport à la mesure initiale doit être inférieure à 20 %.

La mesure de la puissance absorbée doit être réalisée à une température ambiante qui ne diffère pas plus de 3 K de celle des mesures initiales.

- mesure de décharges partielles: la valeur ne doit pas excéder 10 pC sous 1,05 fois U_C ;
- tension résiduelle au même courant de décharge que celui utilisé en 9.7.9.1: l'écart par rapport à la mesure initiale ne doit pas excéder 5 %; en outre, il convient que les oscillogrammes de tension et de courant ne révèlent aucune rupture d'isolement.

NOTE Des essais alternatifs aux essais ci-dessus sont à l'étude.

9.7.10 Essai de vieillissement climatique

9.7.10.1 Echantillons en essai

Cet essai a une durée de 1 000 h dans une atmosphère de brouillard salin comme indiqué dans la série d'essais A décrite ci-dessous. En cas de conditions d'environnement sévères (rayonnement solaire intense, inversions fréquentes de température avec condensation, pollution forte ou très forte selon la CEI 60815) et, après accord entre le constructeur et l'utilisateur, un essai d'une durée de 5 000 h conforme à la série d'essais B peut être réalisé en supplément.

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 at this temperature until verification tests are performed in the following sequence. These verification tests are performed on samples having cooled to ambient temperature. The 50 °C holding temperature is necessary only if it is necessary to delay the verification tests until after the end of the water immersion test as shown in figure 8.

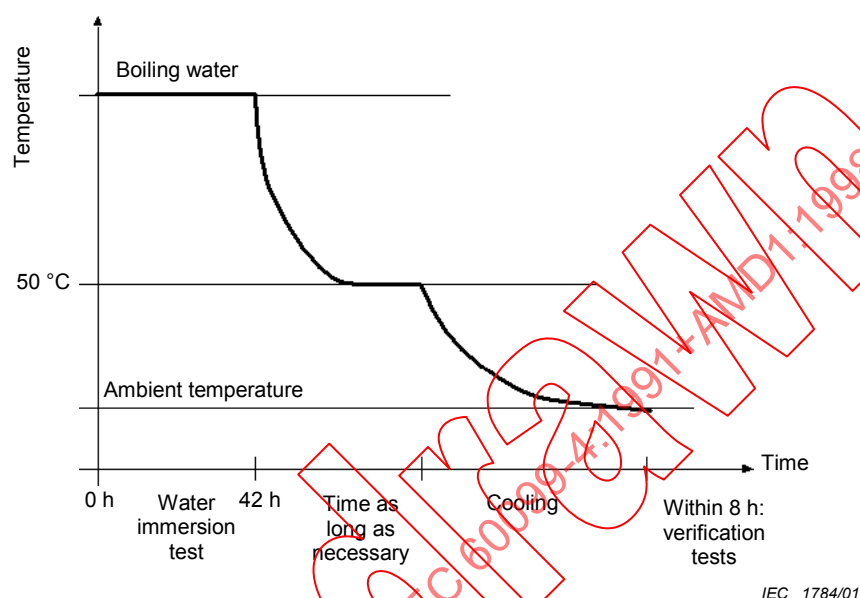


Figure 8 - Water immersion

9.7.9.4 Verification tests

All verification tests shall be completed within 8 h in the following sequence:

- visual inspection: any mechanical change should be reported;
- watt losses measured at the same voltage as the one used in 9.7.9.1: the increase from the initial measurement shall be less than 20 %.

The measurement of the watt losses shall be performed at an ambient temperature that does not deviate by more than 3 K from the initial measurements:

- partial discharge measurement: the value shall not exceed 10 pC at 1,05 times U_c ;
- residual voltage at the same discharge current as the one used in 9.7.9.1: the deviation from the initial measurement shall not exceed 5 % and in addition the oscillograms of both voltage and current should not reveal any breakdown.

NOTE Alternative tests are under consideration.

9.7.10 Weather ageing test

9.7.10.1 Test specimens

This test has a duration of 1 000 h under salt fog conditions according to test series A described below. In case of severe environmental conditions (intense solar radiation, frequent temperature inversion with condensation, heavy or very heavy pollution as defined by IEC 60815) and after agreement between the manufacturer and the user, a test with a duration of 5 000 h according to test series B may be performed in addition.

Série d'essais A:

Un essai de durée 1 000 h doit être réalisé (voir 9.7.10.2.1). 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.

Série d'essais B:

Un essai de durée 5 000 h (voir 9.7.10.2.2) est réalisé après accord entre l'utilisateur et le constructeur. Si la valeur U_c du parafoudre est supérieure à 14 kV, l'essai de 5 000 h peut être réalisé sur une fraction de ligne de fuite spécifique minimale et de tension assignée la plus élevée recommandée par le constructeur, avec une valeur U_c de l'échantillon en essai supérieure à 14 kV. Si la valeur U_c du parafoudre est inférieure ou égale à 14 kV, l'essai de durée 5 000 h doit être réalisé sur l'appareil complet.

Si l'essai est réalisé sur la fraction électrique la plus longue avec la ligne de fuite spécifique minimale et la tension assignée la plus élevée, la série d'essais A peut ne pas être réalisée après accord entre l'utilisateur et le constructeur.

Les échantillons en essai doivent être représentatifs de la configuration la plus critique pour un type donné de parafoudres.

NOTE Les critères de comparaison entre les différents types de parafoudres sont à l'étude.

9.7.10.2 Modalités des essais

9.7.10.2.1 Série d'essais A: 1 000 h

Il s'agit d'un essai continu de durée limitée, sous brouillard salin et tension constante à fréquence industrielle égale à U_c . Cet essai est réalisé dans une enceinte d'essai étanche protégée contre la corrosion. Une ouverture n'excédant pas 80 cm² doit être ménagée pour l'évacuation naturelle de l'air. Un turbo-diffuseur 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'échantillon. 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 ne doit pas présenter une chute de tension supérieure à 5 %.

Le niveau de protection doit être réglé à 1 A (eff.). L'échantillon en essai doit être nettoyé avec de l'eau déminéralisée avant le début de l'essai.

L'échantillon doit être testé en position verticale. Un espace suffisant doit être ménagé entre le sol, les parois de la chambre et l'échantillon, pour éviter toute perturbation du champ électrique. Ces informations doivent se trouver dans les instructions d'installation publiées par le constructeur.

Durée de l'essai	1 000 h
Débit d'eau	0,4 l/h/ m ³ ± 0,1 l/h/m ³
Taille des gouttes	5 µm à 10 µm
Température	20 °C ± 5 K
Teneur en NaCl de l'eau	entre 1 kg/m ³ et 10 kg/m ³

Test series A:

A 1 000 h test (see 9.7.10.2.1) shall be performed. This 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.

Test series B:

A 5 000 h test (see 9.7.10.2.2) is performed after agreement between the user and the manufacturer. If the arrester U_c is greater than 14 kV, the 5 000 h test may be performed on any pro-rated sample with the minimum specific creepage distance and the highest rated voltage recommended by the manufacturer, provided that the U_c of the sample is not less than 14 kV. If the arrester U_c is equal to or less than 14 kV, the 5 000 h test shall be performed on the complete arrester.

If the test is performed on the longest electrical unit with the minimum specific creepage distance and the highest rated voltage, test series A may be omitted after agreement between the user and the manufacturer.

The test samples shall be representative of the most critical design relevant for a given arrester type.

NOTE Criteria for the comparison of different types of arrester are under consideration.

9.7.10.2 Test procedure**9.7.10.2.1 Test series A: 1 000 h**

The test is a time-limited continuous test under salt fog at constant power frequency voltage equal to U_c . The test is carried out in a moisture sealed corrosion proof chamber. An aperture of not more than 80 cm² 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 atomiser.

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 %.

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 ³ ± 0,1 l/h/m ³
Size of droplets	5 µm to 10 µm
Temperature	20 °C ± 5 K
NaCl content of water	between 1 kg/m ³ to 10 kg/m ³

Le constructeur doit recommander une valeur initiale pour le taux de salinité. 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 excéder 15 min. L'essai est ensuite repris avec une valeur plus faible de salinité. Si plus d'un contournement se produit 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.

NOTE 1 Dans cette plage de salinité, une teneur en sel plus faible peut augmenter la sévérité de l'essai. Une salinité plus élevée augmente la probabilité de contournement, ce qui rend difficile la réalisation de l'essai sur des enveloppes de fort diamètre.

NOTE 2 Il convient que le nombre de contournements soit noté et pris en compte dans l'évaluation de la durée de l'essai.

9.7.10.2.2 Série d'essais B: 5 000 h

Cet essai consiste à appliquer, en plus de la tension U_c , différentes contraintes de façon cyclique:

- simulation du rayonnement solaire;
- pluie artificielle;
- chaleur sèche;
- chaleur humide (proche de la saturation);
- humidité élevée à température ambiante (la saturation doit être atteinte);
- brouillard salin à faible concentration.

En outre, les variations de température peuvent engendrer un certain degré de contraintes mécaniques, notamment au niveau des interfaces du parafoudre, et provoquer des phénomènes de condensation qui se répètent plusieurs fois au cours d'un cycle.

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 ne doit pas présenter une chute de tension supérieure à 5 %.

Le niveau de protection doit être réglé à 1 A (eff.).

Un exemple de cycle comprenant toutes ces contraintes est représenté à la figure 9 et décrit ci-dessous:

- Chaque cycle dure 24 h et un changement de programme a lieu toutes les 2 h.
- Pendant le temps où l'humidification et le chauffage ne fonctionnent pas, les parafoudres sont soumis à la température ambiante (15 °C à 25 °C) et à l'humidité relative correspondante (30 % à 60 %).
- La montée de la température ambiante à 50 °C doit prendre moins de 15 min.
- L'humidification doit atteindre 95 % d'humidité relative en moins de 15 min, puis la valeur minimale exigée de 98 % en moins de 10 min.
- La saturation, qui fait goutter les échantillons, est obtenue par le refroidissement naturel de la chambre d'essai après une séquence à 50 °C et 98 % d'humidité relative. Le ventilateur doit être arrêté pour cette opération. Le temps de retour à la température ambiante est d'environ 2 h.

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.

NOTE 1 Within this range of salinity, lower salt content may increase test severity. Higher salt content increases flashover probability, which makes it difficult to run the test on larger diameter housings.

NOTE 2 The number of overcurrent trip-outs should be noted and taken into account in the evaluation of the duration of the test.

9.7.10.2.2 Test series B: 5 000 h

This test consists of applying, in addition to U_c , various stresses in a cyclic manner:

- solar radiation simulation;
- artificial rain;
- dry heat;
- damp heat (near saturation);
- high dampness at room temperature (saturation has to be obtained);
- salt fog at low concentration.

Furthermore, temperature variations may cause some degree of mechanical stress, especially at the level of insulator interfaces and also give rise to condensation phenomena, which are repeated several times in the course of a cycle.

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 %.

The protection level shall be set at 1 A (r.m.s.).

A cycle example including all these stresses is shown in figure 9 and is described below:

- Each cycle lasts 24 h and a programme change takes place every 2 h.
- During the time when the humidification and heating are not in operation, the arresters are submitted to room temperature (15 °C to 25 °C) and relative humidity (30 % to 60 %).
- The rise from ambient temperature to 50 °C shall take less than 15 min.

The humidification shall take less than 15 min to reach a relative humidity of 95 % and less than another 10 min to reach the required value of at least 98 %.

- Saturation, which causes the samples to drip, is obtained by a natural cooling of the test room after a sequence with 50 °C and 98 % relative humidity. The fan shall be stopped for this operation. The time to return to ambient temperature is approximately 2 h.

- La pluie et le brouillard salin sont conformes à la publication CEI 61109.
- Le rayonnement solaire est simulé par une lampe à arc au xénon donnant environ 90 mW/cm² sur l'enveloppe. Un système de filtrage permet de reproduire approximativement la puissance et le spectre solaire reçus dans une zone climatique tempérée, à midi un jour d'été.

NOTE 1 La surface de l'enveloppe à prendre en compte est obtenue en prenant le diamètre équivalent décrit dans la CEI 60815 et la longueur de l'enveloppe.

- L'ensemble de l'essai doit durer 5 000 h.

Un autre exemple de cycle est proposé à la figure 10.

En principe, ce cycle est identique, avec les différences suivantes:

- La salinité adoptée est de 40 kg/m³ pendant la phase de brouillard salin qui ne doit pas être dirigé directement vers l'échantillon. Le débit d'eau est compris entre 0,1 l/h/m³ et 0,15 l/h/m³.
- La durée d'application hebdomadaire totale de chaque contrainte ambiante est sensiblement la même, mais chaque type de contrainte est concentré sur une seule période par jour afin de limiter les interventions dans la chambre d'essai.
- Le rayonnement UV est appliqué en continu pendant une période unique d'environ 48 h chaque week-end.
- Le chauffage est obtenu par les lampes qui fournissent le rayonnement UV: les lampes sont choisies et positionnées afin d'obtenir la puissance de rayonnement désirée sur la surface de l'enveloppe du parafoudre, sans excéder une température de surface de 60 °C.

NOTE 2 Applicable aux essais des séries A et B, pour les parafoudres destinés à être installés dans des systèmes pour lesquels une tension de service permanent très élevée n'est requise que pendant des périodes plus courtes, la tension d'essai peut être réduite à $1,05 \times U_m / \sqrt{3}$, où U_m est la tension maximale d'exploitation, par accord entre le constructeur et l'utilisateur.

NOTE 3 Applicable aux essais de la série B conformément à la figure 10: si la valeur U_c de l'échantillon est supérieure à 14 kV et si la distance dans l'air empêche une mise sous tension lors du rayonnement UV, il est admis de couper la tension sur l'échantillon lors du rayonnement UV.

Temps (h)	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
Tension d'essai	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Eau déminéralisée	■											
Chauffage (50 °C)		■	■				■	■				■
Humidité relative (95 %)			■					■				
Brouillard salin (7 kg/m ³)				■	■				■	■		
Rayonnement solaire (UV)	■	■				■	■				■	■

En fonctionnement

En veille

IEC 1785/01

Figure 9 – Exemple de cycle de vieillissement climatique accéléré sous tension (conformément à la CEI 61109)

- The rain and salt fog are in accordance with IEC 61109.
- The solar radiation simulation is obtained with a xenon arc lamp giving about 90 mW/cm² on the housing. A filter system makes it possible to approximately reproduce the power and the solar spectrum received in a moderate climatic area at noon on a summer's day.

NOTE 1 The surface of the housing to be taken into account is obtained by taking the equivalent diameter as described in IEC 60815 and the length of the housing.

- A duration of 5 000 h is required for the whole test.

Another example is proposed as shown in figure 10.

This cycle is, in principle, identical with the following distinctions:

- A salinity value of 40 kg/m³ is adopted during the salt fog period, the fog shall not be directly sprayed onto the specimen. The water flow is between 0,1 l/h/m³ and 0,15 l/h/m³.
- The weekly total time of application of each ambient stress is nearly the same, but each type of stress is concentrated in only one period per day, in order to limit the interventions in the test chamber.
- The UV radiation is applied continuously during a single period of about 48 h every weekend.
- Heating is obtained by the same lamps providing the UV radiation. The lamps are chosen and positioned in such a way that they obtain the required radiation power on the surface of the surge arrester housing, without exceeding a surface temperature of 60 °C.

NOTE 2 Applicable to test series A and B: for surge arresters intended for installation in systems for which very high continuous operating voltage is required during shorter periods, the test voltage may be reduced to $1,05 \times U_m / \sqrt{3}$ by agreement between manufacturer and user, where U_m is the highest voltage of equipment.

NOTE 3 Applicable to test series B, cycle according to figure 10: if U_C of the test sample is greater than 14 kV, and if electrical clearance prevents voltage from being applied during UV radiation, it is acceptable to de-energise the sample during the application of UV radiation.

Time (h)	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
Test voltage	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Demineralized rain	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Heating (50 °C)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Relative humidity (95 %)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Salt fog (7 kg/m ³)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Solar radiation (UV)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■



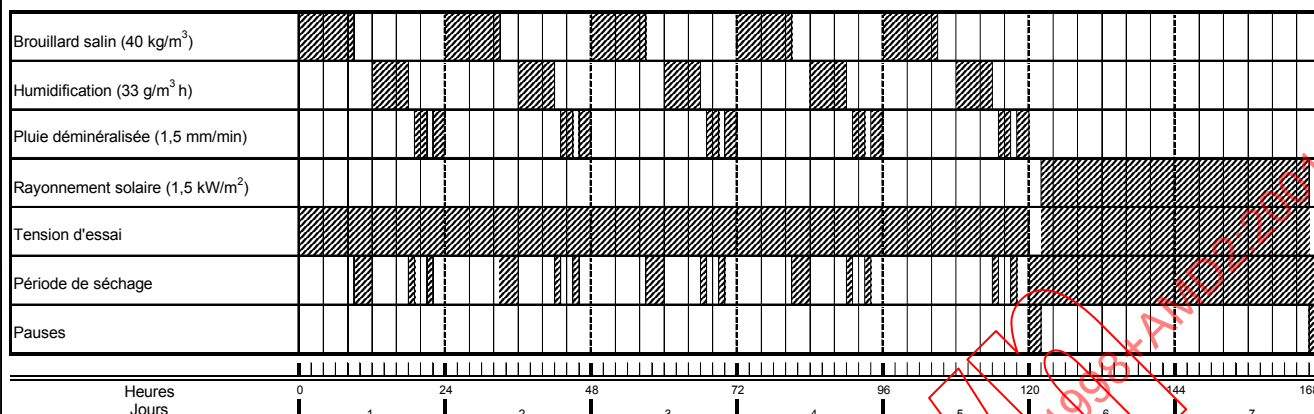
In operation



Out of operation

IEC 1785/01

Figure 9 – Example of an accelerated weather ageing cycle under operating voltage (according to IEC 61109)



IEC 1786/01

Figure 10 – Autre exemple de cycle de vieillissement climatique accéléré

9.7.10.3 Evaluation de l'essai

L'essai est considéré comme positif si aucun cheminement ne se produit (voir CEI 61109), si le revêtement externe n'est pas entièrement transpercé 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 n'a pas varié 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 excéder 10 pC, conformément à 7.8.

SECTION 10: PRESCRIPTIONS D'ESSAIS POUR LES PARAFOUDRES SOUS ENVELOPPE MÉTALLIQUE À ISOLATION GAZEUSE (PARAFOUDRES BLINDÉS)

10.1 Généralités

Voir section 1.

10.2 Définitions

Voir section 2.

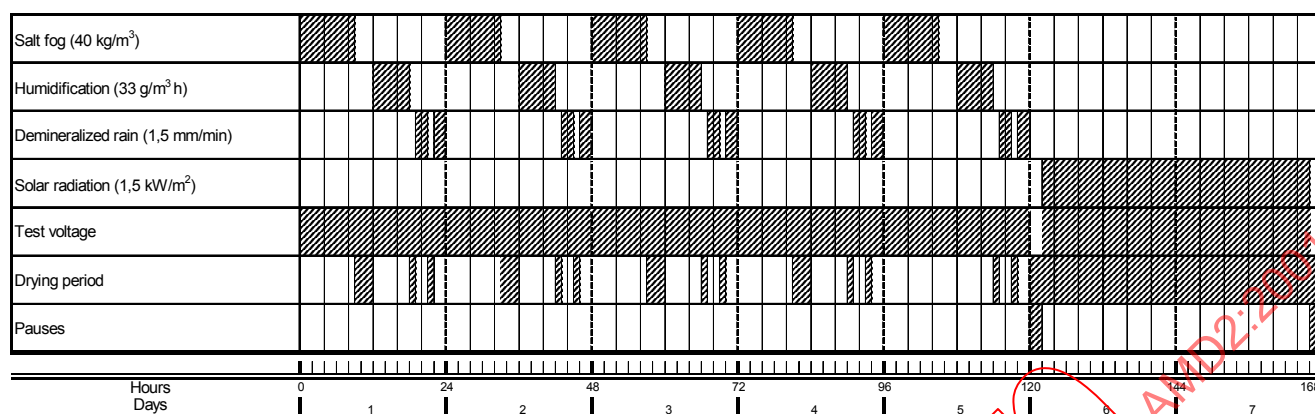
10.3 Identification des parafoudres

Le paragraphe 3.1 s'applique avec le complément suivant:

- pression de gaz assignée pour l'isolation à 20 °C.

10.4 Caractéristiques assignées

Voir section 4.



IEC 1786/01

Figure 10 – Another example of an accelerated weather ageing cycle

9.7.10.3 Evaluation of the test

The test is regarded as passed, if no tracking occurs (see IEC 61109), if erosion does not occur through the entire thickness 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 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 according to 7.8.

SECTION 10: TEST REQUIREMENTS ON GAS-INSULATED METAL ENCLOSED ARRESTERS (GIS-ARRESTERS)

10.1 General

See section 1.

10.2 Definitions

See section 2.

10.3 Arrester identification (nameplate)

Subclause 3.1 applies with following addition:

- rated gas pressure for insulation at 20 °C.

10.4 Standard rating

See section 4.

10.5 Prescriptions

Les prescriptions de la section 5 s'appliquent avec les modifications suivantes:

- 5.1 Tenue diélectrique de l'isolation de l'enveloppe du parafoudre, modifié par 10.5.1
- 5.5 Taux de fuite de l'étanchéité – n'est pas applicable
- 5.9 Fonctionnement des parafoudres, avec référence complémentaire à 10.7.5
- 5.11 Court-circuit, modifié par 10.5.2
- 5.12 Dispositif de déconnexion – n'est pas applicable
- 5.14 Efforts mécaniques – n'est pas applicable

NOTE Les prescriptions et essais relatifs à la tension de référence, aux tensions résiduelles, aux décharges partielles, à la tenue aux chocs de courant de longue durée et à la caractéristique tension-temps d'un parafoudre sont identiques à ceux indiqués à la section 5.

10.5.1 Tensions de tenue

a) Parafoudres monophasés

L'isolement entre les éléments internes et l'enveloppe métallique doit supporter les tensions suivantes lors des essais réalisés selon 10.7.2:

- La tension de tenue au choc de foudre du matériel à protéger ou le niveau de protection au choc de foudre du parafoudre multiplié par 1,3, en retenant la plus faible de ces deux valeurs.

NOTE 1 Le facteur 1,3 couvre les chocs de courant de valeur supérieure au courant nominal de décharge. Les variations de conditions atmosphériques, telles que stipulées pour les parafoudres à enveloppe porcelaine, ne sont pas applicables aux parafoudres blindés. Néanmoins, le facteur 1,3 est retenu afin d'assurer une sécurité supplémentaire.

- Pour les parafoudres 10 000 A et 20 000 A de tension assignée supérieure ou égale à 200 kV, la tension de tenue au choc de manœuvre du matériel à protéger ou le niveau de protection au choc de manœuvre du parafoudre multiplié par 1,25, en retenant la plus faible de ces deux valeurs.

NOTE 2 Le facteur 1,25 couvre les chocs de courant de valeur supérieure aux valeurs maximales données dans le tableau 3. Les variations de conditions atmosphériques, telles que stipulées pour les parafoudres à enveloppe porcelaine, ne sont pas applicables aux parafoudres blindés. Néanmoins, le facteur 1,25 est retenu afin d'assurer une sécurité supplémentaire.

- Pour les parafoudres 10 000 A et 20 000 A de tension assignée inférieure à 200 kV, la tension de tenue à fréquence industrielle du matériel à protéger ou la tension à fréquence industrielle ayant une valeur crête égale au niveau de protection au choc de manœuvre du parafoudre multipliée par 1,2, appliquée pendant 1 min, en retenant la plus faible de ces deux valeurs.
- Pour les parafoudres 1 500 A, 2 500 A et 5 000 A, la tension de tenue à fréquence industrielle du matériel à protéger ou la tension de tenue à fréquence industrielle avec une valeur crête égale au niveau de protection au choc de foudre du parafoudre, appliquée pendant 1 min, en retenant la plus faible de ces deux valeurs.

b) Parafoudres triphasés

La tension de tenue de l'isolation des parafoudres triphasés est donnée dans les tableaux 8 et 9.

10.5.2 Exigences pour les enveloppes des parafoudres blindés

La conception des enveloppes utilisées pour les parafoudres blindés doit répondre aux exigences des articles 5.103 de la CEI 60517 ou 5.102 de la CEI 60298.

Si le parafoudre comporte une enceinte interne séparée avec limiteur de pression autre que celui de l'enveloppe métallique, un essai au courant assigné de court-circuit selon 7.7 doit être réalisé.

10.5 Requirements

Requirements of section 5 apply with the following modifications:

- 5.1 Insulation withstand of the arrester housing, modified by 10.5.1;
- 5.5 Seal leak rate test – does not apply;
- 5.9 Operating duty, with additional reference to 10.7.5;
- 5.11 Short-circuit, modified by 10.5.2;
- 5.12 Disconnectors – does not apply;
- 5.14 Mechanical load – does not apply.

NOTE The requirements and tests concerning reference voltages, residual voltages, partial discharges, long duration current impulse withstand, and power frequency voltage versus time characteristics of an arrester are the same as in section 5

10.5.1 Withstand voltages

a) Single-phase arrester

The insulation between the internal parts and the metal housing shall withstand the following voltages when tested according to 10.7.2:

- 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 nominal. Variations in atmospheric conditions, as given for porcelain housed arresters, are not relevant for GIS-arresters. Nevertheless, the factor of 1,3 is retained to provide additional security.

- For 10 000 A and 20 000 A arresters with rated voltages of 200 kV and above, 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 the maximum values of table 3. Variations in atmospheric conditions, as given for porcelain housed arresters, are not relevant for GIS-arresters. Nevertheless, the factor 1,25 is retained to provide additional security.

- For 10 000 A and 20 000 A arresters with rated voltages less than 200 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.
- For 1 500 A, 2 500 A and 5 000 A arresters, a power frequency withstand voltage of the equipment to be protected or a power frequency voltage with a peak value equal to the lightning impulse protection level for a duration of 1 min, whichever is lower.

b) Three-phase arrester

The withstand voltage for the insulation of three-phase arresters is given in tables 8 and 9.

10.5.2 Requirements for the enclosures of GIS-arresters

The design of the metallic enclosures of GIS-arresters shall meet the requirements of clause 5.103 of IEC 60517 or clause 5.102 of IEC 60298.

If the arrester has a separate internal enclosure with a pressure relief device different from that of the metallic vessel, a short-circuit test with the rated short-circuit current according to 7.7 shall be performed.

10.6 Conditions générales d'exécution des essais

Voir section 6.

10.7 Essais de type (essais de conception)

La section 7 s'applique avec les modifications suivantes:

10.7.1 Généralités

Les essais de type à réaliser sur les parafoudres blindés sont ceux définis dans la section 7 modifiée comme indiqué ci-après.

Les essais de type suivants doivent être effectués en fonction du type du parafoudre:

- 1) Essais de tenue de l'isolation de l'enveloppe du parafoudre, selon 10.7.2.
- 4) Essais de fonctionnement, modifié par 10.7.5.
- 5) Essais de court-circuit, selon 10.5.2.
- 6) Essais des déconnecteurs/indicateurs de défaut – n'est pas applicable.
- 7) Essais de pollution artificielle de l'annexe F – n'est pas applicable.
- 9) Essai du taux de fuite – n'est pas applicable.
- 11) Essai en moment de flexion – n'est pas applicable.
- 12) Essai d'environnement – n'est pas applicable.

10.7.2 Essais de tenue de l'isolation de l'enveloppe du parafoudre

10.7.2.1 Généralités

Ces essais démontrent la capacité de l'isolation à supporter les contraintes de tension requises entre les éléments internes et l'enveloppe métallique, ainsi qu'entre phases dans le cas de parafoudres triphasés.

Les essais de tenue de l'isolation doivent également assurer que tous les éléments internes sont testés de la même façon par rapport aux contraintes les plus sévères rencontrées en service. Un autre essai portant sur les éléments individuels peut donc s'avérer nécessaire pour vérifier la tension de tenue requise (voir 10.7.2.5).

Pour les parafoudres monophasés, l'essai doit être réalisé sur un parafoudre complet dans lequel les résistances à oxyde métallique ont été remplacées par des pièces isolantes. Afin de maîtriser la répartition de tension dans le parafoudre, il est possible d'utiliser des éléments de répartition au lieu de pièces isolantes.

Dans le cas d'un parafoudre triphasé, la ou les phases qui ne sont pas mises sous tension pendant l'essai doivent être reliées à la terre. Dans les parties actives qui sont reliées à une source de tension, les résistances à oxyde métallique doivent être remplacées par des pièces isolantes. Des éléments de répartition peuvent être utilisés au lieu de pièces isolantes afin de maîtriser la répartition de tension dans le parafoudre.

NOTE En raison de la forte influence des capacités à la terre dans les parafoudres blindés, il peut s'avérer difficile voire impossible d'obtenir une répartition de tension linéaire au moyen d'éléments de répartition. Un essai réalisé avec une répartition de tension inégale ou sans éléments de répartition représente le pire des cas et les résultats d'essais procurent une marge de sécurité.

Pendant les essais, le gaz isolant doit avoir la densité minimale spécifiée pour le parafoudre.

Les paragraphes 7.2.4 et 7.2.5 ne sont pas applicables aux parafoudres blindés.

10.6 General testing procedures

See section 6.

10.7 Type tests (design tests)

Section 7 applies with the following modifications:

10.7.1 General

The type tests performed for GIS-arresters are those defined in section 7 modified as indicated below.

The following type tests shall be carried out depending upon the arrester type:

- 1) Insulation withstand tests on the arrester housing, according to 10.7.2.
- 4) Operating duty tests, as modified by 10.7.5.
- 5) Short circuit test, according to 10.5.2.
- 6) Tests of arrester disconnectors/fault indicators – does not apply.
- 7) Artificial pollution tests of annex F does not apply.
- 9) Seal leak rate test – does not apply.
- 11) Bending moment test – does not apply.
- 12) Environmental test – does not apply.

10.7.2 Insulation withstand tests

10.7.2.1 General

These tests demonstrate the ability of the insulation to withstand the required voltage stresses between the internal parts and the metal housing and, in addition, between the phases for a three-phase arrester.

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 10.7.2.5).

For single-phase arresters, 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.

In the case of a three-phase arrester, the phase(s) not energised during the test shall be connected to earth. For active parts connected to a voltage source, the metal oxide resistors shall be replaced by insulating parts. Grading elements may be used instead of insulating parts in order to control the voltage distribution along the arrester axis.

NOTE 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.

Subclauses 7.2.4 and 7.2.5 are not applicable for GIS-arresters.

10.7.2.2 Essai au choc de foudre

Les parafoudres doivent être soumis à un choc de foudre normal selon la CEI 60060-1.

a) Parafoudres monophasés

La tension d'essai doit être conforme à ce qui est spécifié en 10.5.1.

Quinze chocs consécutifs à la valeur de la tension d'essai doivent être appliqués pour chaque polarité. Le parafoudre a subi l'essai avec succès si aucune décharge disruptive ne se produit. En cas de décharge disruptive, les critères d'acceptation de la CEI 60517 et de la CEI 60298 doivent être remplis.

b) Parafoudres triphasés

La tension d'essai doit être conforme à ce qui est spécifié en 10.5.1.

Les essais doivent débuter sur l'isolation phase-terre. La tension d'essai est appliquée sur une seule phase, tandis que les deux autres phases sont reliées à la terre.

A la suite de l'essai sur l'isolation phase-terre, un essai sur l'isolation entre phases doit être réalisé. Cet essai peut s'effectuer en utilisant soit uniquement une tension de choc, soit une tension de choc associée à une tension à fréquence industrielle. Le choix est laissé au constructeur.

Si l'essai est réalisé en utilisant uniquement une tension de choc, le même schéma d'essai que celui de l'essai phase-terre doit être utilisé.

Si l'essai est réalisé au moyen d'une tension de choc associée à une tension à fréquence industrielle, une seule phase est reliée à la terre. La tension de choc est appliquée sur la deuxième phase alors que la tension à fréquence industrielle est appliquée sur la troisième phase de façon à ce que, pendant l'application de la tension de choc sur la deuxième phase, la tension à fréquence industrielle atteigne sa valeur crête en polarité opposée.

Les essais de tenue entre phase et terre et de tenue entre phases doivent être renouvelés pour toutes les combinaisons possibles des trois parties actives, à moins qu'il ne soit démontré par des considérations de symétrie électrique que cela n'est pas nécessaire.

Pour chacun de ces deux essais, 15 chocs consécutifs à la valeur de la tension d'essai doivent être appliqués pour chaque polarité. Le parafoudre a subi l'essai avec succès si aucune décharge disruptive ne se produit. En cas de décharge disruptive, les critères d'acceptation de la CEI 60517 et de la CEI 60298 doivent être remplis.

10.7.2.3 Essai au choc de manœuvre

Les parafoudres doivent être soumis à une tension de choc de manœuvre normalisée selon la CEI 60060-1.

a) Parafoudres monophasés

La tension d'essai doit être conforme à ce qui est spécifié en 10.5.1.

Quinze chocs consécutifs à la valeur de la tension d'essai doivent être appliqués pour chaque polarité. Le parafoudre a subi l'essai avec succès si aucune décharge disruptive ne se produit. En cas de décharge disruptive, les critères d'acceptation de la CEI 60517 et de la CEI 60298 doivent être remplis.

b) Parafoudres triphasés

La tension d'essai doit être conforme à ce qui est spécifié en 10.5.1.

Les essais doivent débuter sur l'isolation phase-terre. La tension d'essai est appliquée sur une phase, tandis que les deux autres phases sont reliées à la terre.

A la suite de cet essai, l'essai de l'isolation entre phases peut être réalisé, sans modification du schéma, en augmentant la tension d'essai jusqu'au niveau requis.

10.7.2.2 Lightning impulse voltage test

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

a) Single-phase arresters

The test voltage shall be as specified in 10.5.1.

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 60517 and IEC 60298 shall be observed.

b) Three-phase arrester

The test voltage shall be as specified in 10.5.1.

The test shall start with the phase-to-earth insulation test. The test voltage is applied to one phase, while the other phases are connected to earth.

After the phase-to-earth insulation test, the phase-to-phase insulation test shall be performed. This test can be made using only an impulse voltage or an impulse voltage and a power frequency voltage. The choice is made by the manufacturer.

If the test is made using only an impulse voltage, the same test arrangement as used for the phase-to-earth test shall be used.

If the test is made using an impulse voltage and a power-frequency voltage, only one phase is connected to earth. The impulse voltage is applied to the second phase, while the power-frequency voltage is applied to the third phase in such a way that, during application of the impulse voltage to the second phase, the power-frequency voltage reaches its peak value of the opposite polarity.

The phase-to-earth test and the phase-to-phase test shall be repeated for all possible combinations of the three active parts, unless proved unnecessary by considerations of electrical symmetry.

In both tests, 15 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 60517 and IEC 60298 shall be observed.

10.7.2.3 Switching impulse voltage test

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

a) Single-phase arresters

The test voltage shall be as specified in 10.5.1.

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 60517 and IEC 60298 shall be observed.

b) Three-phase arresters

The test voltage shall be as specified in 10.5.1.

The tests shall start with the phase-to-earth insulation test. The test voltage is applied to one phase, while the other two phases are connected to earth.

After this test, the phase-to-phase insulation test may be performed, without changing the test arrangement, by increasing the test voltage to the required level.

Si une décharge disruptive se produit, ou est pressentie, l'un ou l'autre des deux essais suivants doit être adopté. Le choix est laissé au constructeur:

- L'une des phases du parafoudre est reliée à la terre. Deux chocs de manœuvre d'amplitude égale et de polarité opposée doivent être appliqués sur les deux autres phases. Les chocs doivent atteindre leur valeur crête au même instant. L'amplitude de chaque choc doit être égale à la moitié de la tension de tenue au choc de manœuvre requise entre phases (essai entre phases selon la CEI 60071-1).
- L'une des phases du parafoudre est reliée à la terre. Un choc de manœuvre de valeur égale à celle utilisée pour l'essai de tenue entre phase et terre est appliqué sur la deuxième phase. Une tension à fréquence industrielle est appliquée sur la troisième phase de façon à ce que la valeur crête du choc de manœuvre soit atteinte à la valeur crête de la tension à fréquence industrielle en polarité opposée. La différence entre les tensions à l'instant où la valeur crête du choc de manœuvre est atteinte doit être égale à la tension de tenue en choc de manœuvre requise entre phases (essai sur isolation longitudinale selon la CEI 60071-1).

Les essais de tenue entre phase et terre et de tenue entre phases doivent être renouvelés pour toutes les combinaisons possibles des trois parties actives, à moins qu'il ne soit démontré par des considérations de symétrie électrique que cela n'est pas nécessaire.

Pour chacun de ces deux essais, quinze chocs consécutifs à la valeur de la tension d'essai doivent être appliqués pour chaque polarité. Le parafoudre a subi l'essai avec succès si aucune décharge disruptive ne se produit. En cas de décharge disruptive, les critères d'acceptation de la CEI 60517 et de la CEI 60298 doivent être remplis.

10.7.2.4 Essai à fréquence industrielle

a) Parafoudres monophasés

La tension d'essai doit être conforme à ce qui est spécifié en 10.5.1.

Le parafoudre a subi l'essai avec succès si aucune décharge disruptive ne se produit.

b) Parafoudres triphasés

La tension d'essai doit être conforme à ce qui est spécifié en 10.5.1.

Les essais doivent débuter sur l'isolation phase-terre. La tension d'essai est appliquée sur une phase, tandis que les deux autres phases sont reliées à la terre.

A la suite de cet essai, l'essai sur l'isolation entre phases doit être réalisé. Si cet essai est réalisé en utilisant uniquement une tension à fréquence industrielle, le même schéma doit être utilisé. La tension appliquée doit être augmentée jusqu'à la valeur requise entre phases.

Le parafoudre a subi l'essai avec succès si aucune décharge disruptive ne se produit.

En alternative, la procédure d'essai suivante peut être adoptée. L'une des phases du parafoudre est reliée à la terre. La tension de choc égale à 1,2 fois le niveau de protection aux chocs de manœuvre est appliquée sur la deuxième phase, tandis que la tension à fréquence industrielle égale à U_c est appliquée sur la troisième phase de façon à ce que, pendant l'application de la tension de choc sur la deuxième phase, la tension à fréquence industrielle atteigne sa valeur crête de polarité opposée.

Les essais de tenue entre phase et terre et de tenue entre phases doivent être renouvelés pour toutes les combinaisons possibles des trois parties actives, à moins qu'il ne soit démontré par des considérations de symétrie électrique que cela n'est pas nécessaire.

If flashovers occur or are expected, one of the following two test alternatives shall be adopted. The choice is made by the manufacturer:

- One phase of the arrester is earthed. Two switching impulses of equal amplitude and opposite polarity shall be applied to the two other phases. The impulses shall reach their crests at the same instant. The amplitude of each impulse shall be half the required switching impulse withstand voltage phase-to-phase (phase-to-phase test according to IEC 60071-1).
- One phase of the arrester is earthed. A switching impulse equal to the required value phase-to-earth is applied to the second phase. A power-frequency voltage is applied to the third phase such that the crest of the switching impulse is reached at the power-frequency voltage peak of opposite polarity. The difference between the voltages at the instant of the switching impulse crest shall be equal to the required switching impulse withstand voltage phase-to-phase (longitudinal insulation test according to IEC 60071-1).

The phase-to-earth test and the phase-to-phase test shall be repeated for all possible combinations of three active parts, unless proved unnecessary by considerations of electrical symmetry.

In both tests, 15 consecutive impulses at the test voltage value shall be applied for each polarity. The arrester has passed the test if no disruptive discharge occurs. In case of disruptive discharges, the pass criteria in IEC 60517 and IEC 60298 shall be observed.

10.7.2.4 Power-frequency voltage test

a) Single-phase arresters

The test voltage shall be as specified in 10.5.1.

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

b) Three-phase arresters

The test voltage shall be as specified in 10.5.1.

The tests shall start with the phase-to-earth insulation test. The test voltage is applied to one phase, while the other phases are connected to earth.

After the phase-to-earth insulation test, the phase-to-phase insulation test shall be performed. If this test is made using only a power-frequency voltage, the same test arrangement shall be taken. The applied voltage shall be raised to the required phase-to-phase value.

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

Alternatively, the following test procedure may be adopted. One phase of the arrester is connected to earth. The impulse voltage equal to 1,2 times the switching impulse protection level is applied to the second phase, while the power-frequency voltage equal to U_c is applied to the third phase. This is done in such a way that, during application of the impulse voltage to the second phase, the power-frequency voltage reaches its peak value of the opposite polarity.

The phase-to-earth test and the phase-to-phase test shall be repeated for all possible combinations of the three active parts, unless proved unnecessary by considerations of electrical symmetry.

Quinze chocs consécutifs à la valeur de la tension d'essai doivent être appliqués pour chaque polarité. Le parafoudre a subi l'essai avec succès si aucune décharge disruptive ne se produit. En cas de décharge disruptive, les critères d'acceptation de la CEI 60517 et de la CEI 60298 doivent être remplis.

10.7.2.5 Essai de tenue de la partie active des parafoudres blindés

Pour un parafoudre blindé doté d'une partie active comprenant des éléments résistifs reliés électriquement en série mais disposés géométriquement en parallèle au moyen d'un matériau isolant, la tenue en tension du matériau isolant et de la structure de maintien ainsi que l'isolation entre les colonnes résistives doivent être testées.

L'essai doit être réalisé de façon à ce que toutes les contraintes diélectriques mentionnées ci-dessus soient prises en considération.

Pendant l'essai, les échantillons peuvent être entourés du gaz lui-même avec une densité correspondant à la densité minimale spécifiée pour le parafoudre complet.

10.7.3 Essais de vérification de la tension résiduelle

Le paragraphe 7.3 s'applique.

10.7.4 Essais de tenue aux chocs de courant de longue durée

Le paragraphe 7.4 s'applique.

10.7.5 Essais de fonctionnement

Le paragraphe 7.5 s'applique avec les compléments suivants à la fin de 7.5.1:

Les effets d'un déséquilibre de tension entre les résistances du parafoudre doivent être appréhendés par des mesures de répartition de tension ou par des calculs faits à des tensions au plus égales à la tension de service permanent de parafoudre. Un calcul ou une mesure est valable pour la tension assignée considérée à ± 25 % près.

Pour vérifier l'équivalence thermique entre un parafoudre complet et une fraction de parafoudre, un essai conforme à l'annexe B est nécessaire.

La fraction de parafoudre doit seulement représenter le comportement thermique du parafoudre complet. Il n'est pas demandé qu'elle réponde aux exigences de 7.5.3.2 b), et la partie active de la fraction ne doit pas obligatoirement contenir les éléments de la structure de maintien.

L'essai de fonctionnement réalisé sur cette fraction de parafoudre est valable à la fois pour un parafoudre monophasé et pour un parafoudre triphasé.

10.7.6 Essais des déconnecteurs\indicateurs de défaut

Le paragraphe 7.6 n'est pas applicable.

10.7.7 Essais de court-circuit

Le paragraphe 7.7 s'applique; voir 10.5.2 en fonction du type du parafoudre.

Fifteen consecutive impulses at the test voltage shall be applied to each polarity. The arrester has passed the test if no disruptive discharge occurs. In case of disruptive discharges, the pass criteria in IEC 60517 and IEC 60298 shall be observed.

10.7.2.5 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.

10.7.3 Residual voltage tests

Subclause 7.3 applies.

10.7.4 Long duration current impulse withstand test

Subclause 7.4 applies.

10.7.5 Operating duty tests

Subclause 7.5 applies, with the following paragraphs added to end of 7.5.1:

The voltage unbalance effects between varistors of the arresters shall be demonstrated by voltage distribution measurements or computations made at voltages not higher than the continuous operating voltage of the arresters. A performed calculation or measurement is valid for the considered rated voltage $\pm 25\%$.

To verify thermal equivalency between a complete arrester and arrester section, a test according to annex B is necessary.

The arrester section shall only represent the thermal behaviour of the complete arrester. It is not needed to meet the requirements of 7.5.3.2 b), and the active part of the section need not contain the elements of the supporting structure.

The operating duty test on this arrester section is valid for a single-phase arrester as well as for a three-phase arrester.

10.7.6 Tests of arrester disconnectors/fault indicators

Subclause 7.6 does not apply.

10.7.7 Short-circuit tests

Subclause 7.7 applies; depending upon arrester type, see 10.5.2.

10.7.8 Essais de décharges partielles internes

Le paragraphe 7.8 s'applique.

10.8 Essais individuels

Les essais individuels sur les parafoudres blindés doivent être réalisés conformément à 8.1.

La tension de référence doit être mesurée sur le parafoudre complet ou sur ses parties actives.

L'essai de décharges partielles doit être réalisé sur le parafoudre complet ou sur ses parties actives, ainsi que sur son enveloppe, qui doit intégrer la structure de maintien et les éléments de répartition.

10.9 Essais consécutifs à l'installation sur site

Si le parafoudre est livré sur le site sans avoir été complètement monté, on doit contrôler que le montage est correct par toute méthode adéquate choisie par le constructeur.

Si l'on souhaite vérifier la tenue diélectrique en choc ou à fréquence industrielle d'un appareillage blindé équipé de parafoudres, les parafoudres doivent être retirés ou rendus inopérants afin de permettre la réalisation de ces essais.

10.7.8 Internal partial discharge tests

Subclause 7.8 applies.

10.8 Routine tests

The routine tests on GIS-arresters shall be carried out according to 8.1.

The reference voltage shall be measured on the complete arrester or on the active parts of the arrester.

The partial discharge test shall be performed on the complete arrester or on the active parts of the arrester and on the arrester housing, including supporting structure and grading elements.

10.9 Test after erection on site

If the arrester is delivered incompletely assembled to the site, it shall be checked for correct mounting by any appropriate method adopted by the manufacturer.

If the insulating capacity of gas-insulated switchgear equipped with arresters is to be tested with impulse or power-frequency voltages, the arresters shall be removed or rendered inoperative to permit these tests.

Tableau 8 – Parafoudres blindés triphasés 10 000 A et 20 000 A – Tensions de tenue prescrites

Tension kV	Type de tension de tenue	Essais	Commentaires
$U_r < 200$	Tension de tenue au choc de foudre	Phase-terre et phase-phase: – tension de tenue du matériel à protéger (voir CEI 60071-1) ou – phase-terre: $1,3 \times$ niveau de protection au choc de foudre – phase-phase: $1,3 \times$ niveau de protection au choc de foudre + $U_c \times \sqrt{2}$	La plus faible des deux valeurs
	Tension de tenue à fréquence industrielle	Phase-terre et phase-phase: – tension de tenue du matériel à protéger (voir CEI 60071-1) ou – phase-terre: $\hat{U}_{ac} = 1,2 \times$ niveau de protection au choc de manœuvre – phase-phase: $\hat{U}_{ac} = 1,2 \times$ niveau de protection au choc de manœuvre + $U_c \times \sqrt{2}$	La plus faible des deux valeurs
$U_r \geq 200$	Tension de tenue au choc de foudre	Phase-terre et phase-phase: – tension de tenue du matériel à protéger (voir CEI 60071-1) ou – phase-terre: $1,3 \times$ niveau de protection au choc de foudre – phase-phase: $1,3 \times$ niveau de protection au choc de foudre + $U_c \times \sqrt{2}$	La plus faible des deux valeurs
	Tension de tenue au choc de manœuvre	Phase-terre et phase-phase: – tension de tenue du matériel à protéger (voir CEI 60071-1) ou – phase-terre: $1,25 \times$ niveau de protection au choc de manœuvre – phase-phase: $2,5 \times$ niveau de protection au choc de manœuvre	La plus faible des deux valeurs

Table 8 – 10 000 A and 20 000 A three-phase GIS-arresters – Required withstand voltages

Voltage kV	Type of withstand voltage	Test	Comment
$U_r < 200$	Lightning impulse withstand voltage	Phase-to-earth and phase-to-phase: – withstand voltage of equipment to be protected (see IEC 60071-1) or – phase-to-earth: $1,3 \times$ lightning impulse protection level – phase-to-phase: $1,3 \times$ lightning impulse protection level + $U_c \times \sqrt{2}$	Whichever is lower
	Power-frequency withstand voltage	Phase-to-earth and phase-to-phase: – withstand voltage of equipment to be protected (see IEC 60071-1) or – phase-to-earth: $\hat{u}_{ac} = 1,2 \times$ switching impulse protection level – phase-to-phase: $\hat{u}_{ac} = 1,2 \times$ switching impulse protection level + $U_c \times \sqrt{2}$	Whichever is lower
$U_r \geq 200$	Lightning impulse withstand voltage	Phase-to-earth and phase-to-phase: – withstand voltage of equipment to be protected (see IEC 60071-1) or – phase-to-earth: $1,3 \times$ lightning impulse protection level – phase-to-phase: $1,3 \times$ lightning impulse protection level + $U_c \times \sqrt{2}$	Whichever is lower
	Switching impulse withstand voltage	Phase-to-earth and phase-to-phase: – withstand voltage of equipment to be protected (see IEC 60071-1) or – phase-to-earth: $1,25 \times$ switching impulse protection level – phase-to-phase: $2,5 \times$ switching impulse protection level	Whichever is lower

Tableau 9 – Parafoudres blindés triphasés 1 500 A, 2 500 A et 5 000 A – Tensions de tenue prescrites

Type de tension de tenue	Essais	Commentaires
Tension de tenue au choc de foudre	Phase-terre et phase-phase: – tension de tenue du matériel à protéger (voir CEI 60071-1) ou – phase-terre: $1,3 \times$ niveau de protection au choc de foudre – phase-phase: $1,3 \times$ niveau de protection au choc de foudre + $U_c \times \sqrt{2}$	La plus faible des deux valeurs
Tension de tenue à la fréquence industrielle	Phase-terre et phase-phase: – tension de tenue du matériel à protéger (voir CEI 60071-1) ou – phase-terre: $\hat{U}_{ac}$ = niveau de protection au choc de foudre – phase-phase: $\hat{U}_{ac}$ = niveau de protection au choc de foudre + $U_c \times \sqrt{2}$	La plus faible des deux valeurs

Table 9 – 1 500 A, 2 500 A and 5 000 A three-phase GIS-arresters – Required withstand voltages

Type of withstand voltage	Test	Comment
Lightning impulse withstand voltage	Phase-to-earth and phase-to-phase: – withstand voltage of equipment to be protected (see IEC 60071-1) or – phase-to-earth: $1,3 \times$ lightning impulse protection level – phase-to-phase: $1,3 \times$ lightning impulse protection level + $U_c \times \sqrt{2}$	Whichever is lower
Power-frequency withstand voltage	Phase-to-earth and phase-to-phase: – withstand voltage of equipment to be protected (see IEC 60071-1) or – phase-to-earth: $\hat{u}_{ac}$ = lightning impulse protection level – phase-to-phase: $\hat{u}_{ac}$ = lightning impulse protection level + $U_c \times \sqrt{2}$	Whichever is lower

SECTION 11: PARAFOUDRES DÉBROCHABLES ET PARAFOUDRES POUR PRISE

11.1 Généralités

La section 1 s'applique avec le complément suivant:

Cette section s'applique à des parafoudres comportant des enveloppes isolantes et/ou blindées qui assurent l'isolation du système, destinés à être installés dans une enceinte pour la protection des équipements et des circuits de distribution.

11.2 Définitions

Voir section 2.

11.3 Identification du parafoudre

Voir section 3.

11.4 Caractéristiques assignées

La section 4 s'applique avec les modifications suivantes:

11.4.1 Conditions normales de service

- a) La température ambiante de l'air dans l'environnement proche d'un parafoudre pour prise doit être située entre $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ et $+65\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- b) La température maximale d'un parafoudre pour prise résultant de sources de chaleur extérieures dans l'environnement proche du parafoudre ne doit pas dépasser $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$.

11.5 Prescriptions

La section 5 s'applique avec le complément suivant:

Tous les parafoudres débroschables ou pour prise doivent pouvoir résister à la défaillance de leurs résistances non linéaires sans projection de morceaux du parafoudre à travers leur enveloppe, sauf en des points spécifiquement prévus à cet effet.

11.6 Conditions générales d'exécution des essais

Voir section 6.

11.7 Essais de type (essais de conception)

La section 7 s'applique avec les modifications suivantes:

11.7.1 Généralités

Les essais de type à réaliser sur les parafoudres débroschables ou pour prise sont ceux définis dans la section 7, modifiée comme suit:

Les essais de type suivants doivent être effectués en fonction du type du parafoudre:

- 1) Essais de tenue de l'isolation de l'enveloppe du parafoudre, modifiés par 11.7.2.
- 5) Essais de court-circuit selon annexe O, modifié par 11.7.7.

SECTION 11: SEPARABLE AND DEADFRONT ARRESTERS

11.1 General

Section 1 applies with the following addition:

This section applies to arresters designed with insulating and/or shielded housings providing system insulation, intended to be installed in an enclosure for the protection of distribution equipment and circuits.

11.2 Definitions

See section 2.

11.3 Arrester identification

See section 3.

11.4 Standard ratings

Section 4 applies with the following modifications:

11.4.1 Normal service conditions

- a) Ambient air temperature in the general vicinity of deadfront arresters shall be between $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $+65\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- b) Maximum temperature of deadfront arresters due to external heat sources in the general vicinity of the arrester shall not exceed $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$.

11.5 Requirements

Section 5 applies, with the addition of the following:

All separable and deadfront arresters shall be able to withstand resistor failures without ejecting arrester parts through the body of the housing except at places specifically designed for this purpose.

11.6 General testing procedure

See section 6.

11.7 Type tests (design tests)

Section 7 applies with the following modifications:

11.7.1 General

The type tests performed for separable and dead front surge arresters are those defined in section 7, modified as indicated below.

The following type tests shall be carried out depending upon the arrester type:

- 1) Insulation withstand tests on the arrester housing, as modified by 11.7.2.
- 5) Short circuit test according to annex O, as modified by 11.7.7.

- 6) Essais des déconnecteurs\indicateurs de défaut – n'est pas applicable.
- 7) Essais de pollution artificielle de l'annexe F – n'est pas applicable.
NOTE Des essais appropriés sont à l'étude.
- 9) Mesure du taux de fuite– n'est pas applicable.
- 11) Essai en moment de flexion – n'est pas applicable.
- 12) Essai d'environnement – n'est pas applicable.

11.7.2 Essais de tenue de l'isolation de l'enveloppe du parafoudre

Les paragraphes 7.2.1 à 7.2.8 s'appliquent avec les compléments suivants:

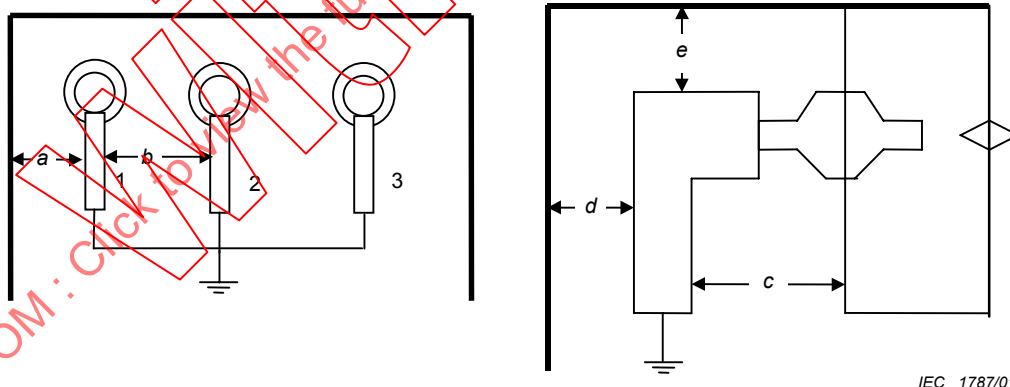
11.7.2.9 Essais de tenue de l'isolation des parafoudres débrochables non blindés

Pour les parafoudres débrochables non blindés dont les distances minimales à respecter sont inférieures à celles spécifiées par la CEI 60071-2, trois échantillons doivent être montés dans une enceinte d'essai mise à la terre, comme cela est représenté à la figure 11. Si l'enceinte d'essai est symétrique, les essais doivent être effectués sur les parafoudres 1 et 2. Si l'enceinte d'essai n'est pas symétrique, les essais doivent être effectués sur les trois parafoudres. Les dimensions minimales a, b, c, d, et e à respecter doivent être précisées dans la documentation fournie par le constructeur. Pour les parafoudres débrochables blindés, les essais se limitent à une seule phase.

Les essais de tenue de l'isolation peuvent être effectués sur des parafoudres comprenant les résistances non linéaires. Dans ce cas, l'échantillon en essai doit être isolé de la terre. Au cours des essais en choc, le parafoudre situé à côté du parafoudre soumis aux essais doit être relié à la terre.

Les conditions d'essais doivent être conformes à celles spécifiées en 7.2.

Les valeurs de tenue de l'isolation doivent être conformes au tableau 10.



IEC 1787/01

Figure 11 – Tensions d'essai de tenue de l'isolation des parafoudres pour prise ou débrochables avec enveloppe blindée

- 6) Tests of arrester disconnectors/fault indicators – does not apply.
- 7) Artificial pollution tests of annex F – does not apply.
NOTE suitable tests are under consideration.
- 9) Seal leak rate test – does not apply.
- 11) Bending moment test – does not apply.
- 12) Environmental test – does not apply.

11.7.2 Insulation withstand tests on the arrester housing

Subclauses 7.2.1 to 7.2.8 apply, with the addition of the following:

11.7.2.9 Insulation withstand tests of unscreened separable arresters

For unscreened separable arresters where the clearances are smaller than that specified in IEC 60071-2, three samples shall be mounted in an earthed test terminal box, as shown in figure 11. Provided that the test box is symmetrical, the test shall be performed on arresters 1 and 2. If the box is not symmetrical, all three arresters shall be tested. The minimum allowable clearances *a*, *b*, *c*, *d*, and *e* shall be stated in the literature included with the arrester. For screened separable arresters, a single-phase test is sufficient.

The insulation withstand tests may be carried out with arresters including the non-linear resistors. In this case, the tested unit shall be isolated from earth potential. During the impulse test, the arrester next to the tested arrester shall be earthed.

Test conditions shall be in accordance with 7.2.

Insulation withstand values shall be in accordance with table 10.

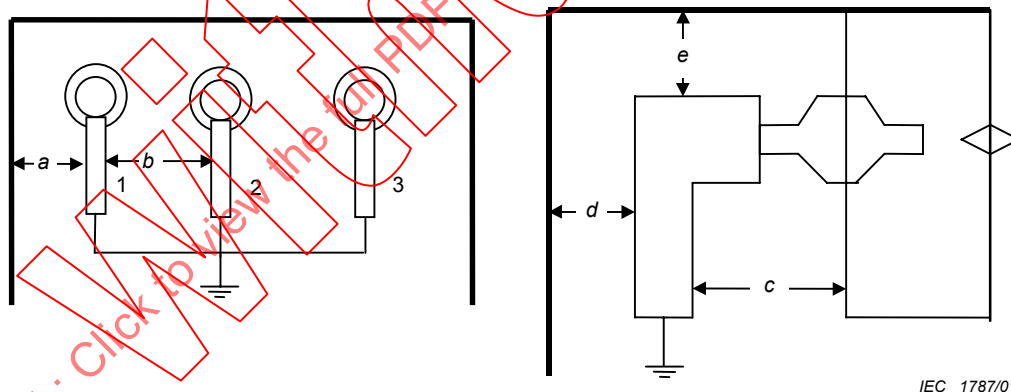


Figure 11 – Test set-up for insulation withstand test of separable arresters in insulating housings

Tableau 10 – Tensions d'essai de tenue de l'isolation des parafoudres débroschables non blindés

Tension la plus élevée pour le matériel kV	Tension d'essai au choc en onde pleine 1,2/50 kV (crête)	Tension d'essai en 50/60 Hz kV (eff.)
12	75	28
17,5	95	38
24	125	50
36	170	70
NOTE Les tensions d'essai sont conformes à la CEI 60694 et à la CEI 60071-1 et, pour les autres valeurs de "tension maximale d'exploitation du réseau", utiliser les tensions d'essai de la CEI 60071-1.		

11.7.2.10 Essais de tenue de l'isolation de l'enveloppe des parafoudres débroschables ou pour prise blindés

Pour les parafoudres débroschables ou pour prises blindés, les résistances non linéaires doivent être retirées et remplacées par un cylindre de métal de même diamètre extérieur. La longueur du cylindre de métal ne doit pas être inférieure aux deux tiers de la longueur totale de l'empilage de résistances. L'extrémité inférieure du cylindre doit avoir une forme permettant de minimiser la contrainte diélectrique (hémisphérique par exemple). Pour l'isolation de l'extrémité inférieure de l'enveloppe blindée, la longueur restante de l'enveloppe doit être remplie d'un matériau isolant (liquide ou solide) afin d'empêcher un claquage dans l'interface au cours de l'essai. La borne haute tension doit être alimentée et l'enveloppe blindée doit être reliée à la terre pendant l'essai.

Les conditions d'essais doivent être conformes à celles spécifiées en 7.2.

Les valeurs de tenue de l'isolation doivent être conformes au tableau 10 ou au tableau 11, selon l'application retenue.

Tableau 11 – Tensions d'essai de tenue de l'isolation de l'enveloppe des parafoudres débroschables ou pour prise blindés

Classe d'isolement du réseau kV	Tension d'essai au choc 1,2/50 en onde pleine kV (crête)	Tension d'essai en 50/60 Hz kV (eff.) pendant 1 min	Tension d'essai en courant continu kV pendant 15 min
15	95	34	53
25	125	40	78
35	150	50	103
NOTE Les tensions d'essai sont conformes à l'IEEE C62.11.			

11.7.3 Essais de vérification des tensions résiduelles

Le paragraphe 7.3 s'applique.

11.7.4 Essai de tenue aux chocs de courant de longue durée

Le paragraphe 7.4 s'applique.

Table 10 – Insulation withstand test voltages for unscreened separable arresters

Highest voltage for equipment kV	Impulse test 1,2/50 full wave kV (peak value)	50/60 Hz test voltage kV (r.m.s.)
12	75	28
17,5	95	38
24	125	50
36	170	70
NOTE Test values are in accordance with IEC 60694 and IEC 60071-1 and, for other values of the "highest voltage for equipment", use the test voltages in IEC 60071-1.		

11.7.2.10 Insulation withstand tests of deadfront or separable arresters in a screened housing

For deadfront or separable arresters in a screened housing, the non-linear resistors shall be removed and replaced by a metal rod of the same outer diameter as the resistors. The length of the metal rod shall be at least two-thirds of the total length of the resistor stack. The lower end of the rod shall be shaped such as to minimise dielectric stress (e.g. semi-spherical). To isolate the housing screen at the lower end, the remaining housing length shall be filled with insulating material (solid or liquid) to prevent interfacial breakdown during the test. The high voltage terminal shall be energized and the screened housing earthed for the test.

Test conditions shall be in accordance with 7.2.

Insulation withstand values shall be in accordance with table 10 or table 11, depending on the intended application.

Table 11 – Insulation withstand test voltages for deadfront arresters or separable arresters in a screened housing

System class rating kV	Impulse test 1,2/50 full wave kV (peak)	50/60 Hz test voltage kV (r.m.s.) applied for 1 min	DC test voltage kV applied for 15 min
15	95	34	53
25	125	40	78
35	150	50	103
NOTE Test values are in accordance with IEEE C62.11.			

11.7.3 Residual voltage tests

Subclause 7.3 applies.

11.7.4 Long duration current impulse withstand test

Subclause 7.4 applies.

11.7.5 Essais de fonctionnement

Le paragraphe 7.5 s'applique avec les exceptions suivantes à 7.5.2.1 et 7.5.2.2:

La tension U_{ct} à appliquer lors de l'essai de vieillissement accéléré doit être égale à celle s'appliquant sur la résistance non linéaire la plus contrainte en tension. Pour des parafoudres blindés, le constructeur doit déterminer cette valeur par calcul. Les parafoudres pour prise doivent être alimentés pendant 2 000 h.

11.7.6 Essais des déconnecteurs\indicateurs de défaut

Le paragraphe 7.6 s'applique.

11.7.7 Essai de court-circuit sur les parafoudres débrochables ou pour prise

L'annexe O s'applique, modifiée comme suit:

En complément au texte de O.7.7.1, ajouter les alinéas suivants:

Tous les parafoudres débrochables ou pour prise doivent pouvoir résister à la défaillance de leurs résistances non linéaires sans projection de morceaux de parafoudre à travers leur enveloppe, sauf en des points spécifiquement prévus à cet effet. Les essais doivent être effectués sur des fractions complètes de parafoudres ayant la tension assignée la plus élevée pour un type et une construction donnés. On doit considérer que ces essais couvrent les parafoudres de tensions assignées inférieures qui sont du même type et de la même conception.

Les échantillons doivent être préparés conformément à O.7.7.2 et au tableau O.2.

11.7.7.3 Montage de l'échantillon en essai

Remplacer le texte de O.7.7.3 par le texte suivant:

Les échantillons de parafoudres pour prise destinés aux essais doivent être montés sur une traversée normalisée afin de simuler les conditions normales de service.

Les essais de court-circuit sur parafoudres débrochables doivent être effectués avec les parafoudres installés dans un compartiment indépendant. Le montage doit être conforme à 10.2.3 de la CEI 61330.

11.7.7.4 Evaluation des résultats d'essais

Remplacer le texte de O.7.7.4 par le suivant:

On doit considérer que le parafoudre n'a pas satisfait à ces essais s'il se produit une rupture explosive de l'enveloppe avec projection de morceaux de parafoudre à travers son enveloppe. La projection de morceaux de parafoudre, y compris les résistances non linéaires, par le fond avec dégagement du capot ou par d'autres points spécifiquement prévus à cet effet est acceptable.

11.7.8 Essai de décharges partielles internes

Le paragraphe 7.8 s'applique, mais les tensions d'essai et les niveaux d'extinction doivent être conformes au tableau 12.

11.7.5 Operating duty tests

Subclause 7.5 applies, with the following exceptions to 7.5.2.1 and 7.5.2.2:

The voltage U_{ct} to be applied during the accelerated ageing procedure shall be equal to that of the highest stressed non-linear resistor. For screened arresters, the manufacturer shall establish this voltage value by calculations. Deadfront arresters shall be energised for 2 000 h.

11.7.6 Tests of disconnectors/fault indicators

Subclause 7.6 applies.

11.7.7 Short-circuit test for separable and deadfront arresters

Annex O applies, modified as follows:

In addition to the text of O.7.7.1, add the following paragraphs.

All separable and deadfront arresters shall be able to withstand resistor failures without ejecting arrester parts through the body of the housing except at places specifically designed for this purpose. The tests shall be made on the highest voltage rating of complete arrester units of a given type and design. These tests shall be considered to substantiate conformance to this standard of lower voltage ratings of the same type and design.

Samples shall be prepared according to O.7.7.2 and table O.2.

11.7.7.3 Mounting of the test sample

Replace the text of O.7.7.3 by the following:

Deadfront arrester test specimens shall be mounted on a standard interface bushing to simulate normal service conditions.

Separable arrester short-circuit tests shall be carried out while installed in the individual compartment. Mounting shall be in accordance with 10.2.3 of IEC 61330.

11.7.7.4 Evaluation of test results

Replace the text of O.7.7.4 by the following:

Fracture of the housing with ejection of arrester parts through the body shall constitute failure of the arrester to pass this test. Ejection of arrester parts including non-linear resistors through the bottom with release of the bottom cap, or through other parts specifically designed for this purpose, is acceptable.

11.7.8 Internal partial discharge test

Subclause 7.8 applies except that test voltages and extinction levels shall be as per table 12.

Tableau 12 – Essais de décharges partielles internes pour les parafoudres débrochables et les parafoudres pour prise

Parafoudres débrochables		Parafoudres pour prise	
Tension la plus élevée pour le matériel	Tension d'essai de décharges partielles (niveau d'extinction)	Classe d'isolement du réseau	Tension d'essai de décharges partielles (niveau d'extinction)
kV	kV (eff.) ^a	kV	kV (eff.)
12	12	15	11
17,5	17,5	25	19
24	24	35	26
36	36	–	–

^a Si U_c est inférieur à la tension maximale d'exploitation, la tension d'essai doit être 1,05 fois U_c .

11.8 Essais individuels et essais de réception

La section 8 s'applique.

SECTION 12: PARAFOUDRES IMMERGES

12.1 Généralités

La section 1 s'applique avec le complément suivant:

Cette section concerne les parafoudres conçus pour être immergés dans un liquide isolant. Elle ne s'applique pas à des appareils non soumis à la tension de service du système (tels que les dispositifs montés sur des changeurs de prises). Ces appareils ne sont pas des parafoudres.

12.2 Définitions

La section 2 s'applique.

12.3 Identification du parafoudre

La section 3 s'applique.

12.4 Caractéristiques assignées

La section 4 s'applique avec les modifications suivantes:

12.4.1 Conditions normales de service

- La température du liquide à proximité immédiate d'un parafoudre immergé doit être comprise entre -40 °C et $+95\text{ °C}$.
- La valeur moyenne journalière de la température maximale du liquide isolant ambiant ne doit pas dépasser $+120\text{ °C}$.

Table 12 – Partial discharge test values for separable and deadfront arresters

Separable arresters		Deadfront arresters	
Highest voltage of equipment	Partial discharge test voltage (extinction level)	System class rating	Partial discharge test voltage (extinction level)
kV	kV (r.m.s.) ^a	kV	kV (r.m.s.)
12	12	15	11
17,5	17,5	25	19
24	24	35	26
36	36	–	–

^a If U_C is lower than the highest voltage of equipment, the test voltage shall be 1,05 times U_C .

11.8 Routine tests and acceptance tests

Section 8 applies.

SECTION 12: LIQUID-IMMERSED ARRESTERS**12.1 General**

Section 1 applies with the following addition:

This section applies to arresters designed to be used immersed in insulating liquid. It does not apply to devices not subjected to the operating voltage of the system (for example devices on tap changers). Such devices are not arresters.

12.2 Definitions

Section 2 applies.

12.3 Arrester identification

Section 3 applies.

12.4 Standard ratings

Section 4 applies with the following modifications:

12.4.1 Normal service conditions

- The ambient liquid temperature in the general vicinity of liquid-immersed arresters shall be between $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $+95\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- The daily average value of the maximum temperature of the ambient insulating liquid shall not exceed $+120\text{ }^{\circ}\text{C}$.

12.5 Prescriptions

La section 5 s'applique avec les compléments suivants:

12.5.1 Essais de court-circuit

Le paragraphe 7.7 s'applique avec les considérations suivantes:

Si un courant assigné de défaillance en circuit ouvert est déclaré, les essais doivent être effectués au plus bas niveau de courant déclaré.

Si un courant assigné de défaillance en court-circuit est déclaré, les essais doivent prendre en compte le plus haut niveau de courant déclaré.

12.6 Conditions générales d'exécution des essais

La section 6 s'applique.

12.7 Essais de type (essais de conception)

La section 7 s'applique avec les modifications suivantes:

12.7.1 Généralités

Les essais de type à réaliser sur les parafoudres immergés sont ceux définis dans la section 7, modifiée comme indiqué ci-après.

Les essais de type suivants doivent être effectués en fonction du type du parafoudre:

- 1) Essais de tenue de l'isolation de l'enveloppe du parafoudre, modifiés par 12.7.2.
- 5) Essais de court-circuit selon annexe O, modifiés par 12.5.1.
- 6) Essais des déconnecteurs/indicateurs de défaut – n'est pas applicable.
- 7) Essais de pollution artificielle de l'annexe F – n'est pas applicable.
- 9) Essai du taux de fuite – n'est pas applicable.
- 11) Essai en moment de flexion – n'est pas applicable.
- 12) Essai d'environnement – n'est pas applicable.

Lorsque les essais sur parafoudres immergés doivent être réalisés dans un liquide isolant, ce liquide doit être celui qui est utilisé dans l'équipement protégé.

12.7.2 Essais de tenue de l'isolation de l'enveloppe du parafoudre

Le paragraphe 7.2 s'applique avec les modifications suivantes:

Le paragraphe 7.2.1 s'applique avec le complément suivant:

Les essais de tenue de l'isolation de l'enveloppe des parafoudres immergés doivent être effectués avec le liquide isolant à température ambiante.

Le paragraphe 7.2.5 n'est pas applicable.

12.5 Requirements

Section 5 applies with following additions:

12.5.1 Short-circuit test

Subclause 7.7 applies with the following considerations:

If a fail-open current rating is claimed, the tests shall be conducted at the lowest current level claimed.

If a fail-short current rating is claimed, the tests shall include the highest current level claimed.

12.6 General testing procedure

Section 6 applies.

12.7 Type tests (design tests)

Section 7 applies with the following modifications:

12.7.1 General

The type tests performed for liquid immersed surge arresters are those defined in section 7, modified as indicated below.

The following type tests shall be carried out depending upon the arrester type:

- 1) Insulation withstand tests on the arrester housing, modified by 12.7.2.
- 5) Short circuit tests according to annex G, modified by 12.5.1.
- 6) Tests of arrester disconnectors/fault indicators – does not apply.
- 7) Artificial pollution tests of annex F – do not apply.
- 9) Seal leak rate test – does not apply.
- 11) Bending moment test – does not apply.
- 12) Environmental test – does not apply.

For liquid-immersed arresters, when testing in insulating liquid is required, the liquid shall be that which is used in the protected equipment.

12.7.2 Insulation withstand test on the arrester housing

Subclause 7.2 applies with following modifications.

Subclause 7.2.1 applies with the following addition:

The insulation withstand tests for liquid-immersed arresters shall be performed in insulating liquid at room temperature.

Subclause 7.2.5 does not apply.

12.7.5 Essais de fonctionnement

12.7.5.2 Essai de vieillissement accéléré

Le paragraphe 7.5 s'applique avec les exceptions suivantes à 7.5.2.1, 7.5.2.2 et 7.5.4.2:

Exceptions à 7.5.2.1 et 7.5.2.2:

Les parafoudres immergés doivent être alimentés pendant 7 000 h.

La durée des essais peut être ramenée à une valeur moindre mais jamais inférieure à 2 000 h après accord entre le constructeur et l'utilisateur. Cela peut être réalisé en mesurant la puissance absorbée par les résistances au moins une fois toutes les 100 h, puis en extrapolant pour 7 000 h à l'aide d'une droite tracée sur un graphique représentant la puissance absorbée en fonction de la racine carrée du temps, depuis la plus faible valeur mesurée jusqu'à la plus forte valeur mesurée.

Exception à 7.5.4.2:

Au début de l'essai de fonctionnement, le parafoudre doit être immergé dans un liquide isolant à $120\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ K}$.

12.7.7 Essais de court-circuit pour parafoudres immergés

L'annexe O s'applique avec les modifications suivantes:

Ajouter les alinéas suivants à O.7.7.1:

Les parafoudres immergés peuvent être soit du type «défaillance en circuit ouvert», soit du type «défaillance en court-circuit». Il est reconnu que la défaillance d'un parafoudre du type «défaillance en circuit ouvert» ne se soldera pas toujours par un circuit ouvert pour des courants de défaut inférieurs à la valeur de son courant assigné de défaillance en circuit ouvert. Il est également reconnu que la défaillance d'un parafoudre du type «défaillance en court-circuit» ne se soldera pas toujours par un court-circuit pour des courants de défaut supérieurs à la valeur de son courant assigné de défaillance en court-circuit.

NOTE Le mode «défaillance en circuit ouvert» n'implique pas que le parafoudre coupera le circuit. La défaillance d'un parafoudre initie un courant de court-circuit qu'il faut couper par un dispositif de protection contre les surintensités. Après élimination du défaut par d'autres appareils, un parafoudre défaillant du type «défaillance en circuit ouvert» permet la remise sous tension de l'équipement protégé, évidemment sans protection contre les surtensions.

Ajouter, après O.7.7.1, le texte suivant:

12.7.7.1 Echantillons pour essais

Les essais doivent être effectués sur trois échantillons de parafoudres complets de tension assignée la plus faible et trois échantillons de la tension assignée plus élevée, pour chaque type et chaque construction pour lesquels une valeur de courant assigné de défaillance en circuit ouvert ou en court-circuit est déclarée. On doit considérer que ces essais couvrent les parafoudres de tensions assignées intermédiaires qui sont du même type et de la même conception.

Pour les parafoudres du type «défaillance en circuit ouvert», tous les échantillons sont testés à la plus faible valeur annoncée pour le courant assigné de «défaillance en circuit ouvert». Aucun échantillon n'est testé au courant de court-circuit de faible amplitude qui pourrait être inférieur au courant assigné de défaillance en circuit ouvert.

12.7.5 Operating duty tests

12.7.5.2 Accelerated ageing procedure

Subclause 7.5 applies, with the following exceptions to 7.5.2.1, 7.5.2.2 and 7.5.4.2:

Exception to 7.5.2.1 and 7.5.2.2:

Liquid-immersed arresters shall be energised for 7 000 h.

Test time may be reduced to not less than 2 000 h by agreement between manufacturer and user. This can be accomplished by monitoring the resistor power losses at least once every 100 h period, then extrapolating to 7 000 h using a straight line on a plot of power losses versus the square root of time from the lowest measured value through to the highest measured value.

Exception to 7.5.4.2:

At the beginning of the operating duty test, the arrester shall be immersed in insulating liquid at $120\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ K}$.

12.7.7 Short-circuit test for liquid-immersed arresters

Annex O applies with the following modifications.

Add the following paragraphs to O.7.7.1:

Liquid-immersed arresters may be designed as either "fail-open" or "fail-short". It is recognised that a fail-open design arrester will not always fail in an open circuit mode for fault currents below its fail-open rating, and that a fail-short design arrester will not always fail in a short-circuit mode for available fault currents above its fail-short rating.

NOTE "Fail-open" does not imply that the arrester will interrupt the circuit. All arrester failures initiate short-circuit current which must be interrupted by an overcurrent protective device. After other devices clear the fault, the fail-open arrester allows re-energization of the protected equipment with, of course, no overvoltage protection.

Add, after O.7.7.1, the following text:

12.7.7.1 Test specimens

The tests shall be run on each of three of the lowest and highest voltage ratings of a complete single arrester unit for each type and design for which a fail-open or fail-short current rating is claimed. These tests shall be considered to substantiate conformance to this standard for intermediate voltage ratings of the same type and design.

For fail-open design arresters, all specimens are tested at the lowest claimed fail-open current level. No samples are tested at the "low short-circuit current" level which may be below the fail-open current rating.

Pour les parafoudres du type «défaillance en circuit fermé», un échantillon doit être testé pour chacun des trois niveaux de courant conformément à O.7.7.5. La valeur du courant assigné de défaillance en court-circuit peut être différente de toutes les valeurs données dans le tableau O.3 et doit être choisie par le fabricant. Les deux niveaux de courant réduit de court-circuit doivent être sélectionnés d'après le tableau O.3. Un échantillon supplémentaire doit être testé conformément aux conditions spécifiées en O.7.7.6.

12.7.7.3 Montage de l'échantillon en essai

Remplacer le texte de O.7.7.3 par le suivant:

Les échantillons en essai doivent être montés dans la position correspondant à celle prévue en service. Le parafoudre doit être immergé dans le liquide isolant dans un conteneur suffisamment large pour ne pas influencer le comportement de l'arc.

12.7.7.4 Evaluation des résultats d'essais

Remplacer le texte de O.7.7.4 par le suivant:

La conformité des échantillons en essai à la présente norme doit être établie de la manière suivante:

- a) d'après les enregistrements oscillographiques portant sur l'amplitude et la durée du passage de courant au cours des essais;
- b) d'après les résultats de l'essai de tenue en tension suivant qui peut être effectué à tout moment après le court-circuit. Les échantillons doivent être alimentés sous la tension U_c par un circuit qui limite le courant à une valeur connue pendant 1 min au cours de laquelle
 - 1) soit aucun passage de courant important n'est constaté dans le cas d'un parafoudre du type «défaillance en circuit ouvert»;
 - 2) soit le passage d'un courant important est constaté dans le cas d'un parafoudre du type «défaillance en court-circuit»;
- c) d'après l'aspect physique des échantillons après essais.

Tous les échantillons testés doivent satisfaire à ces exigences.

12.7.7.5 Essais de court-circuit à courants de forte amplitude

Le paragraphe O.7.7.5 s'applique avec les compléments suivants:

Pour les parafoudres du type «défaillance en circuit ouvert», l'impédance du circuit d'essai doit être ajustée pour qu'un courant au plus égal au courant assigné de défaillance en circuit ouvert circule dans le parafoudre. La valeur du courant assigné de défaillance en circuit ouvert pouvant être déclarée correspond au courant symétrique efficace le plus élevé mesuré pour tous les échantillons au cours des essais.

Pour les parafoudres du type «défaillance en court-circuit», l'impédance du circuit doit être ajustée pour qu'un courant au moins égal au courant assigné de défaillance en court-circuit circule dans le parafoudre. La valeur du courant assigné de défaillance en court-circuit pouvant être déclarée correspond au courant symétrique efficace le plus faible mesuré pour tous les échantillons au cours des essais.

12.8 Essais individuels et essais de réception

La section 8 s'applique.

For fail-short design arresters, one sample shall be tested at each of the three current levels as per O.7.7.5. The nominal short-circuit level may be different from that listed in table O.3, and shall be selected by the manufacturer. The two reduced short circuit current levels shall be selected from table O.3. One additional sample shall be tested as per O.7.7.6.

12.7.7.3 Mounting of the test samples:

Replace the text of O.7.7.3 by the following:

The test samples shall be mounted in the position intended to be used when mounted in service. The arrester shall be immersed in insulating liquid in a container sufficiently large that it does not become involved in arcing activity.

12.7.7.4 Evaluation of test results

Replace the text of O.7.7.4 by the following:

The conformance of the test specimens with this standard shall be judged by the following:

- a) from the oscillographic recordings showing test current amplitude and duration;
- b) from the results of the following voltage withstand test made at any time after the short-circuit event. The specimen shall be energised at U_c in a circuit with limited, but known available current for a period of 1 min during which time
 - 1) substantially no current flows in the case of a fail-open design arrester, or
 - 2) substantially full available current flows in the case of a fail-short design arrester;
- c) from the physical appearance of the specimens after the test.

All tested specimens shall meet these requirements.

12.7.7.5 High current short-circuit tests

Subclause O.7.7.5 applies with the following addition:

For fail-open design arresters, the impedance of the test circuit shall be adjusted to produce not more than the fail-open current rating of the arrester through the specimen. The fail-open rating which can be claimed is the highest measured r.m.s. symmetrical current which flows in any specimen during the test.

For fail-short design arresters, the impedance of the circuit shall be adjusted to produce not less than the fail-short current rating of the arrester through the specimen. The fail-short rating which can be claimed is the lowest measured r.m.s. symmetrical current which flows through any specimen during the nominal current test.

12.8 Routine tests and acceptance tests

Section 8 applies.

SECTION 13: PRESCRIPTIONS MÉCANIQUES POUR LES PARAFOUDRES

13.1 Généralités

Cette section concerne tous les parafoudres pour des applications à isolation dans l'air utilisant des enveloppes en porcelaine ou en matériau synthétique.

Elle ne spécifie que les essais de type (essais de conception).

Les parafoudres sous enveloppe métallique à isolation gazeuse et les autres conceptions particulières peuvent nécessiter des essais particuliers.

13.1.2 Références

Le paragraphe 1.2 s'applique.

13.2 Définitions

La section 2 s'applique.

13.3 Identification et classification

La section 3 s'applique.

13.4 Caractéristiques assignées

La section 4 s'applique à l'exception des modifications suivantes:

13.4.1 Conditions normales de service

Le paragraphe 4.4.1 s'applique avec les compléments suivants:

- vitesse du vent ≤ 34 m/s;
- montage vertical.

13.4.2 Conditions anormales de service

Le paragraphe 4.4.2 s'applique avec les modifications suivantes:

Les parafoudres soumis à des conditions de service autres que normales peuvent nécessiter une conception, une fabrication ou une application particulière.

En cas de conditions anormales de service, l'utilisation de cet article est soumise à accord entre constructeur et utilisateur. Une liste des conditions anormales de service est donnée à l'annexe A.

Les conditions anormales de service s'ajoutant à celles données à l'annexe A sont les suivantes:

- vitesse du vent > 34 m/s;
- température ambiante de l'air inférieure à -40 °C ou supérieure à $+40$ °C;
- montage non vertical et montage suspendu;
- tremblements de terre (voir article N.2);
- effort de torsion appliqué au parafoudre;
- effort de traction appliqué au parafoudre;
- utilisation du parafoudre comme support mécanique.

SECTION 13: MECHANICAL CONSIDERATIONS FOR SURGE ARRESTERS

13.1 General

This section applies to all surge arresters for air insulated application using porcelain or polymer housings.

It specifies only type tests (design tests).

Gas-insulated metal enclosed arresters (GIS-arresters) and other special designs may require special consideration (tests).

13.1.2 References

Subclause 1.2 applies.

13.2 Definitions

Section 2 applies.

13.3 Identification and classification

Section 3 applies.

13.4 Standard ratings

Section 4 applies, except for the following:

13.4.1 Normal service conditions

Subclause 4.4.1 applies with the following addition:

- wind speeds ≤ 34 m/s;
- vertical erection.

13.4.2 Abnormal service conditions

Subclause 4.4.2 applies with the following modification:

Surge arresters subject to other than normal application or service conditions may require special consideration in design, manufacture or application.

In the case of abnormal service conditions the use of this section is subject to agreement between the manufacturer and the user. A list of abnormal service conditions is given in annex A.

Additional abnormal service conditions to those given in annex A are:

- wind speed > 34 m/s;
- ambient air temperature below -40 °C or above $+40$ °C;
- non-vertical erection and suspended erection;
- earthquake (see clause N.2));
- torsional loading of the arrester;
- tensile loading of the arrester;
- use of the arrester as a mechanical support.

13.5 Prescriptions

13.5.1 Moment de flexion

Le parafoudre doit être capable de résister aux moments de flexion déclarés par le constructeur.

NOTE 1 Lors de la détermination de l'effort dynamique appliqué au parafoudre, il est recommandé que l'utilisateur prenne en compte le vent, la glace et les forces électromagnétiques susceptibles d'affecter l'installation.

NOTE 2 Il convient que les parafoudres emballés résistent aux contraintes de transport définies par l'utilisateur conformément à la CEI 60721-3-2, qui ne soient jamais inférieures à la classe 2M1.

NOTE 3 Contrairement aux parafoudres à enveloppe porcelaine, les parafoudres à enveloppe synthétique peuvent présenter des déformations mécaniques en service.

13.5.2 Résistance aux agressions extérieures

Le parafoudre doit résister aux contraintes d'environnement spécifiées en 13.7.3.

13.5.3 Embase isolante

Si un parafoudre est fixé sur une embase isolante, elle doit résister sans dommages aux essais suivants, qui pourraient en affecter le fonctionnement normal.

- essai en moment de flexion, voir 13.7.2;
- essais d'environnement, voir 13.7.3.

13.6 Conditions générales d'exécution des essais

La section 6 s'applique.

13.7 Essais de type (essais de conception)

13.7.1 Généralités

Sauf indication contraire, tous les essais de type doivent être effectués sur trois parafoudres, unités ou fractions de parafoudre. Chaque essai (voir 13.7.2, 13.7.3 et 13.7.4) doit être effectué sur des échantillons neufs, propres et complètement assemblés, si cela est applicable pour les conditions d'essais. Pour chaque essai, chaque séquence d'essai doit être réalisée sur les mêmes échantillons. Sauf indication contraire, tous les essais doivent être effectués dans les conditions les plus proches de la réalité.

Si les essais sont effectués sur des fractions, il est nécessaire qu'elles représentent le comportement le plus sévère de tous les parafoudres entrant dans les tolérances du constructeur en regard d'un essai spécifique.

13.7.2 Essai en moment de flexion

13.7.2.1 Généralités

Cet essai démontre la capacité du parafoudre à résister aux valeurs déclarées par le constructeur pour les moments de flexion. 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 est applicable à tous les parafoudres correspondant à une classe de décharge et comportant une embase. Ces parafoudres sont constitués d'une ou plusieurs unités. Ils sont adaptés aux tensions les plus élevées des réseaux.

13.5 Requirements

13.5.1 Bending moment

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

NOTE 1 When determining the dynamic load applied to a surge arrester, the user should consider for example, wind, ice and electromagnetic forces likely to affect the installation.

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

NOTE 3 Unlike porcelain housed arresters, polymer housed arresters may show mechanical deflections in service.

13.5.2 Resistance against environmental stresses

The arrester shall be able to withstand environmental stresses as defined in 13.7.3.

13.5.3 Insulating base

When an arrester is fitted with an insulating base, this device shall withstand each of the following tests without any damage, which could affect its normal function:

- test of the bending moment, see 13.7.2;
- environmental tests, see 13.7.3.

13.6 General testing procedure

Section 6 applies.

13.7 Type tests (design tests)

13.7.1 General

All type tests shall be conducted on three arresters, arrester units or arrester sections unless otherwise specified. Each test (see 13.7.2, 13.7.3 and 13.7.4) shall be performed on test samples which are new and clean and which are completely assembled, if applicable to the test condition. Within each test, the sub-tests shall be performed on the same samples. Unless otherwise specified, all tests shall be arranged as nearly as possible to simulate in-service conditions.

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

13.7.2 Test of the bending moment

13.7.2.1 General

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 is applicable to all surge arresters designated with a line discharge class and which are base mounted. These arresters consist of one or several units. They are applied up to the highest system voltages.

L'essai doit être effectué sur le parafoudre complet ou sur l'unité complète. Les échantillons doivent être installés en position verticale. Ils doivent être fixés sur la base du montage d'essai avec leurs fixations normales. L'effort doit être appliqué sur l'extrémité libre du parafoudre. La direction de l'effort doit passer par l'axe longitudinal du parafoudre et lui être perpendiculaire dans la ligne de résistance mécanique la plus faible (position initiale du parafoudre: axe longitudinal dans le sens vertical). Le constructeur doit donner des indications sur la ligne de résistance mécanique la plus faible.

Si un parafoudre comporte plus d'une unité ou s'il supporte des moments de flexion différents à chaque extrémité, des essais doivent être effectués pour évaluer chacun des moments de flexion avec des efforts déterminés conformément à l'article N.1.

Pour les parafoudres à enveloppe porcelaine et à enveloppe en résine moulée, l'effort appliqué doit être l'effort dynamique maximal admissible en flexion (MPDSL), c'est-à-dire la valeur 100 % de l'article N.3.

Pour les parafoudres à enveloppe en matériau synthétique (autre que résine moulée), l'effort appliqué doit être l'effort maximal admissible en flexion (MPSL), c'est-à-dire la valeur 100 % de l'article N.3.

Les essais doivent être effectués sans pression interne.

NOTE Les parafoudres à enveloppe synthétique sont aussi soumis à l'essai contre la pénétration d'humidité (voir 9.7.9) où l'effort maximal de flexion permanente est appliqué dans différentes directions et sous différentes températures.

13.7.2.2 Parafoudres à enveloppe porcelaine

13.7.2.2.1 Préparation des échantillons

Les échantillons d'essai doivent contenir les éléments internes.

Avant les essais, chaque échantillon doit être soumis à une mesure du taux de fuite (voir 8.1 d)) et à un essai de décharges partielles internes (voir 8.1 c)).

13.7.2.2.2 Procédure d'essai

Le moment de flexion doit être progressivement augmenté jusqu'à la valeur d'essai en 30 s à 90 s. Lorsque l'effort requis est atteint, il doit être maintenu pendant 60 s à 90 s. Durant cette période de temps, la déformation doit être mesurée. Puis l'effort doit être progressivement relâché et la déformation résiduelle doit être relevée.

NOTE Il est recommandé d'effectuer l'essai avec précaution car l'enveloppe d'un parafoudre peut se casser et éclater lors de sa mise sous contrainte.

13.7.2.2.3 Evaluation de l'essai

Le parafoudre doit satisfaire aux exigences suivantes:

- aucun dommage mécanique n'est visible;
 - l'évolution de la déformation pendant l'effort ne présente pas de discontinuité;
 - la flèche de l'enveloppe après relaxation du moment de flexion est dans la limite de ± 5 % de sa flèche initiale;
- NOTE La valeur de ± 5 % est donnée pour information et est toujours à l'étude.
- la mesure du taux de fuite conformément à 8.1 d) est satisfaisante;
 - le niveau de décharges partielles internes ne dépasse pas celui donné en 8.1 c).

The test shall be performed on complete arresters or arrester units. The test samples shall be mounted in the upright position. They shall be attached to the mounting surface of the testing machine by their normal method of mounting. The load shall be applied to the free end of the arrester. The direction of the load shall pass through the longitudinal axis of the arrester and shall be perpendicular to it in the direction of the lowest mechanical strength (initial arrester position: longitudinal axis in the vertical direction). The manufacturer shall give information concerning the lowest mechanical strength.

Where an arrester contains more than one unit or where the arrester has different specified bending moments in both ends, tests shall be performed to evaluate each different specified bending moment with loads determined according to clause N.1.

For arresters with porcelain and cast resin housing, the test load shall be the maximum permissible dynamic service load (MPDSL), i.e. the 100 % value of clause N.3.

For arresters with polymer (except cast resin) housing, the test load shall be the maximum permissible service load (MPSL), i.e. the 100 % value of clause N.3.

The tests shall be carried out without internal pressure.

NOTE Polymer housed arresters are additionally subjected to the moisture ingress test (see 9.7.9), where the maximum continuous cantilever load is applied in different directions and under different temperatures.

13.7.2.2 Porcelain housed arresters

13.7.2.2.1 Sample preparation

The test samples shall contain the internal parts.

Prior to the tests, each test sample shall be subjected to a leakage check (see 8.1 d)) and an internal partial discharge test (see 8.1 c)).

13.7.2.2.2 Test procedure

The bending load shall be increased smoothly to the test load 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.

NOTE Care should be taken because the housing of an arrester can break and splinter while tension is applied.

13.7.2.2.3 Test evaluation

The arrester shall be considered satisfactory if the following is demonstrated:

- no visible mechanical damage;
 - a force-deflection curve without discontinuity;
 - the strain condition of the housing after removal of the bending load is within ± 5 % of the strain condition before application of the bending load;
- NOTE The value of ± 5 % is given for guidance and is still under consideration.
- a successful leakage check in accordance with 8.1 d);
 - internal partial discharge level not exceeding the value specified in 8.1 c).

13.7.2.3 Parafoudres à enveloppe synthétique avec volume interne de gaz et système d'étanchéité séparé

13.7.2.3.1 Préparation des échantillons

Les échantillons en essai doivent contenir les éléments internes.

Avant les essais, chaque échantillon doit être soumis aux essais suivants:

- essais électriques de 9.7.9.1;
- mesure du taux de fuite conformément à 8.1 d).

13.7.2.3.2 Procédure d'essai

Le moment de flexion doit être progressivement augmenté jusqu'à la valeur d'essai en 30 s à 90 s. Lorsque l'effort requis est atteint, il doit être maintenu pendant 60 s à 90 s. Durant cette période de temps, la déformation doit être mesurée. Puis l'effort est progressivement relâché et la déformation résiduelle doit être relevée.

NOTE Il est recommandé d'effectuer l'essai avec précaution car l'enveloppe d'un parafoudre peut se casser et éclater lors de sa mise sous contrainte.

13.7.2.3.3 Evaluation de l'essai

Le parafoudre doit être considéré satisfaisant si les critères suivants sont remplis:

- aucun dommage mécanique n'est visible;
- l'évolution de la déformation pendant l'effort ne présente pas de discontinuité;
- la flèche de l'enveloppe après relaxation du moment de flexion est dans la limite de $\pm 5\%$ de sa flèche initiale;

NOTE La valeur de $\pm 5\%$ est donnée pour information et est toujours à l'étude. La réversibilité dépend du matériau le moins résistant. Si des jauges de contrainte sont utilisées, même si la valeur de $\pm 5\%$ est satisfaite, il peut apparaître des craquelures n'affectant pas les surfaces sur lesquelles les jauges de contraintes sont fixées (par exemple craquelures laminaires internes).

- la mesure du taux de fuite conformément à 8.1 d) est satisfaisante.

L'échantillon doit ensuite être soumis à l'essai d'immersion dans de l'eau (voir 9.7.9.3). Il doit être considéré comme satisfaisant si les essais suivants sont positifs:

- essais électriques selon 9.7.9.4.

13.7.2.4 Parafoudres à enveloppe synthétique sans volume interne de gaz

13.7.2.4.1 Préparation des échantillons

Les échantillons d'essai doivent contenir leurs éléments internes.

Avant les essais, chaque échantillon doit être soumis aux essais électriques conformément à 9.7.9.1.

13.7.2.4.2 Procédure d'essai

Le moment de flexion doit être progressivement augmenté jusqu'à la valeur d'essai en 30 s à 90 s. Lorsque l'effort requis est atteint, il doit être maintenu pendant 60 s à 90 s. Durant cette période de temps, la déformation doit être mesurée. Puis l'effort est progressivement relâché et la déformation résiduelle doit être relevée.

NOTE Il est recommandé d'effectuer l'essai avec précaution car l'enveloppe d'un parafoudre peut se casser et éclater lors de sa mise sous contrainte.

13.7.2.3 Polymer housed arresters with enclosed gas volume and a separate sealing system

13.7.2.3.1 Sample preparation

The test samples shall contain the internal parts.

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

- electrical tests of 9.7.9.1;
- leakage check in accordance with 8.1 d).

13.7.2.3.2 Test procedure

The bending load shall be increased smoothly to the test load 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.

NOTE Care should be taken because the housing of an arrester can break and splinter while tension is applied.

13.7.2.3.3 Test evaluation

The arrester shall be considered satisfactory if the following is demonstrated:

- no visible mechanical damage;
- a force-deflection curve without discontinuity;
- the strain condition of the housing after removal of the bending load is within $\pm 5\%$ of the strain condition before the application of the bending load;

NOTE The value of $\pm 5\%$ is given for guidance and is still under consideration. Reversibility depends on the weakest load-carrying material. If strain gauges are used, even if the $\pm 5\%$ value is fulfilled, there might be cracks not affecting the surfaces where strain gauges are fastened (e.g. inner laminar cracks).

- a successful leakage check in accordance with 8.1 d).

The test sample shall then be subjected to the water immersion test (see 9.7.9.3). It shall be considered satisfactory if the following is then successfully demonstrated:

- electrical tests of 9.7.9.4.

13.7.2.4 Polymer housed arresters without enclosed gas volume

13.7.2.4.1 Sample preparation

The test samples shall contain the internal parts.

Prior to testing, each test sample shall be subjected to the electrical tests of 9.7.9.1.

13.7.2.4.2 Test procedure

The bending load shall be increased smoothly to the test load 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.

NOTE Care should be taken because the housing of an arrester can break and splinter while tension is applied.

13.7.2.4.3 Evaluation de l'essai

Le parafoudre doit être considéré comme satisfaisant si les exigences suivantes sont respectées:

- aucun dommage mécanique n'est visible;
- l'évolution de la déformation pendant l'effort ne présente pas de discontinuité;
- la flèche de l'enveloppe après relaxation du moment de flexion est dans la limite de $\pm 5\%$ de sa flèche initiale;

NOTE La valeur de $\pm 5\%$ est donnée pour information et est toujours à l'étude. La réversibilité dépend du matériau le moins résistant. Si des jauges de contrainte sont utilisées, même si la valeur de $\pm 5\%$ est satisfaite, il peut apparaître des craquelures n'affectant pas les surfaces sur lesquelles les jauges de contraintes sont fixées (par exemple craquelures laminaires internes).

L'échantillon doit ensuite être soumis à l'essai d'immersion dans de l'eau (voir 9.7.9.3). Il doit être considéré comme satisfaisant si les essais suivants sont positifs:

- essais électriques selon 9.7.9.4.

13.7.3 Essais d'environnement

13.7.3.1 Généralités

Les essais d'environnement démontrent par des procédures d'essai accéléré que le système d'étanchéité et les interfaces métalliques exposés du parafoudre ne sont pas affectés par les conditions environnementales.

Les parafoudres qui ne diffèrent qu'en termes de dimensions, qui sont d'une même conception et utilisent les mêmes matériaux, sont considérés du même type.

Pour les parafoudres avec volume interne de gaz et système d'étanchéité séparé, les éléments internes peuvent être retirés.

Les essais spécifiés ci-après (voir 13.7.3.3) doivent être effectués successivement sur un échantillon.

Le cycle de température doit être appliqué en premier.

13.7.3.2 Préparation des échantillons

Avant les essais, l'échantillon doit être soumis aux essais suivants spécifiés en 8.1:

- c) mesure des décharges partielles internes (seulement pour les parafoudres à enveloppe synthétique sans volume interne de gaz);
- d) mesure du taux de fuite (seulement pour les parafoudres à enveloppe porcelaine et les parafoudres à enveloppe synthétique avec volume interne de gaz et système d'étanchéité séparé).

13.7.3.3 Procédure d'essais

13.7.3.3.1 Essai de cycles de températures

Cet essai n'est applicable qu'aux parafoudres à enveloppe porcelaine.

NOTE Les parafoudres à enveloppe synthétique sont également soumis à l'essai contre la pénétration d'humidité (voir 9.7.9) où l'effort maximal de flexion permanente est appliqué dans différentes directions et sous différentes températures.

13.7.2.4.3 Test evaluation

The arrester shall be considered satisfactory if the following is demonstrated:

- no visible mechanical damage;
- a force-deflection curve without discontinuity;
- the strain condition of the housing after removal of the bending load is within $\pm 5\%$ of the strain condition before the application of the bending load;

NOTE The value of $\pm 5\%$ is given for guidance and is still under consideration. Reversibility depends on the weakest load carrying material. If strain gauges are used, even if the $\pm 5\%$ value is fulfilled, there might be cracks not effecting the surfaces where strain gauges are fastened (e.g. inner laminar cracks).

The test sample shall then be subjected to the water immersion test (see 9.7.9.3). It shall be considered satisfactory if the following is then successfully demonstrated:

- electrical tests of 9.7.9.4.

13.7.3 Environmental tests

13.7.3.1 General

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.

Arresters, which differ only in terms of their dimensions, and which are otherwise based on the same design and material, are considered to be the same type of arrester.

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

The tests specified below (see 13.7.3.3) shall be performed one after the other on one sample.

The temperature cycling test shall be carried out first.

13.7.3.2 Sample preparation

Prior to the tests, the test sample shall be subjected to the following tests according to 8.1:

- c) measurement of internal partial discharges (only for polymer housed arresters without enclosed gas volume),
- d) leakage check (only for porcelain housed arresters and polymer housed arresters with enclosed gas volume and a separable sealing system).

13.7.3.3 Test procedure

13.7.3.3.1 Temperature cycling test

This test applies to porcelain housed arresters only.

NOTE Polymer housed arresters are subjected to the moisture ingress test (see 9.7.9), where the maximum continuous cantilever load is applied in different directions and under different temperatures.

L'essai doit être réalisé conformément à l'essai Nb de la CEI 60068-2-14.

La période chaude doit correspondre à une température d'au moins +40 °C, mais sans excéder +70 °C. La période froide doit correspondre à une température inférieure d'au moins 85 K à la température 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.

13.7.3.3.2 Essai au dioxyde de soufre

L'essai doit être effectué conformément aux articles 4 et 6, s'ils sont applicables, de la CEI 60068-2-42.

- concentration en dioxyde sulfurique: $2,5 \times 10^{-6}$ ($\pm 5 \times 10^{-6}$) (vol./vol.);
- durée de l'essai: 21 jours (20 cycles de 24 h chacun).

13.7.3.3.3 Essai au brouillard salin

L'essai doit être effectué conformément à l'article 4 et à 7.6, s'ils sont applicables, de la CEI 60068-2-11.

- concentration en sel: 5 % $\pm$ 1 % en poids;
- durée de l'essai: 96 h.

13.7.3.4 Evaluation de l'essai

Les mesures effectuées avant l'essai doivent être répétées. Le parafoudre doit être considéré comme satisfaisant si les critères suivants sont remplis:

- aucun dommage mécanique visible;
- niveau de décharges partielles internes ne dépassant pas la valeur spécifiée en 8.1 c) (seulement pour les parafoudres à enveloppe synthétique sans volume interne de gaz);
- mesure du taux de fuite conformément à 8.1 d) satisfaisante (seulement pour les parafoudres à enveloppe porcelaine et les parafoudres à enveloppe synthétique avec volume interne de gaz et système d'étanchéité séparé).

13.7.4 Essai de mesure du taux de fuite

13.7.4.1 Généralités

Cet essai démontre l'étanchéité aux gaz et à l'eau de l'assemblage complet du parafoudre. Il s'applique à tous les parafoudres à enveloppe porcelaine et aux parafoudres à enveloppe synthétique comportant des joints et composants associés qui sont essentiels pour maintenir une atmosphère contrôlée à l'intérieur de l'enveloppe (parafoudres avec volume interne de gaz et système d'étanchéité séparé).

NOTE La résistance des diverses interfaces des parafoudres à enveloppe synthétique contre la pénétration d'humidité est évaluée lors de l'essai d'étanchéité (voir 9.7.9).

L'essai doit être réalisé sur une unité complète. Les éléments internes peuvent être retirés. Si le parafoudre contient des éléments avec systèmes d'étanchéité différents, l'essai doit être réalisé sur chaque élément ayant un système d'étanchéité différent.

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.

13.7.3.3.2 Sulphur dioxide test

The test shall be performed according to clauses 4 and 6, as applicable, of IEC 60068-2-42:

- sulphur dioxide concentration: 25×10^{-6} ($\pm 5 \times 10^{-6}$) (vol./vol.);
- test duration: 21 days (20 cycles of 24 h each).

13.7.3.3.3 Salt mist test

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

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

13.7.3.4 Test evaluation

The measurements performed before the test shall be repeated. The arrester shall be considered satisfactory if the results demonstrate the following:

- no visible mechanical damage;
- internal partial discharge level not exceeding the value specified in 8.1 c) (only for polymer housed arresters without enclosed gas volume);
- a successful leakage check according to 8.1 d) (only for porcelain housed arresters and polymer housed arresters with enclosed gas volume and a separable sealing system).

13.7.4 Seal leak rate test

13.7.4.1 General

This test demonstrates the gas/water-tightness of the complete system. It applies to all arresters employing porcelain housings and to arresters with polymer housings having seals and associated components essential for maintaining a controlled atmosphere within the housing (arresters with enclosed gas volume and a separate sealing system).

NOTE The resistance of the various interfaces of polymer housed arresters against moisture ingress are tested in the moisture ingress test (see 9.7.9).

The 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.

13.7.4.2 Préparation des échantillons

L'échantillon en essai doit être neuf et propre.

13.7.4.3 Procédure d'essai

Le constructeur peut utiliser toute méthode appropriée à la mesure d'un taux de fuite dans les limites spécifiées.

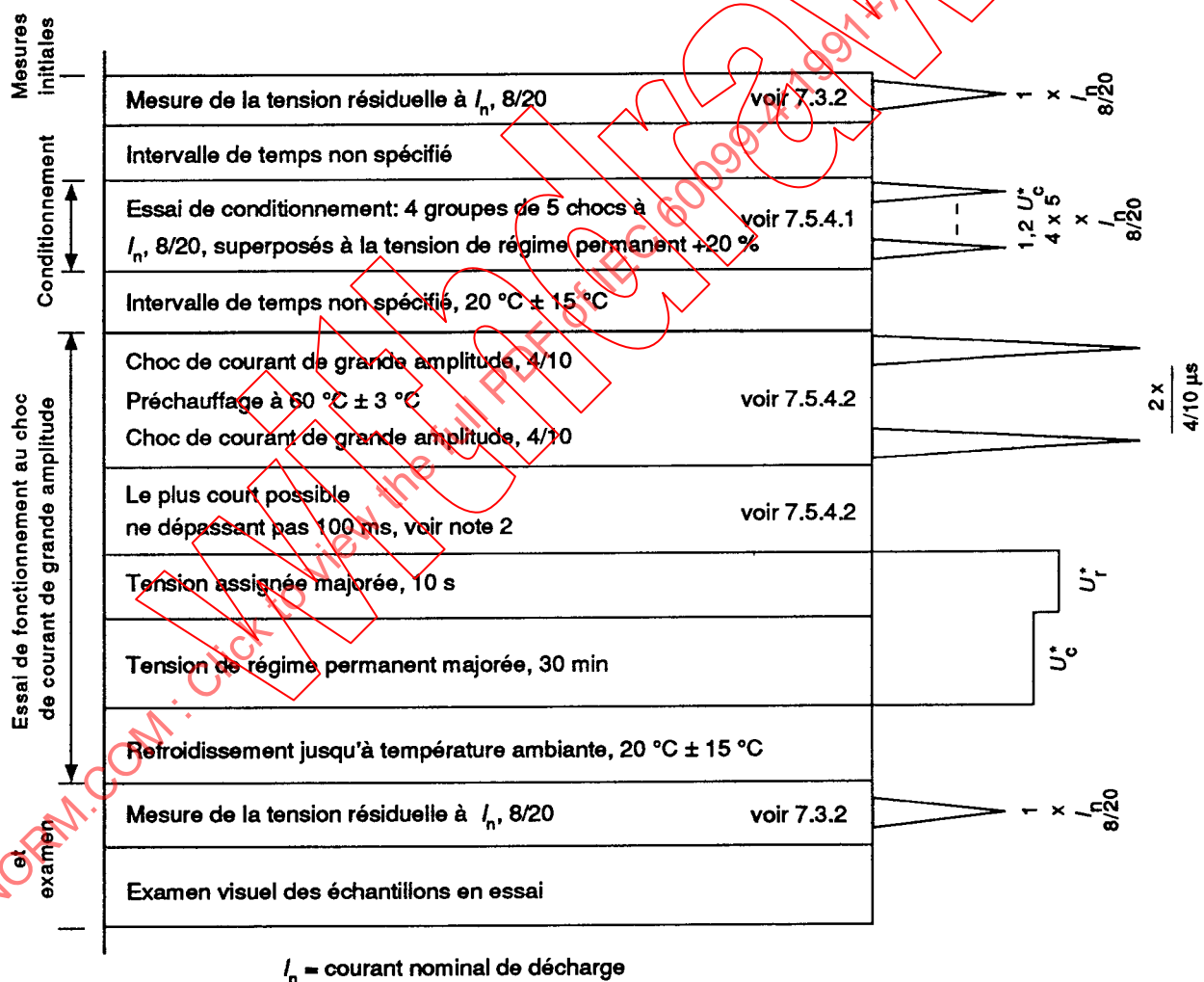
NOTE Des procédures d'essais sont spécifiées dans la CEI 60068-2-17.

13.7.4.4 Evaluation de l'essai

Le taux de fuite maximal (voir article N.4) doit être inférieur à:

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

NOTE Cet essai de type donne des informations sur l'efficacité du système d'étanchéité et est donc très sensible. Pour les essais individuels, effectués pour vérifier l'assemblage correct du parafoudre, des valeurs plus élevées du taux de fuite peuvent être retenues afin de faciliter la réalisation de l'essai en production (voir 8.1 d)).



IEC 2447/01

Figure 1 – Essai de fonctionnement sur les parafoudres 10 000 A, classe de décharge de ligne 1 et les parafoudres 5 000 A, 2 500 A et 1 500 A, voir 7.5.4

13.7.4.2 Sample preparation

The test sample shall be new and clean.

13.7.4.3 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.

13.7.4.4 Test evaluation

The maximum seal leak rate (see clause N.4) shall be lower than:

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

NOTE The type test provides information concerning the efficiency of the sealing system and is therefore very sensitive. For routine tests, which are performed to verify correct assembly of the arrester, higher values of the seal leak rate may be adopted in order to reduce test efforts during production (see 8.1 d)).

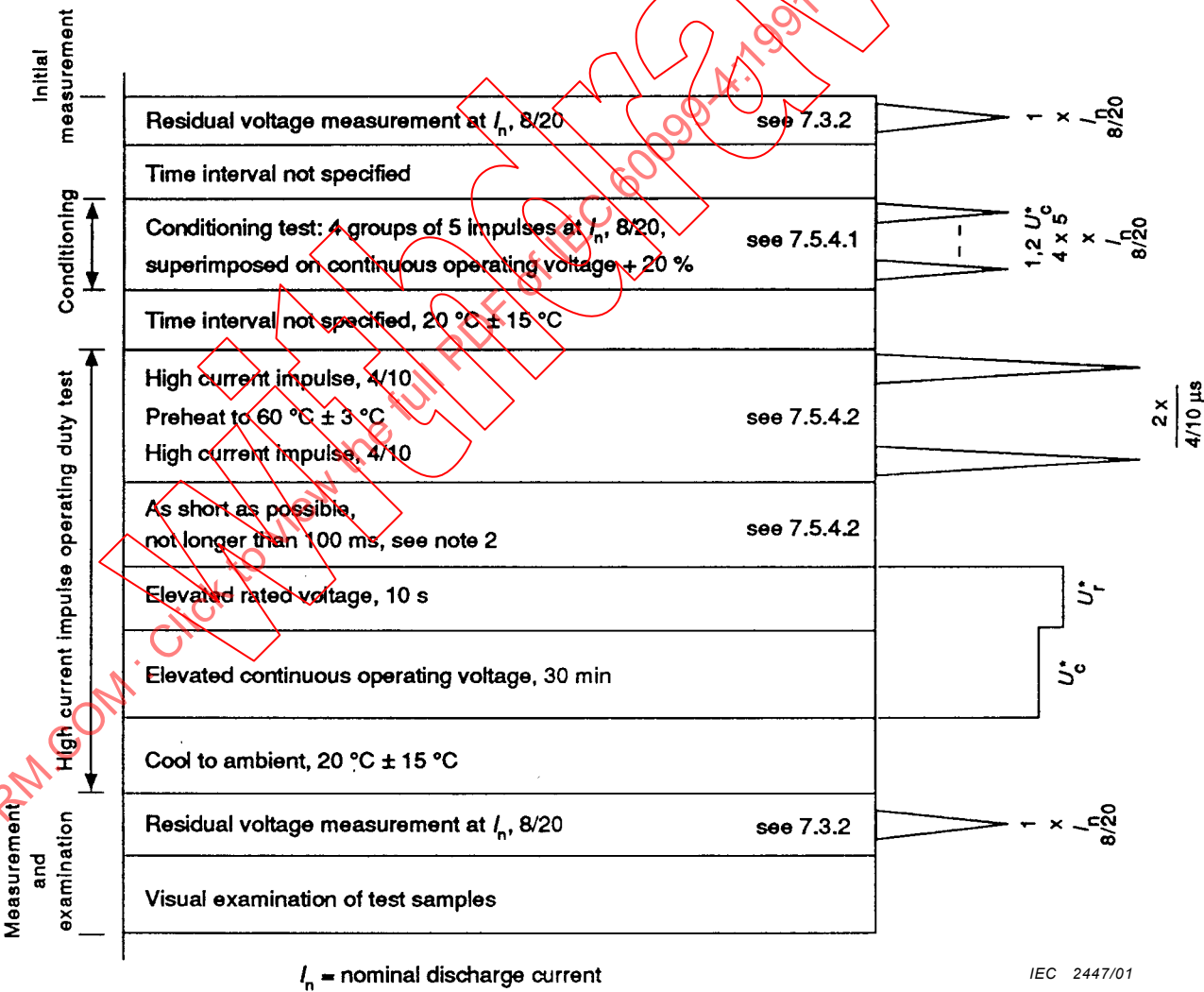


Figure 1 – Operating duty test on 10 000 A line discharge class 1, 5 000 A, 2 500 A and 1 500 A arresters, see 7.5.4

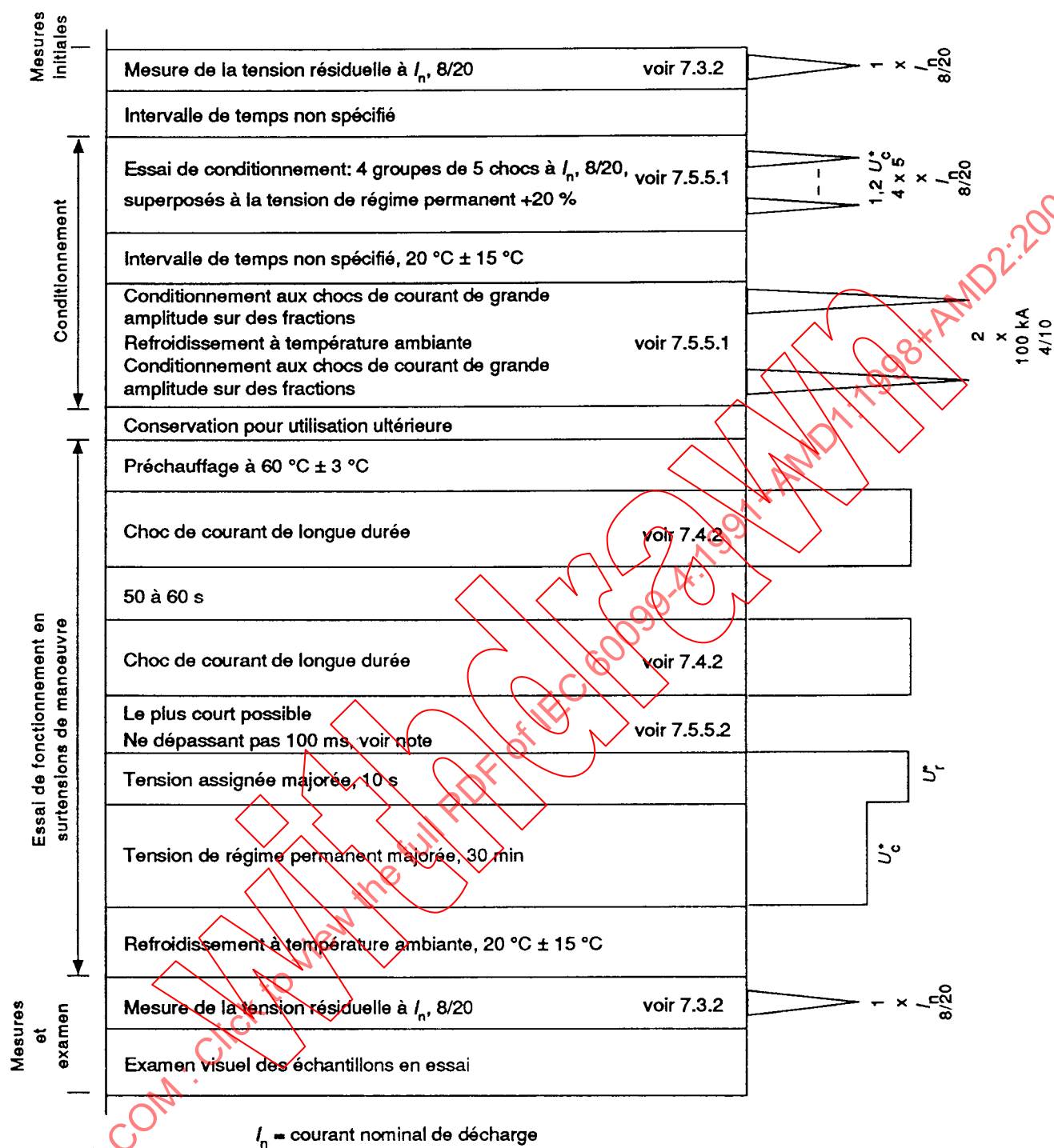
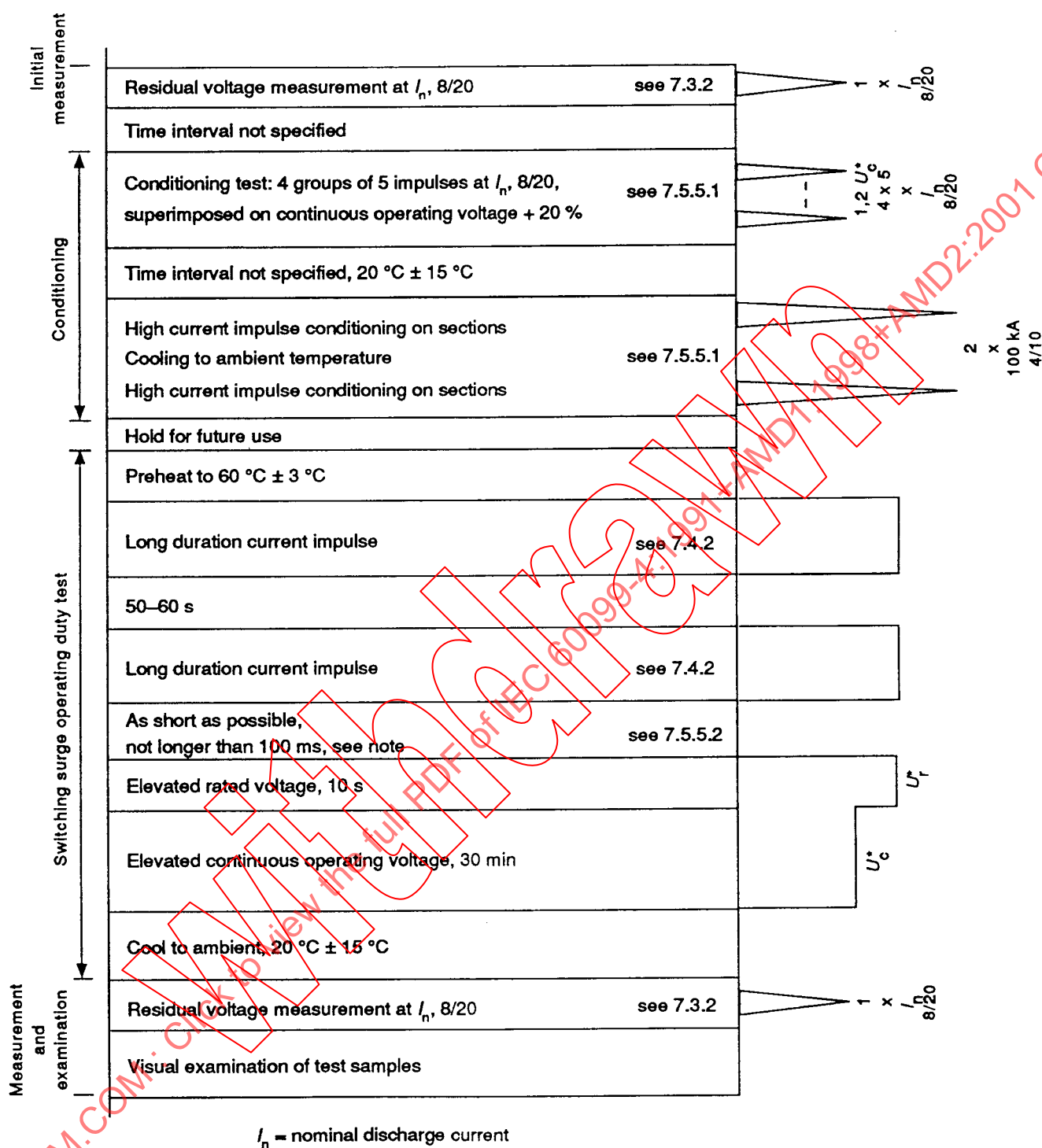
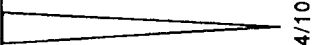
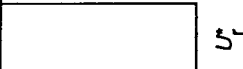


Figure 2 – Essai de fonctionnement sur les parafoudres 10 000 A, classes de décharge de ligne 2 et 3 et les parafoudres 20 000 A, classes de décharge de ligne 4 et 5, voir 7.5.5



IEC 2448/01

Figure 2 – Operating duty test on 10 000 A arresters line discharge classes 2 and 3 and 20 000 A arresters line discharge classes 4 and 5, see 7.5.5

Préchauffage à 60 °C ± 3 °C	voir 7.5.4.2	
Choc de courant de grande amplitude, 4/10		
Le plus court possible, ne dépassant pas 100 ms, voir note 2	voir 7.5.4.2	
Tension assignée majorée, 10 s		
Tension de régime permanent majorée, 30 min		

IEC 2449/01

Figure 3 – Essai de stabilité thermique sur les parafoudres 10 000 A de classe de décharge de ligne 1 et les parafoudres 5 000 A, 2 500 A et 1 500 A, voir 8.2.2

Préchauffage à 60 °C ± 3 °C		
Choc de courant de longue durée	voir 7.4.2	
50 à 60 s		
Choc de courant de longue durée	voir 7.4.2	
Le plus court possible, ne dépassant pas 100 ms, voir note 2	voir 7.5.5.2	
Tension assignée majorée, 10 s		
Tension de régime permanent majorée, 30 min		

IEC 2450/01

Figure 4 – Essai de stabilité thermique pour les parafoudres 10 000 A des classes de décharge de ligne 2 et 3 et les parafoudres 20 000 A des classes de décharge de ligne 4 et 5, voir 8.2.2

Preheat to $60\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$	see 7.5.4.2	
High current impulse, 4/10	see 7.5.4.2	
As short as possible, not longer than 100 ms, see note 2	see 7.5.4.2	
Elevated rated voltage, 10 s		
Elevated continuous operating voltage, 30 min		

IEC 2449/01

Figure 3 – Thermal stability test on 10 000 A line discharge class 1, 5 000 A, 2 500 A and 1 500 A arresters, see 8.2.2

Preheat to $60\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$		
Long duration current impulse	see 7.4.2	
50-60 s		
Long duration current impulse	see 7.4.2	
As short as possible, not longer than 100 ms, see note	see 7.5.5.2	
Elevated rated voltage, 10 s		
Elevated continuous operating voltage, 30 min		

IEC 2450/01

Figure 4 – Thermal stability test on 10 000 A arresters line discharge classes 2 and 3 and 20 000 A arresters line discharge classes 4 and 5, see 8.2.2

Annexe A (normative)

Conditions anormales de service

Les conditions de service anormales suivantes constituent des cas caractéristiques qui peuvent exiger une étude spéciale pour la fabrication ou l'utilisation des parafoudres et doivent être signalées au constructeur.

- 1) Températures supérieures à +40 °C ou inférieures –40 °C.
- 2) Utilisation à des altitudes supérieures à 1 000 m.
- 3) Gaz ou vapeurs pouvant causer la détérioration de la surface isolante ou des supports métalliques.
- 4) Pollution excessive par la fumée, des dépôts, les embruns ou autres matières conductrices.
- 5) Exposition excessive au brouillard, à l'humidité, aux gouttes d'eau ou à la vapeur.
- 6) Lavage du parafoudre sous tension.
- 7) Mélanges explosifs de poussières, gaz ou vapeurs.
- 8) Conditions mécaniques anormales (tremblements de terre, vibrations, vitesses de vent élevées, charges de glace importantes, contraintes de flexion élevées).
- 9) Conditions anormales de transport ou de stockage.
- 10) Fréquences nominales inférieures à 48 Hz ou supérieures à 62 Hz.
- 11) Sources de chaleur à proximité du parafoudre, voir 4.4.1b.

Annex A (normative)

Abnormal service conditions

The following are typical abnormal service conditions which may require special consideration in the manufacture or application of surge arresters and should be called to the attention of the manufacturer.

- 1) Temperature in excess of +40 °C or below –40 °C.
- 2) Application at altitudes higher than 1 000 m.
- 3) Fumes or vapours which may cause deterioration of insulating surface or mounting hardware.
- 4) Excessive contamination by smoke, dirt, salt spray or other conducting materials.
- 5) Excessive exposure to moisture, humidity, dropping water or steam.
- 6) Live washing of arrester.
- 7) Explosive mixtures of dust, gases or fumes.
- 8) Abnormal mechanical conditions (earthquakes, vibrations, high wind velocities, high ice loads, high cantilever stresses).
- 9) Unusual transportation or storage.
- 10) Nominal frequencies below 48 Hz and above 62 Hz.
- 11) Heat sources near the arrester, see 4.4.1b.

Annexe B (normative)

Essai de vérification de l'équivalence thermique entre un parafoudre complet et une fraction de parafoudre

On doit effectuer un essai en utilisant la méthode suivante ou une autre méthode ayant fait l'objet d'un accord entre le client et le constructeur.

Le parafoudre complet, ou l'élément d'un parafoudre à plusieurs éléments contenant le plus de résistances par unité de longueur, est placé en air immobile à une température ambiante de $20\text{ °C} \pm 15\text{ °C}$. La température ambiante doit être maintenue à $\pm 3\text{ °C}$. Des thermocouples et/ou des capteurs utilisant par exemple une technique à fibres optiques pour mesurer la température sont fixés aux résistances. On doit effectuer des mesures sur un nombre suffisant de points pour calculer la température moyenne. Le constructeur peut également choisir de mesurer la température en un seul point situé entre 1/2 et 1/3 de la longueur du parafoudre à partir du sommet, ce qui ajoute une marge de sécurité, justifiant par là la méthode simplifiée.

On élève ensuite la température des résistances à environ 120 °C par l'application d'une tension à fréquence industrielle dont l'amplitude est supérieure à la tension de référence. Cette température correspond à une valeur moyenne si la température est mesurée sur plusieurs résistances ou à une valeur unique si seul le point situé entre 1/2 et 1/3 est contrôlé. Le temps de montée en température n'est pas critique s'il est approximativement le même que celui utilisé ultérieurement au moment de la montée en température de la fraction en essai; ce temps peut aller de quelques minutes à quelques heures, en fonction de la puissance de la source de tension. Quand la température prédéterminée est atteinte, la source de tension doit être déconnectée et la courbe de refroidissement doit être établie sur une durée au moins égale à 2 h. Si l'on a effectué des mesures en plusieurs points, on trace une courbe de température moyenne.

La fraction en essai est ensuite essayée, comme le parafoudre complet, en air immobile à une température ambiante de $20\text{ °C} \pm 15\text{ °C}$. La température ambiante doit être maintenue constante à $\pm 3\text{ °C}$ près. On doit soumettre ensuite la fraction à la même élévation de température des résistances que le parafoudre complet en appliquant une tension à fréquence industrielle. L'amplitude de la tension est choisie de manière à donner une durée de montée en température approximativement égale à celle utilisée pour le parafoudre complet. On doit déterminer une température moyenne en mesurant la température de plusieurs résistances. En variante la température peut être mesurée sur une résistance située entre 1/2 et 1/3 de la longueur de la fraction à partir du sommet. Quand la fraction a atteint la température prédéterminée, la source de tension doit être déconnectée et la courbe de refroidissement doit être établie sur une durée au moins égale à 2 h.

On doit comparer les courbes de refroidissement du parafoudre complet et de la fraction. On utilise soit les valeurs moyennes, soit les valeurs uniques. Elles doivent être rapportées à la même température ambiante en ajoutant la différence entre les températures ambiantes à la courbe la plus basse.

Pour que l'équivalence thermique soit prouvée, la fraction d'essai doit, à tout moment pendant la période de refroidissement, avoir une température supérieure ou égale à celle du parafoudre complet.

Annex B

(normative)

Test to verify thermal equivalency between complete arrester and arrester section

A test according to the following or another procedure agreed on between the purchaser and manufacturer shall be carried out.

The complete arrester or the unit containing most resistors per unit length of a multi unit arrester is placed in still air ambient temperature of $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 15\text{ }^{\circ}\text{C}$. The ambient temperature shall be held at $\pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Thermocouples and/or some sensors e.g. utilizing optical fibre technique to measure temperature are attached to the resistors. A sufficient number of points must 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 resistors shall be heated to a temperature of approximately $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ by the application of power frequency voltage with an amplitude above reference voltage. This temperature should correspond to a mean value if the temperature is measured on several resistors or a single value if only the 1/2 to 1/3 point is checked. The heating time is not critical if approximately the same time is used when later heating the test section. This time may be chosen from minutes to hours depending on the power capacity of the voltage source. 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. In the case of several measuring points a mean temperature curve is constructed.

The test section shall thereafter be tested in the same way as the complete arrester in still air ambient temperature in the range of $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 15\text{ }^{\circ}\text{C}$. The ambient temperature shall be held at $\pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$. It shall be heated to the same resistor temperature rise above ambient temperature as for the complete arrester by the application of power frequency voltage. The voltage amplitude is chosen to give a heating time approximately the same as for the complete arrester. A mean temperature shall be determined by measuring the temperature of several resistors. Alternatively, the temperature may be measured on one block 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.

The cooling curves for the complete arrester and the section shall be compared. Either the mean or the single values are used. They shall be adjusted to the same ambient temperature by adding the difference in ambient temperatures to the lower curve.

To prove thermal equivalency the test section shall for all instants during the cooling period have equal or higher temperature than the complete arrester.

Annexe C (normative)

Prescriptions relatives aux parafoudres pour courants de foudre élevés pour la gamme de tension de 1 kV à 52 kV

La présente annexe donne la liste des prescriptions pour les parafoudres 20 000 A destinés à être utilisés dans des zones à courants de foudre élevés pour une tension maximale du réseau dans la gamme de 1 kV à 52 kV.

Les essais prescrits sont mentionnés dans le tableau C.1.

L'essai de fonctionnement doit être effectué selon 5.9 et 7.5.4, et consiste à soumettre chaque échantillon à trois chocs de courant 30/80 dont la valeur de crête est de 40 kA.

Les intervalles de temps entre les trois chocs de courant doivent être de 50 s à 60 s.

Les tolérances de réglage du matériel doivent être telles que l'on mesure des valeurs de chocs de courant comprises dans les limites suivantes:

- valeur de crête comprise entre 90 % et 110 % de la valeur spécifiée;
- durée conventionnelle du front comprise entre 25 μ s et 35 μ s;
- durée conventionnelle jusqu'à la mi-valeur sur la queue comprise entre 70 μ s et 90 μ s;
- toute onde de courant de la polarité opposée doit avoir une valeur de crête inférieure à 20 % de la valeur de crête du courant;
- on admet de petites oscillations sur l'onde à condition que leur amplitude au voisinage de la crête soit inférieure à 5 % de la valeur de crête. Dans ces conditions, afin de faire des mesures, on doit tracer une courbe moyenne pour déterminer la valeur de crête.

Le déroulement complet des essais est illustré en figure C.1.

NOTE Pour reproduire les conditions réelles du réseau, le dernier choc de courant de grande amplitude est de préférence appliqué pendant que l'échantillon est soumis à la tension U_r . On admet les 100 ms compte tenu des limitations pratiques du circuit d'essai.

L'essai spécial de stabilité thermique (voir 8.2.2) doit être effectué conformément à la figure C.2.

**Tableau C.1 – Prescriptions relatives aux parafoudres 20 000 A pour
courants de foudre élevés ¹⁾**

1. Tension assignée U_r (kV _{eff})	$3 \leq U_r \leq 60$
2. Essai de tenue de l'isolation de l'enveloppe du parafoudre	5.1, 7.2.6 et 7.2.8
3. Essais de vérification de la tension résiduelle	Tableau K.1 et 5.3
a) Essai de vérification de la tension résiduelle aux chocs de courant à front raide	7.3.1
b) Essai de vérification de la tension résiduelle aux chocs de foudre	7.3.2
c) Essai de vérification de la tension résiduelle aux chocs de manœuvre	Non spécifié
4. Essai de tenue au chocs de courant de longue durée	7.4
5. Essai de fonctionnement	5.9 Annexe D
a) Essai de fonctionnement en chocs de courant de grande amplitude	7.5.4
b) Essai de fonctionnement en surtension de manœuvre	Non spécifié
6. Courbe tension à fréquence industrielle en fonction du temps	5.10
7. Essai du limiteur de pression (pour parafoudres munis d'un limiteur de pression)	5.11
8. Dispositif de déconnexion (pour les parafoudres munis de ces dispositifs)	5.12 et 7.6
9. Essai des enveloppes sous pollution	Annexe F

¹⁾ Les nombres des lignes 2 à 8 se réfèrent aux articles et aux paragraphes de cette norme.

Annex C (normative)

Requirements for High Lightning Duty arresters for voltage range 1 kV to 52 kV

This annex describes the requirements on 20 000 A arresters especially applicable for high lightning intensity areas with highest system voltage in the range 1 kV to 52 kV.

Test requirements are specified in table C.1.

The operating duty test shall be carried out according to 5.9 and 7.5.4, and shall consist of the application to each sample of three 30/80 current impulses with a peak value of 40 kA.

The time intervals between the three current impulses shall be 50 s to 60 s.

The tolerances on the adjustment of the equipment shall be such that the measured values of the current impulses are within the following limits:

- a) from 90 % to 110 % of the specified peak value,
- b) from 25 μ s to 35 μ s for virtual front time,
- c) from 70 μ s to 90 μ s for virtual time to half value on the tail,
- d) the peak value of any opposite polarity current wave shall be less than 20 % of the peak value of the current,
- e) small oscillations on the impulse are permissible provided their amplitude near the peak of the impulse is less than 5 % of the peak value. Under these conditions, for the purpose of measurement, a mean curve shall be accepted for determination of the peak value.

The complete test sequence is illustrated in figure C.1.

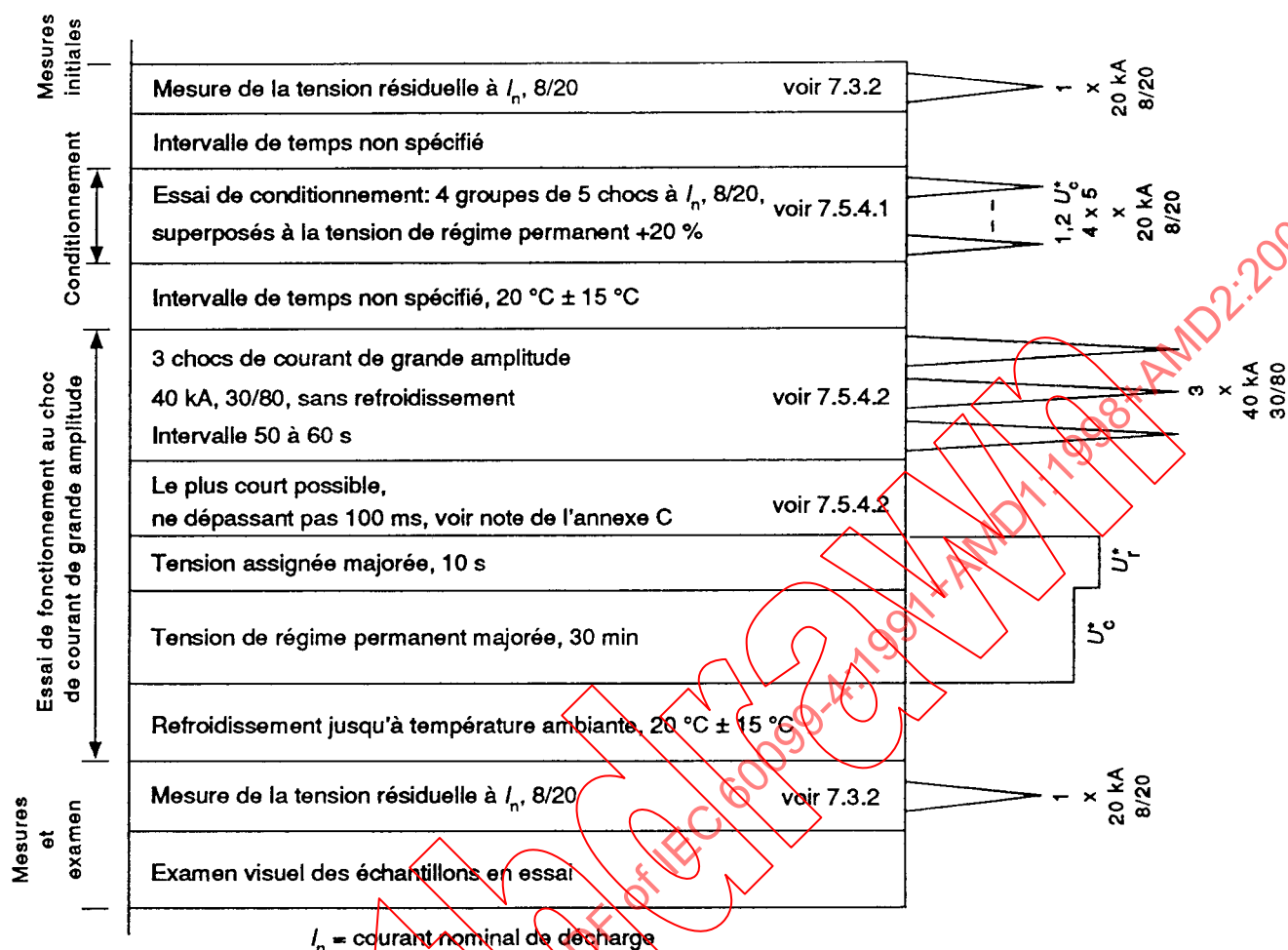
NOTE To reproduce actual system conditions the last high current impulse is preferably applied while the sample is energized at U_r . The 100 ms are permitted in view of practical limitation in the test circuit.

The thermal stability test (see 8.2.2) shall be carried out according to figure C.2.

Table C.1 – Test requirements on 20 000 A High Lightning Duty arresters ¹⁾

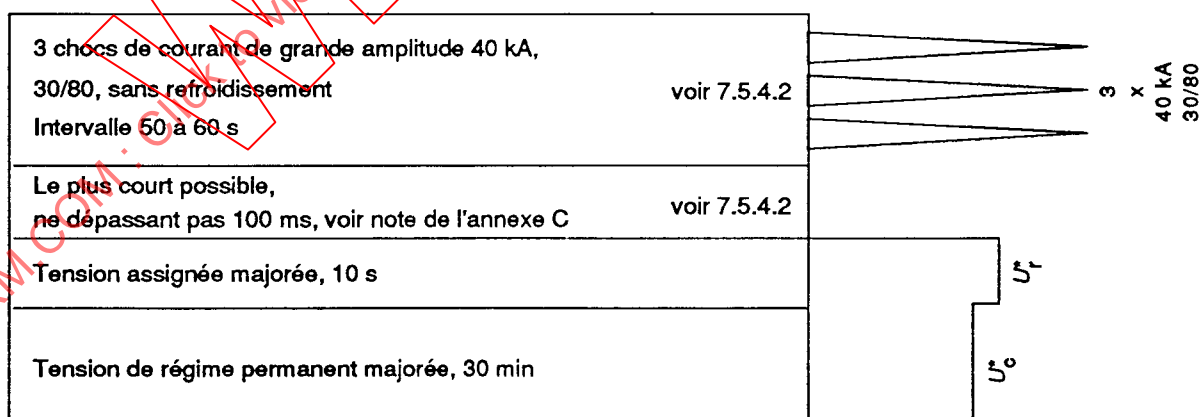
1. Rated voltage U_r (kV _{rms})	$3 \leq U_r \leq 60$
2. Insulation withstand tests on the arrester housing	5.1, 7.2.6 and 7.2.8
3. Residual voltage test	Table K.1 and 5.3
a) Steep current impulse residual voltage test	7.3.1
b) Lightning impulse residual voltage test	7.3.2
c) Switching impulse residual voltage test	Not required
4. Long duration current impulse withstand test	7.4
5. Operating duty test	5.9
a) High current impulse operating duty test	Annex D
b) Switching surge operating duty test	7.5.4
c) Switching surge operating duty test	Not required
6. Power frequency voltage versus time curve	5.10
7. Pressure relief test (when fitted with relief device)	5.11
8. Arrester disconnecter (when fitted)	5.12 and 7.6
9. Polluted housing test	Annex F

¹⁾ Numbers in rows 2 – 8 refer to clauses and subclauses in this standard.



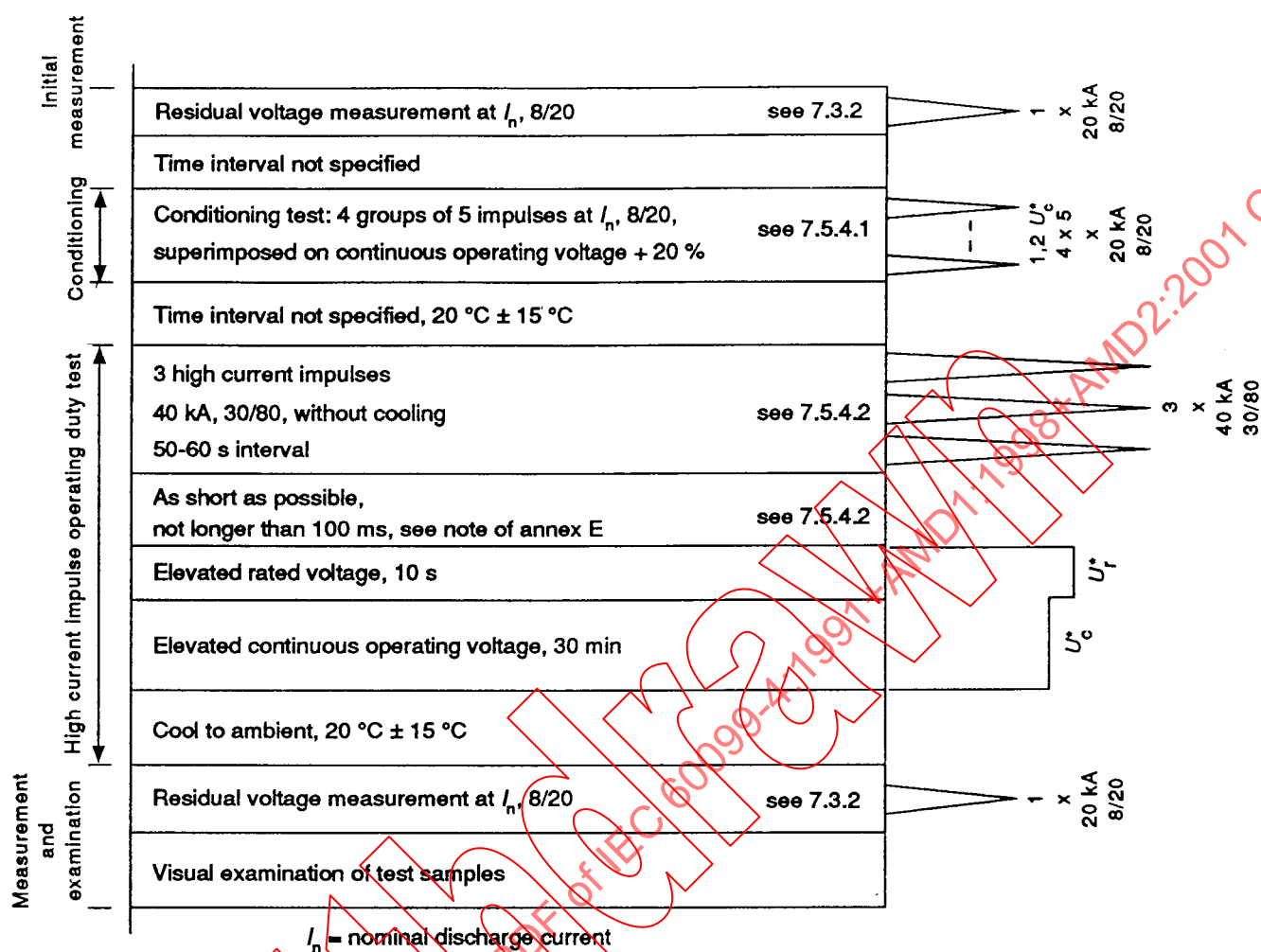
IEC 2451/01

Figure C.1 – Essai de fonctionnement sur les parafoudres 20 000 A pour courants de foudre élevés



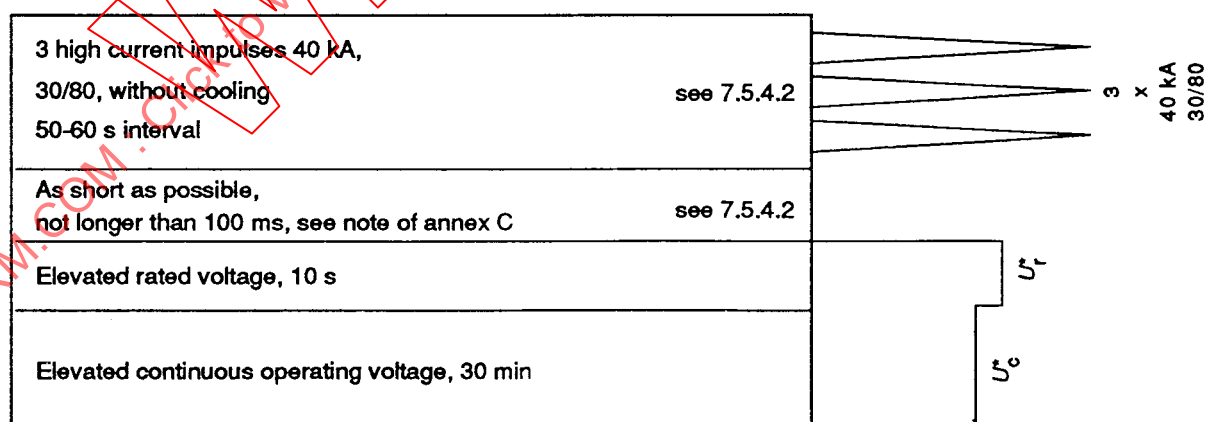
IEC 2452/01

Figure C.2 – Essai de stabilité thermique sur les parafoudres 20 000 A pour courants de foudre élevés, voir 8.2.2



IEC 2451/01

Figure C.1 – Operating duty test on 20 000 A High Lightning Duty arresters



IEC 2452/01

Figure C.2 – Thermal stability test on 20 000 A High Lightning Duty arresters, see 8.2.2

Annexe D (normative)

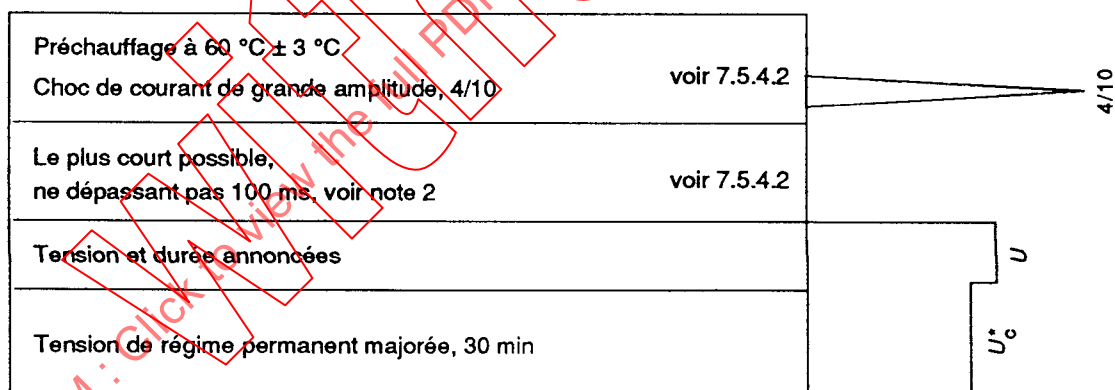
Méthode de vérification de la caractéristique de tension à fréquence industrielle en fonction du temps d'un parafoudre

Quand il est convenu entre le constructeur et le client de vérifier expérimentalement la courbe de tension à fréquence industrielle en fonction du temps fournie par le constructeur, on doit utiliser la dernière partie de l'essai de fonctionnement spécifié aux figures 1, 2 et C.1, en fonction de la catégorie du parafoudre, en modifiant le niveau et la durée de la tension à fréquence industrielle appliquée avant l'application de la tension U_c^* . Trois points de la courbe devront suffire pour la vérification.

Pour les parafoudres de catégorie 10 000 A, classe de décharge de ligne 1 et les parafoudres 5 000 A, 2 500 A et 1 500 A, on commence par préchauffer l'échantillon en essai à $60\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$. Ceci est suivi par un choc de courant de grande amplitude qui fournit l'énergie avant l'application de la tension à fréquence industrielle, voir figure D.1.

Pour les parafoudres pour courants de foudre élevés décrits dans l'annexe C, on commencera en soumettant l'échantillon, à la température ambiante, à trois applications successives de courants de choc de grande amplitude, voir figure D.2.

Pour les parafoudres 10 000 A, classes de décharge de ligne 2 et 3 et les parafoudres 20 000 A, classes 4 et 5, l'échantillon est d'abord préchauffé à $60\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$, puis l'on applique deux chocs de courant de longue durée pour fournir l'énergie avant l'application de la tension à fréquence industrielle, voir figure D.3.



IEC 2453/01

Figure D.1 – Méthode de vérification de la caractéristique de tension à fréquence industrielle en fonction du temps.
Essai des parafoudres 10 000 A, classe de décharge de ligne 1, 5 000 A, 2 500 A et 1 500 A

Annex D (normative)

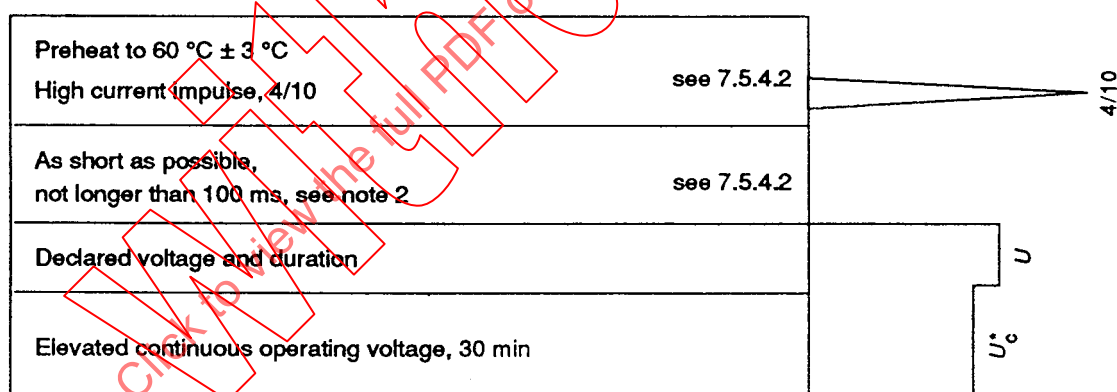
Procedure to verify the power frequency voltage versus time characteristics of an arrester

When the experimental verification of power frequency voltage versus time curve supplied by the manufacturer is agreed upon by the manufacturer and the purchaser, the last part of the operating duty test specified in figures 1, 2 or C.1, depending on the category of the arrester, shall be used with modification of the level and duration of the applied power frequency voltage prior to the U_C^* voltage application. Three points on the curve shall be considered sufficient for verification.

For the arresters categorized as 10 000 A line discharge class 1 and 5 000 A, 2 500 A and 1 500 A the procedure starts with preheating the test sample to $60\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$. It is followed by one high current impulse which gives the energy prior to the power frequency voltage application, see figure D.1.

For High Lightning Duty arresters (annex C), the procedure starts with the three successive applications of high current impulse on the sample at ambient temperature, see figure D.2.

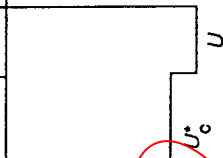
For 10 000 A arresters with line discharge classes 2 and 3 and 20 000 A arresters with classes 4 and 5 the sample is preheated to $60\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$ and two shots of long duration current impulses are applied to give the energy prior to the power frequency voltage application, see figure D.3.



IEC 2453/01

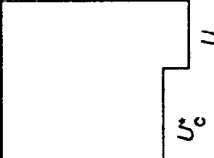
Figure D.1 – Procedure to verify the power frequency voltage versus time characteristics of an arrester.

Test on 10 000 A line discharge class 1, 5 000 A, 2 500 A and 1 500 A arresters

3 chocs de courant de grande amplitude 40 kA, 30/80, sans refroidissement Intervalle 50 s à 60 s	voir 7.5.4.2	
Le plus court possible, ne dépassant pas 100 ms, voir note de l'annexe C	voir 7.5.4.2	
Tension et durée annoncées		
Tension de régime permanent majorée, 30 min		

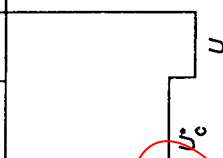
IEC 2454/01

Figure D.2 – Méthode de vérification de la caractéristique de tension à fréquence industrielle en fonction du temps.
Essai des parafoudres 20 000 A pour courants de foudre élevés

Préchauffage à 60 °C ± 3 °C	
Choc de courant de longue durée	voir 7.4.2
50 à 60 s	
Choc de courant de longue durée	voir 7.4.2
Le plus court possible, ne dépassant pas 100 ms, voir note	see 7.5.5.2
Tension et durée annoncées	
Tension de régime permanent majorée, 30 min	

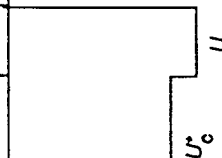
IEC 2455/01

Figure D.3 – Méthode de vérification de la caractéristique de tension à fréquence industrielle en fonction du temps.
Essai des parafoudres 10 000 A, classes de décharge de ligne 2 et 3
et parafoudres 20 000 A, classes de décharge de ligne 4 et 5

3 high current impulses 40 kA, 30/80, without cooling 50–60 s interval	see 7.5.4.2	
As short as possible, not longer than 100 ms, see note of annex C	see 7.5.4.2	
Declared voltage and duration		
Elevated continuous operating voltage, 30 min		

IEC 2454/01

Figure D.2 – Procedure to verify the power frequency voltage versus time characteristics of an arrester.
Test on 20 000 A High Lightning Duty arresters

Preheat to 60 °C ± 3 °C	
Long duration current impulse	see 7.4.2
50–60 s	
Long duration current impulse	see 7.4.2
As short as possible, not longer than 100 ms, see note	see 7.5.5.2
Declared voltage and duration	
Elevated continuous operating voltage, 30 min	

IEC 2455/01

Figure D.3 – Procedure to verify the power frequency voltage versus time characteristics of an arrester.
Test on 10 000 A arresters, line discharge classes 2 and 3
and 20 000 A arresters, line discharge classes 4 and 5

Annexe E (informative)

Guide pour le choix de la classe de décharge de ligne

Les paramètres des générateurs de chocs à constantes réparties indiqués au tableau 4 ont été spécifiés en vue d'obtenir, pour un rapport donné entre la tension résiduelle aux chocs de manœuvre et la tension assignée, des valeurs d'énergie croissantes avec les classes de décharge de ligne. Toutefois, l'énergie créée dans le parafoudre lors de l'essai dépend fortement de la tension résiduelle réelle aux chocs de manœuvre des varistances en essai. Cette énergie peut être déterminée avec suffisamment d'exactitude à partir de la formule suivante:

$$W' = \frac{U_{\text{res}}}{U_r} \left[\frac{U_L}{U_r} - \frac{U_{\text{res}}}{U_r} \right] \times \frac{U_r}{Z} \times T \quad (1)$$

U_r tension assignée (valeur efficace)

U_L tension de charge du générateur

W' énergie spécifique égale à l'énergie divisée par la tension assignée

U_{res} tension résiduelle au choc de courant de manœuvre, voir 7.3.3

Z impédance d'onde de la ligne

T durée conventionnelle de la crête du courant

La relation de dépendance entre l'énergie spécifique et la tension résiduelle aux chocs de manœuvre est indiquée à la figure E.1.

Le choix de la classe de décharge de ligne est fait selon la méthode suivante:

- 1 Détermination de l'énergie créée dans le parafoudre à oxyde métallique en service, en tenant compte des éventuels phénomènes provoqués par la foudre et/ou les manœuvres.
- 2 Détermination de l'énergie spécifique en divisant l'énergie par la valeur efficace de la tension assignée.
- 3 Comparaison de cette valeur d'énergie spécifique à celle obtenue lors de l'essai à l'aide de la formule 1 ou de la figure E.1, et choix de la classe voisine supérieure de décharge de ligne.

Annex E (informative)

Guide to selection of line discharge class

The parameters for the line discharge test in table 4 have been specified to obtain increasing energies with increasing discharge class for arresters having a given ratio of switching impulse residual voltage to rated voltage. The energy generated in the arrester during the test, however, is strongly dependent on the actual switching impulse residual voltage of the tested resistors. This energy can be determined with sufficient accuracy from the following formula:

$$W' = \frac{U_{\text{res}}}{U_r} \left[\frac{U_L}{U_r} - \frac{U_{\text{res}}}{U_r} \right] \times \frac{U_r}{Z} \times T \quad (1)$$

U_r is the rated voltage (r.m.s. value)

U_L is the charging voltage of the generator

W' is the specific energy equal to the energy divided by the rated voltage

U_{res} is the residual voltage at switching impulse current (see 7.3.3)

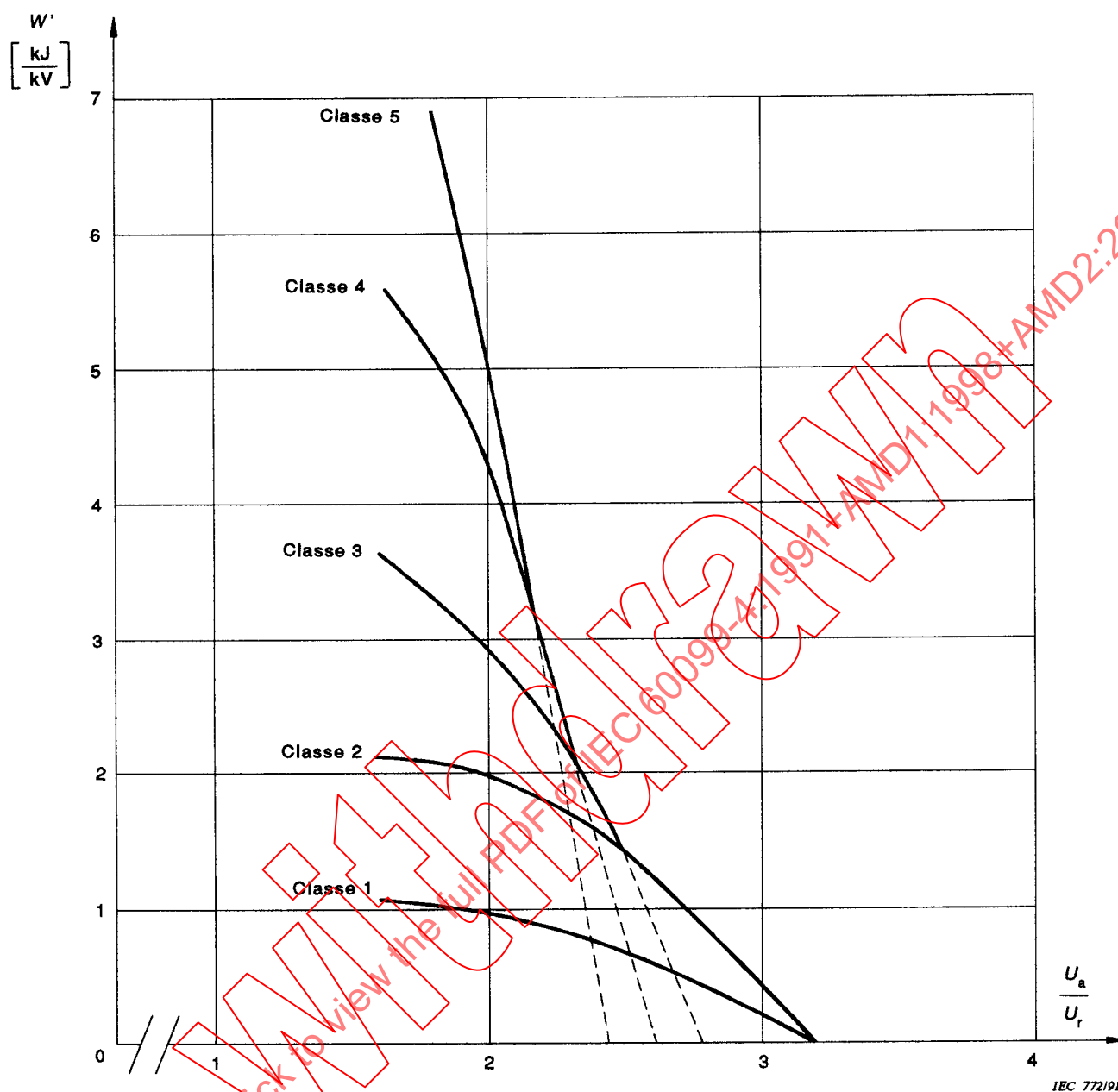
Z is the surge impedance of the line

T is the virtual duration of the current peak

The dependence of the specific energy on the switching impulse residual voltage is shown in figure E.1.

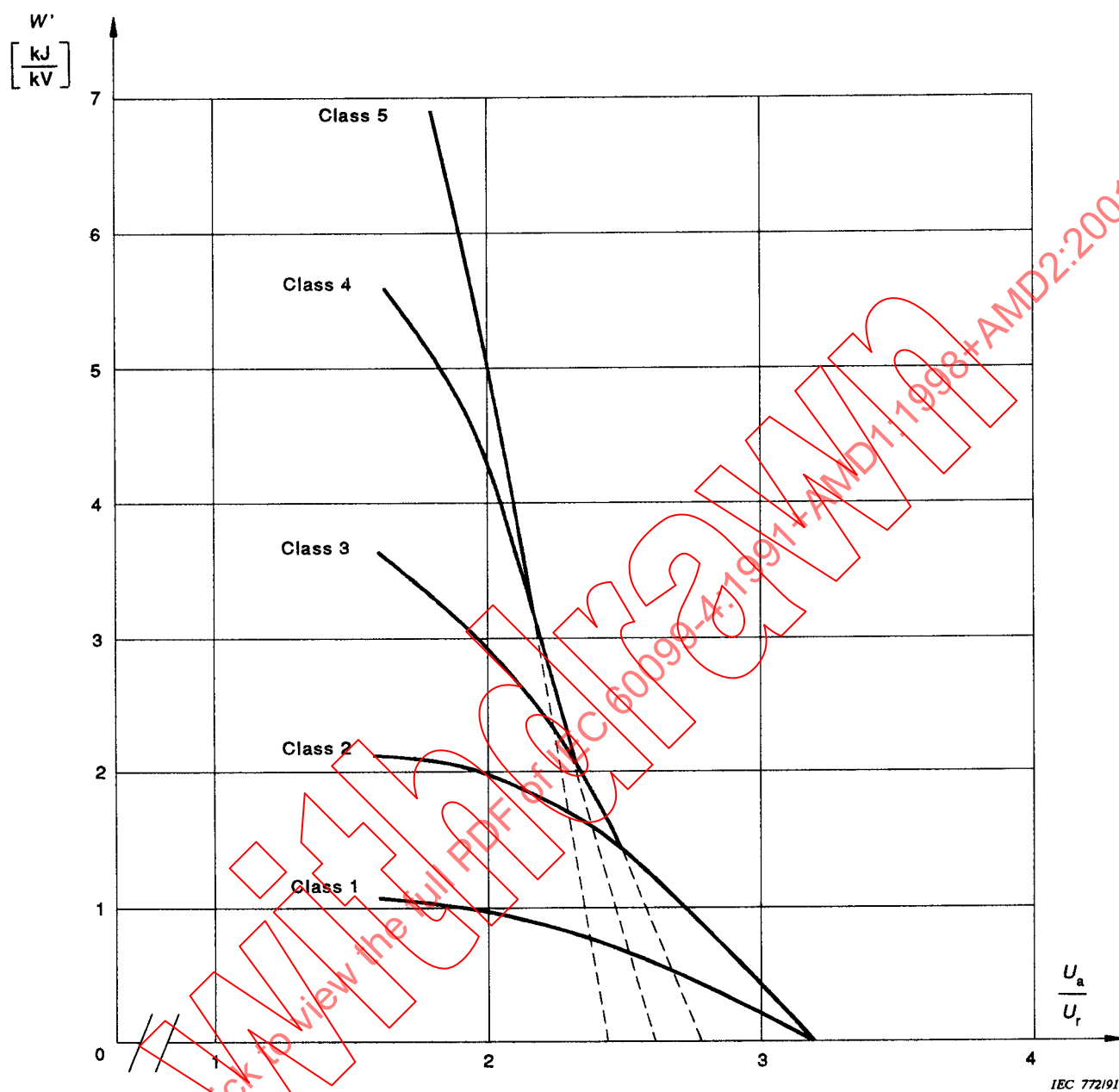
The selection of the line discharge class is done in the following sequence:

- 1 Determine the energy which is generated in the metal-oxide arrester in service, taking into account possible events caused by lightning and/or switching.
- 2 Determine the specific energy by dividing the energy by the r.m.s. value of the rated voltage.
- 3 Compare this specific energy with the specific energy generated in the test using formula 1 or figure E.1 and select the next higher line discharge class.



Paramètre: classe de décharge de ligne.

Figure E.1 – Energie spécifique en kJ par kV de tension assignée en fonction du rapport de la tension résiduelle aux chocs de manœuvre (U_a) à la valeur efficace de la tension assignée U_r du parafoudre



Parameter: line discharge class.

Figure E.1 – Specific energy in kJ per kV rating dependant on the ratio of switching impulse residual voltage (U_a) to the r.m.s. value of the rated voltage U_r of the arrester

Annexe F (normative)

Essai de pollution artificielle relatif à la contrainte thermique des parafoudres à oxyde métallique à enveloppe en porcelaine comportant plusieurs éléments

F.1 Glossaire

F.1.1 Paramètres mesurés

q_z [C/hm]	Charge externe moyenne s'écoulant à la surface des isolateurs et des enveloppes de parafoudres pendant des épisodes de pollution en service, correspondant à un épisode de pollution de durée déterminée t_z . Ce paramètre est utilisé pour classer la sévérité de pollution d'un site.
t_z [h]	Durée d'un épisode de pollution en service.
Q_e [C]	Charge s'écoulant à la surface des éléments du parafoudre pendant l'essai de pollution.
Q_i [C]	Charge s'écoulant dans les parties internes des éléments du parafoudre pendant l'essai de pollution.
ΔT_k [K]	Augmentation de température de l'élément k.
β [K/C]	Rapport entre l'augmentation de température des parties internes du parafoudre et la charge interne mesurée conformément à l'essai préliminaire d'échauffement.
τ [h]	Constante de temps thermique équivalente du parafoudre déterminée pendant l'essai préliminaire d'échauffement.

F.1.2 Paramètres calculés

D_m [m]	Diamètre moyen de l'enveloppe du parafoudre: il est calculé selon la méthode de la CEI 60815.
Q_{tot} [C]	Charge totale du parafoudre: c'est la somme de Q_i et Q_e , et elle est mesurée sur la connexion de terre du parafoudre.
$\Delta T_{z \max}$ [K]	Augmentation théorique maximale de température en service calculée en fonction de β , q_z , t_z , D_m et τ .
WU	Déséquilibre pondéré du parafoudre calculé en fonction des caractéristiques électriques et géométriques de chaque élément du parafoudre. Ce paramètre est utilisé pour sélectionner la configuration la plus critique qui doit être soumise à l'essai de pollution.
K_{ie}	Rapport entre la charge externe maximale et la charge interne maximale s'écoulant dans les éléments du parafoudre pendant l'essai de pollution.
ΔT_z [K]	Augmentation prévue de température en service calculée en fonction de β , q_z , t_z , D_m , K_{ie} et τ .
T_{OD} [°C]	Température initiale utilisée pour l'essai de fonctionnement.

Annex F (normative)

Artificial pollution test with respect to the thermal stress on porcelain-housed multi-unit metal-oxide surge arresters

F.1 Glossary

F.1.1 Measured quantities

q_z [C/hm]	Mean external charge flowing on the surface of insulators and surge arrester housings during pollution events in service, relevant to a pollution event lasting a time t_z . This parameter is used for the classification of the pollution severity of a site.
t_z [h]	Duration of a pollution event in service.
Q_e [C]	Charge flowing on the surface of the units of the surge arrester during the pollution test.
Q_i [C]	Charge flowing in the internal parts of the units of the surge arrester during the pollution test.
ΔT_k [K]	Temperature rise relevant to unit k.
β [K/C]	Ratio between the temperature rise of the internal parts of the arrester and the relevant charge flowing internally as determined in the preliminary heating test.
τ [h]	Equivalent thermal time constant of the arrester as determined in the preliminary heating test.

F.1.2 Calculated quantities

D_m [m]	Average diameter of the surge arrester housing: it is calculated according to the method reported in IEC 60815.
Q_{tot} [C]	Total charge relevant to the surge arrester: it is the sum of Q_i and Q_e and it is measured at the earth terminal of the surge arrester.
$\Delta T_{z \max}$ [K]	Maximum theoretical temperature rise in service calculated as a function of β , q_z , t_z , D_m and τ .
WU	Weighted unbalance of the arrester calculated as a function of the electrical and geometrical characteristic of each unit of the surge arrester. This parameter is used to select the most critical design to be submitted to the pollution test.
K_{ie}	Ratio between the maximum external charge and the maximum internal charge flowing in the surge arrester units during the pollution test.
ΔT_z [K]	Expected temperature rise in service calculated as a function of β , q_z , t_z , D_m , K_{ie} and τ .
T_{OD} [°C]	Starting temperature to be used for the operating duty test.

F.2 Généralités

Il convient que la pollution de l'isolation externe d'un parafoudre à oxyde métallique soit considérée en examinant trois effets possibles:

- a) le risque de contournement externe;
- b) des décharges partielles à l'intérieur du parafoudre dues aux champs radiaux entre la surface externe et les éléments actifs internes;
- c) l'augmentation de la température des éléments actifs internes due à une répartition de potentiel non linéaire et transitoire causée par une couche de pollution sur la surface de l'enveloppe du parafoudre.

Cette procédure d'essai concerne uniquement le troisième effet possible.

Des essais en laboratoire et l'expérience en exploitation ont montré que l'échauffement des éléments actifs internes des parafoudres soumis à de la pollution est lié à la charge absorbée: ce paramètre est considéré comme essentiel pour l'évaluation de la performance sous pollution des parafoudres.

Une classification de la sévérité de sites représentatifs a été établie en considérant la charge moyenne externe s'écoulant à la surface de différents isolateurs et parafoudres.

Les procédures décrites dans cette annexe se réfèrent seulement à des parafoudres à enveloppe porcelaine; il se peut que les procédures applicables aux parafoudres à enveloppe synthétique requièrent plus d'investigations, elles sont actuellement à l'étude.

Cette annexe décrit la procédure pour déterminer le préchauffage à appliquer à l'échantillon en essai avant l'essai de fonctionnement, de façon à prendre en compte l'effet de l'échauffement dû à la pollution; cette procédure est synthétisée dans l'organigramme de la figure F.1. En particulier:

- la sévérité de la pollution de différents sites représentatifs est exprimée par q_z . Les données correspondantes sont reportées dans le tableau F.1;
- les caractéristiques thermiques du parafoudre sont déterminées selon une procédure dérivée de l'annexe B. Cette procédure permet la détermination de la constante de temps thermique équivalente τ et le calcul du paramètre β grâce au critère décrit dans la section 4;
- la connaissance des caractéristiques thermiques du parafoudre et de la sévérité attendue de la pollution du site dans lequel le parafoudre va être installé permet un calcul préliminaire de l'augmentation maximale de température pour les conditions les plus modérées selon lesquelles toute la charge due à l'événement de pollution s'écoulerait par l'intérieur du parafoudre;
- si le calcul de l'augmentation maximale de température $\Delta T_{z \max}$ conduit à des valeurs inférieures à 40 K, les essais de pollution ne sont pas nécessaires et la température initiale de l'essai de fonctionnement combiné doit être 60 °C. Si le calcul de l'augmentation maximale de température $\Delta T_{z \max}$ conduit à des valeurs supérieures ou égales à 40 K, un essai selon la procédure décrite dans cette annexe doit être effectué, mais il peut néanmoins être omis après accord entre l'utilisateur et le constructeur (par exemple, sur la base d'un retour d'expérience dans des environnements spécifiques). De plus, selon la décision du constructeur, même si le calcul de $\Delta T_{z \max}$ conduit à des valeurs supérieures à 40 K, l'essai de pollution peut être évité en utilisant une température initiale pour l'essai de fonctionnement combiné égale à $(20 + \Delta T_{z \max})$ °C;

F.2 General

Pollution on external insulation of a metal-oxide surge arrester should be considered regarding three possible effects:

- a) risk of external flashover;
- b) partial discharges inside the surge arrester due to radial fields between the external surface and the internal active elements;
- c) temperature rise of the internal active elements due to a non-linear and transient voltage grading caused by the pollution layer on the surface of the arrester housing.

This test procedure considers only the third possible effect.

Laboratory tests and service experience have shown that the heating of the internal active parts of the surge arrester under pollution conditions is related to the charge absorbed: this parameter is therefore considered essential in the evaluation of the pollution performance of surge arresters.

A classification of the pollution severity of representative sites has been set up considering the mean external charge flowing on the surface of different insulators and surge arresters.

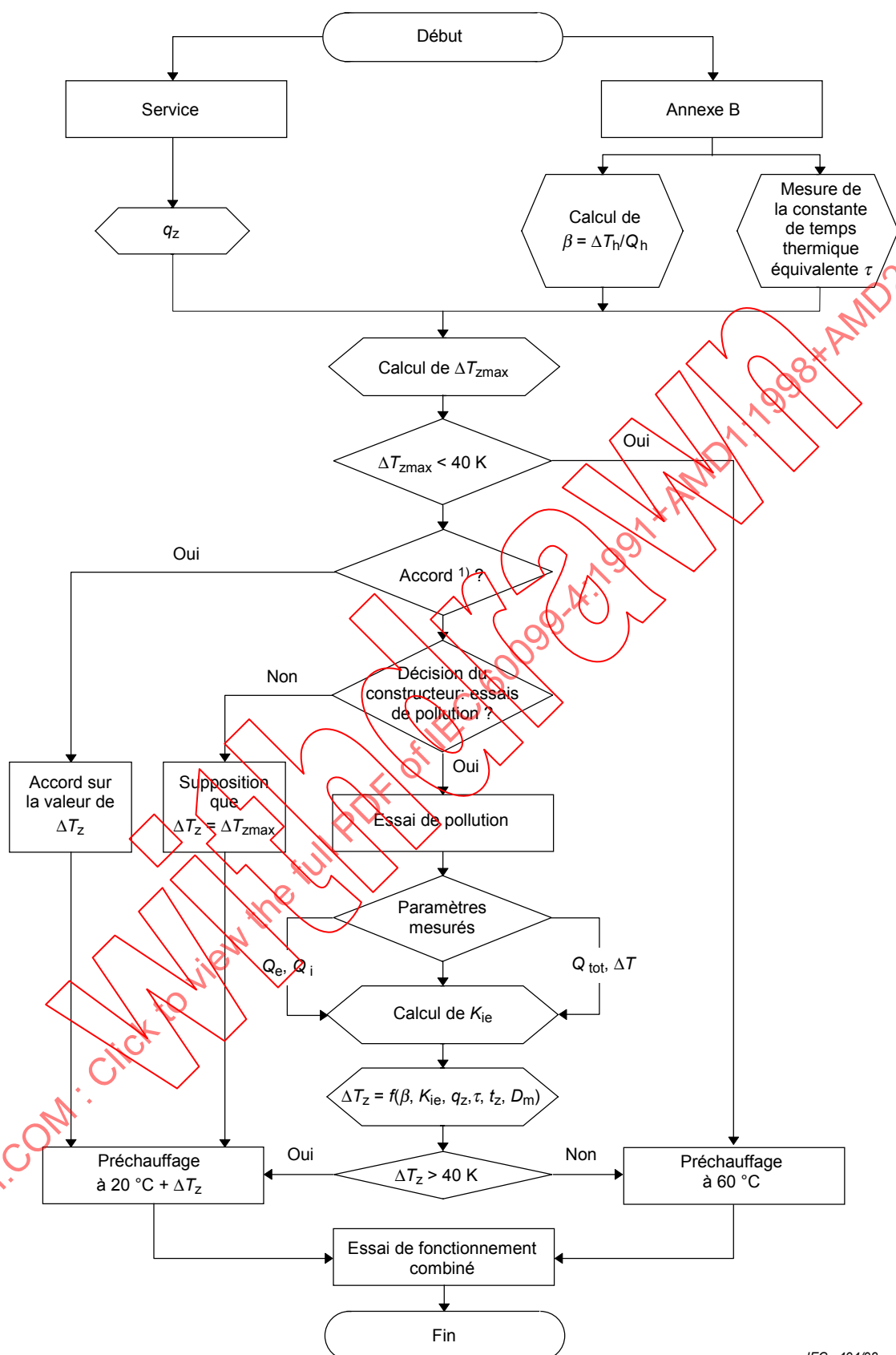
The procedures described in this annex refer only to surge arresters with a porcelain housing; the procedures for polymeric type surge arresters may require further investigation and are presently under consideration.

This annex describes the procedure for the determination of the preheating to be applied to the test sample before the operating duty test, in order to take into account the heating effect of the pollution; this procedure is synthesized in the flow-chart of figure F.1. In particular:

- the pollution severity of different representative sites is expressed in terms of q_z . Relevant data are given in table F.1;
- the thermal characteristics of the surge arrester are determined according to a procedure derived from that of annex B. This procedure allows the determination of the equivalent thermal time constant τ and the calculation of the parameter β by means of the criteria described in section 4;
- the knowledge of the thermal characteristics of the surge arrester and of the expected pollution severity of the site in which the surge arrester is going to be installed allows a preliminary calculation of the maximum temperature rise in the most conservative conditions in which all the charge relevant to the pollution event would flow internally into the surge arrester;
- if the calculation of the maximum temperature rise $\Delta T_{z \max}$ results in values less than 40 K, the pollution tests are not required and the starting temperature of the operating duty test shall be 60 °C. If the calculation of the maximum temperature rise $\Delta T_{z \max}$ results in values of 40 K or higher, a test according to the procedure described in this annex shall be carried out unless, by agreement between user and manufacturer (for example, based on service experience in specified environments), the pollution test can be omitted. Moreover, at the decision of the manufacturer, even if the calculation of $\Delta T_{z \max}$ results in values higher than 40 K, the pollution test may be avoided using as starting temperature for the operating duty test the value $(20 + \Delta T_{z \max})$ °C;

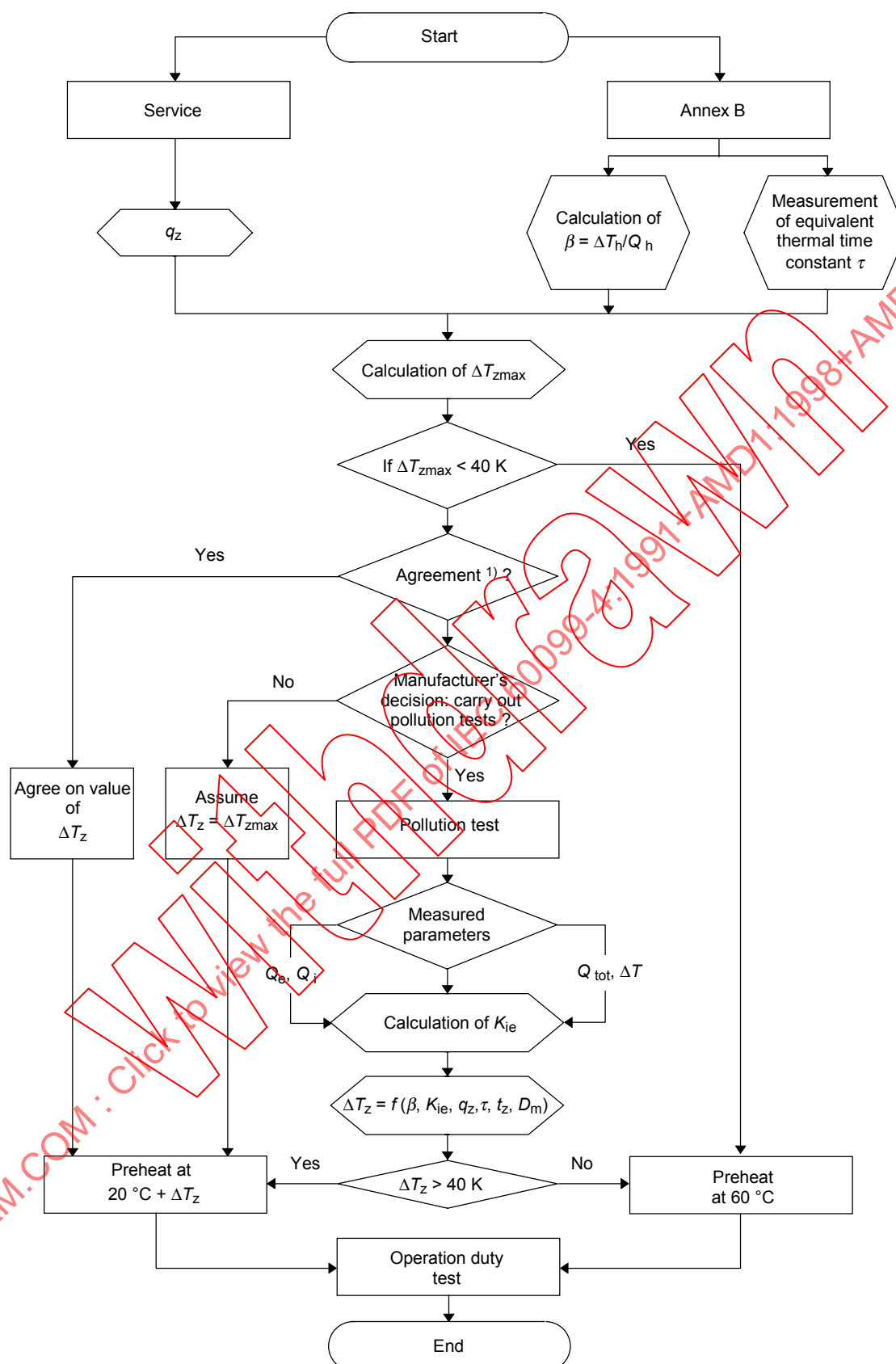
- les essais de pollution en laboratoire, quand ils sont jugés nécessaires, sont effectués sur un parafoudre représentatif d'un certain type et d'une certaine conception. Pendant l'essai de pollution, les charges externe et interne Q_e et Q_i doivent être mesurées pour chaque élément de parafoudre. En alternative, la charge totale Q_{tot} et l'augmentation de température ΔT des parties internes peuvent être mesurées. Une analyse statistique des résultats d'essai est nécessaire pour prendre en compte le comportement stochastique de l'échauffement du parafoudre dans des conditions de pollution. L'élaboration des résultats d'essai, décrite en détail dans les articles suivants, donne le facteur K_{ie} qui exprime la propension de la charge à s'écouler par l'intérieur et donc à échauffer les éléments actifs. Ce facteur est une valeur caractéristique d'un type et d'une conception de parafoudre;
- l'augmentation attendue de température en service ΔT_z est calculée en fonction de q_z , K_{ie} , D_m , t_z , β et τ ;
- la température initiale T_{OD} de l'essai de fonctionnement est calculée sur la base du critère suivant:
 - si ΔT_z est supérieure à 40 K, $T_{OD} = 20\text{ °C} + \Delta T_z$;
 - si ΔT_z est inférieure ou égale à 40 K, $T_{OD} = 60\text{ °C}$;
- l'essai de fonctionnement est réalisé selon la procédure décrite en 7.5 avec une température initiale égale à T_{OD} .

- laboratory pollution tests, when deemed necessary, are carried out on a surge arrester representative of a certain type and design. During the pollution test, the external and internal charges Q_e and Q_i shall be measured for each surge arrester unit. Alternatively, the total charge Q_{tot} and the temperature rise ΔT of the internal parts may be measured. A statistical analysis of the test results is necessary to take into account the stochastic behaviour of the surge arrester heating under pollution conditions. The elaboration of the test results, described in detail in the following clauses, gives the factor K_{ie} which expresses the tendency of the charge to flow internally and therefore to heat the active parts. This factor is a characteristic value for a given surge arrester type and design;
- the expected temperature rise ΔT_z in service is calculated as a function of q_z , K_{ie} , D_m , t_z , β and τ ;
- the starting temperature T_{OD} of the operating duty test is calculated on the basis of the following criteria:
 - if ΔT_z is greater than 40 K, $T_{OD} = 20\text{ °C} + \Delta T_z$;
 - if ΔT_z is lower than or equal to 40 K, $T_{OD} = 60\text{ °C}$;
- the operating duty test is performed according to the procedure described in 7.5 with a starting temperature equal to T_{OD} .



1) Accord entre le constructeur et l'utilisateur (par exemple, sur la base d'un retour d'expérience dans des environnements spécifiques).

Figure F.1 – Organigramme démontrant la procédure permettant de déterminer le préchauffage d'un échantillon en essai



IEC 494/98

¹⁾ Agreement between user and manufacturer (for example based on service experience in specified environment)

Figure F.1 – Flow-chart showing the procedure for determining the preheating of a test sample

F.3 Classification de la sévérité du site

La classification de la sévérité d'un site est effectuée sur la base de la charge externe moyenne prévue q_z , elle-même basée sur des mesures effectuées dans des sites représentatifs de différentes sévérités de pollution.

En considérant que la charge s'écoulant à la surface d'un isolateur est proportionnelle à son diamètre, la valeur de q_z est normalisée à un diamètre équivalent de 1 m.

Les durées de l'épisode de pollution (t_z) sont déterminées comme suit:

- épisode de pollution de durée moyenne de forte intensité: 2 h;
- épisode de pollution de longue durée: 6 h.

La valeur de q_z à considérer dans les calculs est celle qui correspond à la situation la plus sévère (2 h ou 6 h), d'après l'équation (2), pour le niveau de pollution du site d'installation du parafoudre.

Les valeurs de q_z pour les différentes zones de pollution sont reportées dans le tableau F.1:

Tableau F.1 – Charge moyenne externe pour différentes sévérités de la pollution

Niveau de pollution (zone*)	Ligne de fuite spécifique minimale mm/kV	q_z : charge moyenne externe C/h.m	
		$t_z = 2 \text{ h}$	$t_z = 6 \text{ h}$
I – Faible	16	0,5	0,24
II – Moyen	20	3,3	2,4
III – Fort	25	24,0	14,0
IV – Très fort	31	55,0	36,0

* Les niveaux de pollution (zones) correspondent à la définition des niveaux de pollution donnés dans le tableau 1 de la CEI 60815.

NOTE Les valeurs de q_z ont été obtenues en utilisant une valeur de seuil de 2 mA (voir F.6.3.1).

F.4 Essai préliminaire d'échauffement: mesure de la constante de temps thermique τ et calcul de β

Une procédure semblable à celle décrite dans l'annexe B, s'appliquant au parafoudre complet, doit être utilisée, mais avec les restrictions suivantes:

- le temps de chauffage t_h doit être inférieur à 10 min;
- la charge Q_h appliquée au parafoudre pendant l'échauffement doit être mesurée;
- τ est le temps déduit de la courbe de refroidissement du parafoudre entre les températures de 60 °C et $22 + 0,63 T_a$, où T_a est la température ambiante en degrés Celsius.

Le paramètre β doit être calculé selon la formule suivante:

$$\beta = \frac{\Delta T_h}{Q_h} \quad (1)$$

où

ΔT_h est l'augmentation de température pendant l'essai d'échauffement;

Q_h est la charge appliquée pendant l'essai d'échauffement.

NOTE Après l'essai d'échauffement, on doit vérifier que le temps de chauffage t_h est inférieur à $0,1 \times \tau$, sinon l'essai d'échauffement doit être répété avec un temps t_h plus court.

F.3 Classification of site severity

The classification of the pollution severity of a site is made on the basis of the expected mean external charge q_z , based on measurements carried out in sites representative of different pollution severities.

Considering that the charge flowing on the surface of an insulator is proportional to its diameter, the value of q_z is normalized to an equivalent diameter of 1 m.

The duration of pollution phenomena (t_z) are assumed as follows:

- pollution event of medium duration with high intensity: 2 h;
- pollution event of long duration: 6 h.

The value of q_z to be considered in the subsequent calculations is that one corresponding to the most severe situation (2 h or 6 h), according to equation (2), for the pollution level relevant to the site of installation of the surge arrester.

The values of q_z for the different pollution zones are given in table F.1.

Table F.1 – Mean external charge for different pollution severities

Pollution level (zone*)	Minimum specific creepage distance mm/kV	q_z mean external charge C/h·m	
		$t_z = 2 \text{ h}$	$t_z = 6 \text{ h}$
I – Light	16	0,5	0,24
II – Medium	20	3,3	2,4
III – Heavy	25	24,0	14,0
IV – Very heavy	31	55,0	36,0
* Pollution levels (zones) correspond to the definition of pollution levels given in table 1 of IEC 60815.			
NOTE The q_z values were obtained using a threshold value of 2 mA (see F.6.3.1).			

F.4 Preliminary heating test: measurement of the thermal time constant τ and calculation of β

A procedure similar to that specified in annex B, relevant to the complete arrester, shall be used, but with the following exceptions:

- the heating time (t_h) shall be shorter than 10 min;
- the charge Q_h applied to the surge arrester during the heating shall be measured;
- τ is the time derived from the cooling curve of the arrester between the temperatures of 60 °C and $22 + 0,63 T_a$, where T_a is the ambient temperature in degrees Celsius.

The parameter β shall be calculated according to the following equation:

$$\beta = \frac{\Delta T_h}{Q_h} \quad (1)$$

where

ΔT_h is the temperature rise during the heating test;

Q_h is the charge applied during the heating test.

NOTE After the heating test, it shall be verified that the heating time (t_h) is shorter than $0,1 \times \tau$, otherwise the heating test shall be repeated with a shorter t_h .

F.5 Vérification de la nécessité de réaliser les essais de pollution

De façon à vérifier le besoin réel de réaliser l'essai de pollution, un calcul préliminaire de l'augmentation maximale théorique de température en service ($\Delta T_{z \max}$) doit être effectué. Ce calcul suppose que toute la charge attendue en service (q_z) s'écoule à l'intérieur. C'est une situation théorique extrême. Dans ce contexte, $\Delta T_{z \max}$ peut être calculée comme suit:

$$\Delta T_{z \max} = \beta q_z D_m \tau \left(1 - e^{\left(-\frac{t_z}{\tau} \right)} \right) \left(\frac{U_r - U_{r \min}}{U_r} \right) \quad (2)$$

où

U_r est la tension assignée du parafoudre;

$U_{r \min}$ est la tension assignée minimale des éléments.

Si le calcul de l'augmentation maximale de température $\Delta T_{z \max}$ conduit à des valeurs inférieures à 40 K, les essais de pollution ne sont pas nécessaires et la température initiale de l'essai de fonctionnement combiné doit être 60 °C. Si le calcul de l'augmentation maximale de température $\Delta T_{z \max}$ conduit à des valeurs supérieures ou égales à 40 K, un essai selon la procédure décrite dans cette annexe doit être effectué, mais il peut néanmoins être omis après accord entre l'utilisateur et le constructeur (par exemple, sur la base d'un retour d'expérience dans des environnements spécifiques). De plus, selon la décision du constructeur même si le calcul de $\Delta T_{z \max}$ conduit à des valeurs supérieures à 40 K, l'essai de pollution peut être évité en utilisant une température initiale pour l'essai de fonctionnement combiné égale à $(20 + \Delta T_{z \max})$ °C.

F.6 Exigences générales pour l'essai de pollution

F.6.1 Echantillon en essai

L'échantillon en essai doit être représentatif de la conception la plus critique correspondant à un certain type de parafoudre.

Les caractéristiques de l'échantillon en essai doivent être retenues de façon à respecter les critères du tableau F.2.

Tableau F.2 – Caractéristiques de l'échantillon utilisé lors de l'essai de pollution

Paramètre	Critères de sélection (caractéristique de l'échantillon en essai en rapport avec son type de conception)
U_c/U_R	Maximum
Déséquilibre pondéré (WU)*	Maximum
Ligne de fuite spécifique [mm/kV]	Minimum
Section des varistances	Minimum
Diamètre équivalent de la porcelaine	Maximum

Le déséquilibre pondéré (WU) doit être calculé comme suit:

$$WU = \max. \left(\frac{U_{rk}^2 CD}{CD_k U_r^2} \right) \quad (3)$$

où

U_r est la tension assignée du parafoudre;

U_{rk} est la tension assignée de l'élément k;

CD est la ligne de fuite du parafoudre;

CD_k est la ligne de fuite de l'unité k;

n est le nombre d'éléments du parafoudre;

$k = 1, 2, \dots, n$.

F.5 Verification of the need to perform the pollution tests

In order to check the effective need to carry out the pollution test, a preliminary calculation of the maximum theoretical temperature rise in service ($\Delta T_{z \max}$) shall be carried out. This calculation assumes that all the charge expected in service (q_z) flows internally. In this hypothesis, $\Delta T_{z \max}$ can be derived as follows:

$$\Delta T_{z \max} = \beta q_z D_m \tau \left(1 - e^{\left(-\frac{t_z}{\tau} \right)} \right) \left(\frac{U_r - U_{r \min}}{U_r} \right) \quad (2)$$

where

U_r is the rated voltage of the surge arrester;

$U_{r \min}$ is the minimum rated voltage among the surge arrester units.

If the calculation of the maximum temperature rise $\Delta T_{z \max}$ results in values less than 40 K, the pollution tests are not required and the starting temperature of the operating duty test shall be 60 °C. If the calculation of the maximum temperature rise $\Delta T_{z \max}$ results in values of 40 K or higher, a test according to the procedure described in this annex shall be carried out unless, by agreement between user and manufacturer (for example, based on service experience in specified environments) the pollution test can be omitted. Moreover, at the decision of the manufacturer, even if the calculation of $\Delta T_{z \max}$ results in values higher than 40 K, the pollution test may be avoided by using as starting temperature for the operating duty test the value $(20 + \Delta T_{z \max})$ °C.

F.6 General requirements for the pollution test

F.6.1 Test sample

The test sample shall be representative of the most critical design relevant to a certain arrester type.

The characteristics of the test sample shall be selected according to the criteria given in table F.2.

Table F.2 – Characteristic of the sample used for the pollution test

Parameter	Selection criteria (characteristic of the sample to be tested with respect to the relevant design type)
U_c/U_r	Maximum
Weighted unbalance (WU) *	Maximum
Specific creepage distance [mm/kV]	Minimum
Block cross-sectional area	Minimum
Equivalent porcelain diameter	Maximum

* The weighted unbalance (WU) shall be derived as follows:

$$WU = \max. \left(\frac{U_{rk}^2 CD}{CD_k U_r^2} \right) \quad (3)$$

where

U_r is the rated voltage of the surge arrester;

U_{rk} is the rated voltage of the unit k;

CD is the creepage distance of the surge arrester;

CD_k is the creepage distance of the unit k;

n is the number of units of the surge arrester;

$k = 1, 2, \dots, n$.

F.6.2 Installations d'essais

Les installations d'essais doivent remplir les exigences du paragraphe 6.2 de la CEI 60507.

F.6.3 Instrumentation et procédures de mesure

F.6.3.1 Mesure de la charge

Un équipement adapté doit être utilisé pour la mesure de la charge.

Pour la mesure de la charge interne, seule la composante résistive du courant doit être considérée: l'influence de la composante capacitive sur la mesure de la charge doit donc être éliminée. Des exemples de méthodes pour éliminer l'influence du courant capacitif sont la soustraction des formes d'ondes ou l'intégration au-dessus d'un seuil (par exemple 2 mA, voir le tableau F.1).

Les exigences minimales pour l'appareil de mesure sont décrites dans le tableau F.3a.

Tableau F.3a – Exigences relatives à l'appareil de mesure de la charge

Caractéristique	Exigence
Gamme minimale d'intégration de courant	0 mA à 500 mA
Résolution minimale en courant	0,2 mA
Bande passante analogique minimale	0 Hz à 2 000 Hz
Fréquence d'échantillonnage minimale	1 000 Hz
Durée maximale de rafraîchissement de la charge	1 min
Charge capacitive résiduelle maximale pendant la durée de rafraîchissement	±10 % de la charge totale pendant la durée de rafraîchissement
Incertitude globale maximale de mesure	±10 %

Dans le cas des parafoudres à deux éléments, les charges interne et externe doivent être mesurées sur les connexions à la fois côté tension et côté terre.

Dans le cas de parafoudres constitués de plus de deux unités, la procédure de mesure suivante doit être adoptée:

- les charges interne et externe doivent être mesurées sur les connexions du parafoudre à la fois côté tension et côté terre;
- seule la charge externe doit être mesurée pour les unités intermédiaires;
- la charge interne est évaluée à l'aide de la formule suivante:

$$Q_i = \frac{(Q_{iT} + Q_{eT}) + (Q_{iB} + Q_{eB})}{2} - Q_e \quad (4)$$

où:

Q_i est la charge interne de l'unité intermédiaire;

Q_{iT} est la charge interne de l'unité supérieure;

Q_{iB} est la charge interne de l'unité inférieure;

Q_e est la charge externe de l'unité intermédiaire;

Q_{eT} est la charge externe de l'unité supérieure;

Q_{eB} est la charge externe de l'unité inférieure.

F.6.2 Testing plant

The testing plant shall fulfil the requirements of 6.2 of IEC 60507.

F.6.3 Measuring devices and measuring procedures

F.6.3.1 Measurement of the charge

A suitable device for the measurement of the charge shall be used.

For the measurement of the internal charge, only the resistive component of the current shall be considered: the effect of the capacitive current on the charge measurement shall be eliminated. Examples of methods for eliminating the effect of the capacitive current are the waveform subtraction method or the integration upon exceeding a threshold limit (for example 2 mA, see table F.1).

The minimum requirements for the measuring device are given in table F.3a.

Table F.3a – Requirements for the device used for the measurement of the charge

Characteristic	Requirement
Minimum current integration range	0 mA to 500 mA
Minimum current resolution	0,2 mA
Minimum analogue bandwidth	0 Hz to 2 000 Hz
Minimum sampling frequency	1 000 Hz
Maximum updating period of the charge	1 min
Maximum residual capacitive charge in the updating period	±10 % of the total charge in the updating period
Maximum overall measurement uncertainty	±10 %

In the case of two-unit surge arresters, the internal and external charges shall be measured both on the line and earth terminals.

In the case of surge arresters composed of more than two units, the following measuring procedure shall be adopted:

- the internal and external charges shall be measured on the line and earth terminals of the surge arrester;
- only the external charge shall be measured for intermediate units;
- the internal charge is evaluated by means of the following equation:

$$Q_i = \frac{(Q_{iT} + Q_{eT}) + (Q_{iB} + Q_{eB})}{2} - Q_e \quad (4)$$

where

- Q_i is the internal charge of the intermediate unit;
- Q_{iT} is the internal charge of the top unit;
- Q_{iB} is the internal charge of the bottom unit;
- Q_e is the external charge of the intermediate unit;
- Q_{eT} is the external charge of the top unit;
- Q_{eB} is the external charge of the bottom unit.

F.6.3.2 Mesure de la température

La température des parties internes du parafoudre peut être mesurée à la place de la charge interne.

Dans ce cas, la mesure de la température doit être effectuée avec des capteurs disposés dans au moins trois points répartis dans chaque élément. La distance entre les capteurs doit être $h/(n + 1)$ où h est la hauteur de l'élément et n le nombre de capteurs utilisés.

Les exigences minimales pour les appareils sont décrites dans le tableau F.3b.

Tableau F.3b – Exigences relatives à l'appareil de mesure de la température

Caractéristique	Exigence
Plage de la température de mesure	20 °C à 200 °C
Incertitude absolue de mesure	±1 K
Résolution	≤0,4 K
Constante de temps thermique maximale	1 min
Fréquence d'échantillonnage minimale	1 min ⁻¹
NOTE Les échauffements mesurés lors de ces essais sont généralement inférieurs à 100 K.	

Dans le cas d'une mesure de la température interne, la charge Q_{tot} doit être mesurée seulement sur la connexion du parafoudre côté terre.

F.6.4 Préparation de l'essai

F.6.4.1 Nettoyage de l'échantillon en essai

L'enveloppe du parafoudre doit être soigneusement nettoyée de façon que toute trace de poussière ou de graisse soit enlevée.

Après le nettoyage, les éléments de l'isolation du parafoudre ne doivent pas être touchés à la main.

De l'eau, de préférence chauffée à 50 °C, additionnée de phosphate de soude ou d'un détergent équivalent, doit être utilisée, après quoi l'enveloppe isolante doit être bien rincée avec de l'eau du robinet.

La surface de l'enveloppe isolante est supposée être suffisamment propre et débarrassée de toute graisse si de larges zones humides sont observées.

F.6.4.2 Installation de l'échantillon

Le parafoudre doit être essayé complètement assemblé comme il est prévu de l'utiliser en service. Les appareils utilisés pour la mesure de la charge et de la température ne doivent pas avoir d'influence significative sur le comportement du parafoudre en essai.

F.6.3.2 Measurement of the temperature

The temperature of the internal parts of the arrester may be measured instead of the internal charge.

In this case the measurement of the temperature shall be performed by means of sensors positioned in at least three evenly distributed positions along each unit. The distance between the sensors shall be $h/(n+1)$ where h is the height of the unit and n the number of sensors used.

The minimum requirements for the devices are given in table F.3b.

Table F.3b – Requirements for the device used for the measurement of the temperature

Characteristic	Requirement
Temperature measuring range	20 °C to 200 °C
Absolute measuring uncertainty	± 1 K
Resolution	$\leq 0,4$ K
Maximum thermal time constant	1 min
Minimum sampling rate	1 min^{-1}
NOTE Typical temperature rises in the test are below 100 K.	

In the case of internal temperature measurement, the charge Q_{tot} shall be measured only at the earth terminal of the surge arrester.

F.6.4 Test preparation

F.6.4.1 Cleaning of the test sample

The surge arrester housing shall be carefully cleaned so that all traces of dirt and grease are removed.

After cleaning the insulating parts of the surge arrester shall not be touched by hand.

Water, preferably heated to 50 °C, with the addition of trisodium phosphate or equivalent detergent, shall be used, after which the insulator shall be thoroughly rinsed with tap water.

The surface of the insulator is deemed sufficiently clean and free from any grease if large continuous wet areas are observed.

F.6.4.2 Installation of the sample

The arrester shall be tested completely assembled as it is intended to be used in service. The devices used for the measurement of the charge and of the temperature shall not have any significant influence on the behaviour of the surge arrester under test.

F.7 Procédures d'essai

Une des deux procédures d'essai décrite en F.7.1 et F.7.2 peut être utilisée.

F.7.1 Méthode de pollution boueuse

F.7.1.1 Généralités

F.7.1.1.1 Préparation du polluant

Le polluant doit être stocké dans un récipient tel qu'il puisse être fermement agité juste avant son application. Le polluant doit consister en un mélange

- d'eau;
- de bentonite, 5 g/litre d'eau;
- d'un détergent non dilué et non ionisé composé d'un ether-glycol-polyéthylène-phénol-nonyl ou d'autres esters à longue chaîne non ionisés comparables, 1 g/litre d'eau,
- de chlorure de sodium.

La résistivité volumique du mélange doit être ajustée par addition de chlorure de sodium dans une fourchette de 400 Ωcm à 500 Ωcm .

La résistivité volumique doit être mesurée à une température de 20 °C. Si la température du mélange au moment de la mesure est différente de 20 °C, une correction de température doit être effectuée.

F.7.1.1.2 Conditions d'ambiance

Au début de l'essai, le parafoudre doit être en équilibre thermique avec l'air du hall d'essai. La température ambiante ne doit pas être inférieure à 5 °C ni supérieure à 40 °C.

F.7.1.2 Préconditionnement de la surface du parafoudre

Avant de commencer le preconditionnement, la tension de référence du parafoudre doit être déterminée selon la procédure spécifiée en 6.2.

Les étapes suivantes doivent être effectuées:

- a) le parafoudre étant hors-tension, le polluant doit être appliqué sur le parafoudre complet, incluant la face inférieure des ailettes. La couche de pollution doit apparaître comme un film continu. La durée maximale d'application du polluant est de 10 min;
- b) trois minutes après avoir terminé l'application du polluant, le parafoudre doit être placé à la tension U_c (voir note 2 de F.7.1.3) pendant 10 min;
- c) le parafoudre doit être nettoyé par un lavage à l'eau et, juste après, doit être laissé s'égoutter;
- d) les étapes a), b) et c) doivent être répétées trois fois.

A la fin du preconditionnement, le parafoudre doit être laissé se refroidir à la température ambiante.

Pour vérifier qu'aucun dommage n'ait affecté le parafoudre pendant le preconditionnement, la tension de référence du parafoudre doit être mesurée et comparée avec la mesure effectuée avant le preconditionnement. Des limites acceptables de variation de la tension de référence doivent être indiquées par le constructeur.

L'essai doit démarrer aussi vite que possible après la fin du preconditionnement.

F.7 Test procedures

One of the two test procedures described in F.7.1 and F.7.2 may be used.

F.7.1 Slurry method

F.7.1.1 General

F.7.1.1.1 Contaminant preparation

The contaminant shall be stored in a container so that it can be thoroughly agitated just prior to application. The contaminant shall consist of a slurry of

- water;
- bentonite, 5 g per litre of water;
- an undiluted non-ionic detergent consisting of nonyl-phenol-polyethylene-glycol ether, or other comparable long-chain non-ionic ether; 1 g per litre of water;
- sodium chloride.

The volume resistivity of the slurry shall be adjusted by addition of sodium chloride to range between 400 Ωcm and 500 Ωcm .

Volume resistivity shall be measured at a temperature of 20 °C. If during the measurement of the volume resistivity, the temperature of the slurry is different from 20 °C, a calculation for temperature correction shall be made.

F.7.1.1.2 Ambient conditions

At the start of the test, the surge arrester shall be in thermal equilibrium with the air in the test chamber. The ambient temperature shall not be less than 5 °C nor greater than 40 °C.

F.7.1.2 Preconditioning of the surge arrester surface

Before starting the preconditioning, the reference voltage of the surge arrester shall be determined, according to the procedure specified in 6.2.

The following steps shall be applied:

- a) with the arrester de-energized, the pollutant shall be applied to the complete arrester, including the underside of the sheds. The pollution layer shall appear as a continuous film. Maximum time for application of the pollutant is 10 min;
- b) three minutes after the slurry application is completed the arrester shall be energized at a voltage U_c (see note 2 of F.7.1.3) for 10 min;
- c) the arrester shall be cleaned by washing with water and thereafter left to drip-dry.
- d) steps a), b) and c) shall be repeated three times.

At the end of the preconditioning process, the surge arrester shall be left to cool at ambient temperature.

In order to verify that no damage has occurred to the surge arrester during the preconditioning process, the reference voltage of the surge arrester shall be measured and compared with the measurement performed before the preconditioning. Acceptable limits of variation of the reference voltage shall be specified by the manufacturer.

The test shall start as soon as possible after completion of the preconditioning process.

F.7.1.3 Procédure d'essai

Les étapes suivantes doivent être effectuées:

- a) le parafoudre étant hors-tension, le polluant doit être appliqué sur le parafoudre complet, incluant la face inférieure des ailettes. La couche de pollution doit apparaître comme un film continu. La durée maximale d'application du polluant est de 10 min;
- b) trois minutes après avoir terminé l'application du polluant, le parafoudre doit être placé à la tension U_c (voir note 2) pendant 10 min; la mesure de la charge doit débuter au moment de l'application de la tension;
- c) le parafoudre doit être nettoyé par un lavage à l'eau et, juste après, doit être laissé s'égoutter. Avant de passer à l'essai suivant, les éléments internes du parafoudre doivent refroidir jusqu'à une température proche de ± 2 K de la moyenne ambiante. Si la température des parties internes n'est pas mesurée, une durée minimale de 24 doit séparer deux essais consécutifs pour s'assurer que le parafoudre s'est refroidi à une température proche de l'ambiante. N'importe quel moyen pour refroidir les parafoudres à une température proche de l'ambiante, accepté par le constructeur, est permis. Plusieurs parafoudres peuvent être essayés en parallèle de façon à réduire le temps d'attente;
- d) les étapes a), b) et c) doivent être répétées cinq fois;
- e) l'augmentation de température prévue ΔT_z doit être calculée selon la procédure spécifiée à l'article F.8;
- f) si la valeur de ΔT_z est inférieure à 40 K, aucun autre essai de pollution n'est nécessaire, et la température initiale T_{OD} de l'essai de fonctionnement combiné doit être 60 °C; Dans le cas où la valeur de ΔT_z est supérieure ou égale à 40 K, les étapes a), b) et c) doivent être répétées cinq fois supplémentaires et l'augmentation prévue de température ΔT_z doit être calculée selon la procédure spécifiée à l'article F.8.

NOTE 1 Le lavage après chaque cycle est utilisé pour éliminer toute influence des cycles d'essai précédents et, de ce fait, améliorer l'indépendance statistique entre les cycles d'essais.

NOTE 2 Dans les cas où la tension de service permanent, pour d'autres raisons, a été choisie très supérieure à la tension phase-terre du système, l'essai peut être réalisé à la tension phase-terre après accord entre le client et le constructeur.

F.7.2 Méthode du brouillard salin

F.7.2.1 Généralités

F.7.2.1.1 Préparation du polluant

La solution salée doit être préparée selon l'article 7 de la CEI 60507: la solution salée doit être constituée de chlorure de sodium (NaCl) de pureté commerciale et d'eau du robinet.

La salinité utilisée doit être deux niveaux en dessous de la salinité tenue du parafoudre. Les tolérances sur la valeur de la salinité doivent être conformes à l'article 7 de la CEI 60507. La mesure de la salinité doit être effectuée en mesurant la conductivité avec une correction de température en accord avec la CEI 60507.

F.7.2.1.2 Système de pulvérisation

Le système de production du brouillard salin doit être en accord avec les spécifications de l'article 8 de la CEI 60507.

F.7.1.3 Test procedure

The following steps shall be applied:

- a) with the arrester de-energized, the pollutant shall be applied to the complete arrester, including the underside of the sheds. The pollution layer shall appear as a continuous film. Maximum time for application of the pollutant is 10 min;
- b) three minutes after the slurry application is completed the arrester shall be energized at a voltage U_c (see note 2) for 10 min; the charge measurement shall start at the moment of voltage application;
- c) the arrester shall be cleaned by washing with water and thereafter left to drip dry. Before starting the next test the internal parts of the arrester shall be left to cool to maximum ± 2 K from the average ambient temperature. If the temperature of the internal parts is not measured, a minimum time of 2τ shall be interposed between two subsequent tests in order to ensure that the surge arrester has cooled close to ambient temperature. Any means to cool the arresters to near ambient temperature, which are accepted by the manufacturer, are permitted. Several arresters may be tested in parallel in order to reduce the waiting time;
- d) steps a), b) and c) shall be repeated five times;
- e) the expected temperature rise ΔT_z shall be calculated according to the procedure specified in clause F.8;
- f) if the value of ΔT_z is lower than 40 K, no further pollution test is required and the starting temperature T_{OD} of the operating duty test shall be 60 °C. If the value of ΔT_z is higher than or equal to 40 K, steps a), b) and c) shall be repeated five more times and the expected temperature rise ΔT_z shall be calculated according to the procedure specified in clause F.8.

NOTE 1 The washing after each cycle is used to remove any influence from previous test cycles and thus improve the statistical independence between test cycles.

NOTE 2 In cases in which the continuous operating voltage out of other reasons has been selected much higher than the phase-to-earth operating voltage of the system, the test may be carried out at the phase-to-earth voltage by agreement between manufacturer and purchaser.

F.7.2 Salt fog method

F.7.2.1 General

F.7.2.1.1 Contaminant preparation

The salt solution shall be prepared in accordance with clause 7 of IEC 60507: the salt solution shall be made of sodium chloride (NaCl) of commercial purity and tap water.

The salinity used shall be two steps below the specified withstand salinity of the surge arrester. Tolerances on the value of the salinity shall be in accordance with clause 7 of IEC 60507. The measurement of the salinity shall be made by measuring the conductivity with a correction of temperature in line with the indications of IEC 60507.

F.7.2.1.2 Spraying system

The system for the production of the salt fog shall be in accordance with the specifications of clause 8 in IEC 60507.

F.7.2.1.3 Préconditionnement de la surface du parafoudre

Avant de commencer le preconditionnement, la tension de référence du parafoudre doit être déterminée, conformément à la procédure spécifiée en 6.2.

Le preconditionnement doit être effectué sur un seul élément du parafoudre à la fois. Si le preconditionnement est effectué sur les éléments assemblés du parafoudre, les autres éléments sont donc court-circuités avec un fil externe, et ne sont pas sous tension.

L'élément doit être mis sous sa tension U_c et soumis au brouillard salin pendant 20 min ou jusqu'à un contournement.

Si aucun contournement ne se produit, la tension est augmentée jusqu'à la tension assignée de l'élément du parafoudre pendant 5 s ou jusqu'à contournement et est alors abaissée de nouveau à la valeur U_c pendant 5 min. Cette procédure est répétée jusqu'à ce que huit contournements soient obtenus.

De façon à obtenir les huit contournements sans un nombre excessivement important de cycles d'augmentation de la tension, le preconditionnement doit être effectué à une valeur de salinité de préférence plus élevée que la tenue maximale attendue de l'unité.

En accord entre le client et le constructeur, le preconditionnement peut également être réalisé sur l'enveloppe du parafoudre sans les parties internes.

Après le preconditionnement de chaque élément, le brouillard doit se dissiper et le parafoudre doit être nettoyé avec de l'eau du robinet.

A la fin de la procédure de preconditionnement, le parafoudre doit se refroidir à la température ambiante.

De façon à vérifier que le parafoudre n'a subi aucun dommage pendant la procédure de preconditionnement, la tension de référence du parafoudre doit être mesurée et comparée avec la mesure effectuée avant le preconditionnement. Des limites acceptables de variation de la tension de référence doivent être spécifiées par le constructeur.

L'essai de brouillard salin doit démarrer aussi vite que possible après la fin de la procédure de preconditionnement.

Au début de l'essai, le parafoudre doit être en équilibre thermique avec l'air du hall d'essai. La température ambiante ne doit pas être inférieure à 5 °C ni supérieure à 40 °C et l'écart avec la température de la solution aqueuse ne doit pas dépasser 15 K.

F.7.2.2 Procédure d'essai

Les étapes suivantes doivent être effectuées:

- le parafoudre doit être uniformément rincé avec de l'eau du robinet. La tension d'essai U_c (voir note 2) doit être appliquée pendant que le parafoudre est encore entièrement humide;
- le parafoudre doit être placé sous la tension d'essai spécifiée et la pompe de la solution saline ainsi que le compresseur d'air doivent être mis en route. L'essai est supposé avoir débuté aussitôt que l'air comprimé a atteint la pression normale de service aux gicleurs. Cet instant de début s'applique aussi pour le système de mesure de la charge;
- la production de brouillard doit être stoppée après 15 min et le parafoudre doit être maintenu sous tension pendant 15 min de plus;

F.7.2.1.3 Preconditioning of the arrester surface

Before starting the preconditioning, the reference voltage of the surge arrester shall be determined, according to the procedure specified in 6.2.

The preconditioning process shall be carried out on one unit of the surge arrester at a time. If the preconditioning is carried out on the units assembled in the surge arrester, the other units are therefore short-circuited with an external wire, and are not energized.

The unit shall be energized at voltage U_c and submitted to the salt fog for 20 min or until flashover.

If flashover does not occur, the voltage is raised to the rated voltage of the surge arrester unit for 5 s or until flashover, and then lowered again to the U_c value for 5 min. This procedure is repeated until eight flashovers are obtained.

In order to obtain the eight flashovers without an excessively high number of voltage increase cycles, the preconditioning shall be carried out at a value of salinity preferably higher than the expected maximum withstand level of the unit.

Alternatively, by agreement between the manufacturer and the purchaser, the preconditioning may be carried out on the arrester housing without the internal elements.

After the preconditioning of each unit, the fog shall be cleared and the surge arrester shall be washed down with tap water.

At the end of the preconditioning process, the surge arrester shall be allowed to cool to ambient temperature.

In order to verify that no damage has occurred to the surge arrester during the preconditioning process, the reference voltage of the surge arrester shall be measured and compared with the measurement carried out before the preconditioning. Acceptable limits of variation of the reference voltage shall be specified by the manufacturer.

The salt fog test shall start as soon as possible after completion of the preconditioning process.

At the start of the test, the surge arrester shall be in thermal equilibrium with the air in the test chamber. The ambient temperature shall not be less than 5 °C nor greater than 40 °C and its difference from the temperature of the water solution shall not exceed 15 K.

F.7.2.2 Test procedure

The following steps shall be applied:

- a) the surge arrester shall be uniformly rinsed with tap water. The test voltage U_c (see note 2) shall be applied while the surge arrester is still completely wet;
- b) the surge arrester shall be energized at the specified test voltage and the salt-solution pump and air compressor shall be switched on. The test is deemed to have started as soon as the compressed air has reached the normal operating pressure at the nozzles. This starting time is intended also for the charge measurement system;
- c) the fog production shall be stopped after 15 min and the surge arrester shall be kept energized for another 15 min;

- d) le brouillard salin doit être dissipé et le parafoudre doit se refroidir jusqu'à la température ambiante avant de démarrer le cycle suivant. De façon à s'assurer que le parafoudre s'est refroidi à une température proche de l'ambiante, une durée minimale de 2τ doit séparer deux essais consécutifs. N'importe quel moyen pour refroidir les parafoudres à une température proche de l'ambiante, acceptés par le constructeur, est permis. Plusieurs parafoudres peuvent être essayés en parallèle de façon à réduire le temps d'attente;
- e) les étapes a), b), c) et d) doivent être répétées cinq fois;
- f) l'augmentation de température prévue ΔT_z doit être calculée selon la procédure spécifiée à l'article F.8;
- g) si la valeur de ΔT_z est inférieure à 40 K, aucun autre essai de pollution n'est nécessaire; et la température initiale T_{OD} de l'essai de fonctionnement combiné doit être 60 °C. Dans le cas où la valeur de ΔT_z est supérieure ou égale à 40 K, les étapes a), b), c) et d) doivent être répétées cinq fois supplémentaires et l'augmentation prévue de température ΔT_z doit être calculée selon la procédure spécifiée à l'article F.8.

NOTE 1 Le lavage après chaque cycle est utilisé pour éliminer toute influence des cycles d'essai précédents et, de ce fait, améliorer l'indépendance statistique entre les cycles d'essais.

NOTE 2 Dans les cas où la tension de service permanent, pour d'autres raisons, a été choisie très supérieure à la tension phase-terre du système, l'essai peut être réalisé à la tension phase-terre après accord entre le client et le constructeur.

F.8 Evaluation des résultats des essais

F.8.1 Calcul de K_{ie}

Pour chaque répétition de cycle d'essai, la valeur de K_n est calculée comme suit:

$$K_n = \frac{\sum_{k=1}^n \left(\frac{Q_{ik} U_{rk}}{U_r} \right)}{Q_{e \max}} \quad (5)$$

où

- $Q_{e \max}$ est le maximum des niveaux de charge externe;
- Q_{ik} est la charge interne correspondant à l'élément k ;
- U_{rk} est la tension assignée de l'élément k ;
- U_r est la tension assignée du parafoudre;
- $k = 1, 2, \dots, n$;
- n est le nombre d'éléments du parafoudre.

Dans le cas où la température des parties internes a été mesurée à la place de la charge interne, l'équation (5) est remplacée par l'équation (6):

$$K_n = \frac{\sum_{k=1}^n \left(\frac{\Delta T_k U_{rk}}{\beta U_r} \right)}{Q_{e \max}} \quad (6)$$

où ΔT_k est l'augmentation de la température correspondant à l'élément k calculé comme la moyenne arithmétique des maximums de température dans les différents points de l'élément.

NOTE Si l'augmentation de température interne ΔT_k est directement mesurée pendant l'essai, $Q_{e \max}$ peut être calculée selon l'équation suivante:

$$Q_{e \max} = \max \left(Q_{\text{tot}} - \frac{\Delta T_k}{\beta} \right) \quad (7)$$

- d) the salt fog shall be evacuated and the surge arrester shall be allowed to cool to ambient temperature before starting the subsequent cycle. In order to ensure that the surge arrester has cooled close to ambient temperature a minimum time of 2τ shall be interposed between two subsequent tests. Any means to cool the arresters to near ambient temperature, which are accepted by the manufacturer, are allowed. Several arresters may be tested in parallel in order to reduce the waiting time;
- e) steps a), b), c) and d) shall be repeated five times;
- f) the expected temperature rise ΔT_z shall be calculated according to the procedure specified in clause F.8;
- g) if the value of ΔT_z is lower than 40 K, no further pollution test is required and the starting temperature T_{OD} of the operating duty test shall be 60 °C. If the value of ΔT_z is higher than or equal to 40 K, steps a), b), c) and d) shall be repeated five more times and the expected temperature rise ΔT_z shall be calculated according to the procedure specified in clause F.8.

NOTE 1 The washing after each cycle is used to remove any influence from previous test cycles and thus improve the statistical independence between test cycles.

NOTE 2 In cases in which the continuous operating voltage out of other reasons has been selected much higher than phase-to-earth operating voltage of the system, the test may be carried out at this phase-to-earth voltage by agreement between manufacturer and purchaser.

F.8 Evaluation of test results

F.8.1 Calculation of K_{ie}

For each repetition of the test cycle the value of K_n is calculated as follows:

$$K_n = \frac{\sum \left(\frac{Q_{ik} U_{rk}}{U_r} \right)}{Q_{e \max}} \quad (5)$$

where

$Q_{e \max}$ is the maximum of external charge levels;

Q_{ik} is the internal charge relevant to unit k ;

U_{rk} is the rated voltage of unit k ;

U_r is the rated voltage of the surge arrester;

$k = 1, 2, \dots, n$;

n is the number of units of the surge arrester.

In the case in which the temperature of the internal parts has been measured instead of the internal charge, equation (5) is replaced by equation (6):

$$K_n = \frac{\sum \left(\frac{\Delta T_k U_{rk}}{\beta U_r} \right)}{Q_{e \max}} \quad (6)$$

where ΔT_k is the temperature rise relevant to unit k calculated as the arithmetical mean value between the maximum temperature measured in the different points of the unit.

NOTE If the internal temperature rise ΔT_k is directly measured during the test, $Q_{e \max}$ can be calculated according to the following equation:

$$Q_{e \max} = \max \left(Q_{\text{tot}} - \frac{\Delta T_k}{\beta} \right) \quad (7)$$

La valeur moyenne K_{ieM} est calculée comme la moyenne arithmétique des valeurs K_n , σ est calculé comme l'écart-type des valeurs K_n , et le rapport statistique K_{ie} est calculé selon la formule suivante:

$$K_{ie} = K_{ieM} + c \sigma \quad (8)$$

où

$c = 2$ dans le cas où le calcul est conduit sur la base de mesures obtenues avec 10 cycles d'essais;

$c = 2,9$ dans le cas où le calcul est conduit sur la base de mesures obtenues avec cinq cycles d'essais.

F.8.2 Calcul de l'augmentation de température en service estimée ΔT_z

L'augmentation de température estimée ΔT_z est calculée selon l'équation suivante:

$$\Delta T_z = \beta K_{ie} q_z D_m \tau \left(1 - e^{-\left(\frac{t_z}{\tau}\right)} \right) \quad (9)$$

F.8.3 Préparation pour l'essai de fonctionnement

La température initiale T_{OD} de l'essai de fonctionnement est calculée sur la base du critère suivant:

- si ΔT_z est supérieure à 40 K, $T_{OD} = 20^\circ\text{C} + \Delta T_z$;
- si ΔT_z est inférieure ou égale à 40 K, $T_{OD} = 60^\circ\text{C}$.

L'essai de fonctionnement est réalisé selon la procédure décrite en 7.5 avec une température initiale égale à T_{OD} .

F.9 Exemple

L'exemple suivant présente l'application de la procédure d'essai à un parafoudre qui a les caractéristiques suivantes.

U_r	198 kV
$U_{r \text{ min}}$	90 kV
U_c	156 kV
tension d'essai	142 kV (voir note)
nombre d'éléments	2
U_r (élément inférieur)	90 kV
U_r (élément supérieur)	108 kV
D_m	198 mm

NOTE La valeur de la tension d'essai a été choisie en accord avec la note 2 de F.7.2.2.

F.9.1 Essai préliminaire de chauffage

Les résultats des essais préliminaires d'échauffement sont les suivants:

τ 1,5 h

β 19 K/C (c'est-à-dire qu'une charge de 5,3 C a été nécessaire pour chauffer le parafoudre de 20 °C à 120 °C)

The average value K_{ieM} is calculated as the arithmetical mean of the values of K_n , σ is calculated as the standard deviation of the values of K_n , and the statistical ratio K_{ie} is calculated according to the following formula:

$$K_{ie} = K_{ieM} + c \sigma \quad (8)$$

where

- $c = 2$ in case the calculation is carried out on the basis of the measurements relevant to 10 test cycles;
 $c = 2,9$ in case the calculation is carried out on the basis of the measurements relevant to five test cycles.

F.8.2 Calculation of the expected temperature rise ΔT_z in service

The expected temperature rise ΔT_z is calculated according to the following equation:

$$\Delta T_z = \beta K_{ie} q_z D_m \tau \left(1 - e^{-\left(\frac{t_z}{\tau}\right)} \right) \quad (9)$$

F.8.3 Preparation for the operating duty test

The starting temperature T_{OD} of the operating duty test is calculated on the basis of the following criteria:

- if ΔT_z is greater than 40 K, $T_{OD} = 20^\circ\text{C} + \Delta T_z$;
- if ΔT_z is lower than or equal to 40 K, $T_{OD} = 60^\circ\text{C}$.

The operating duty test is performed according to the procedure described in 7.5 with a starting temperature equal to T_{OD} .

F.9 Example

The following example refers to the application of the test procedure on a surge arrester having the following ratings:

U_r	198 kV
$U_{r \min}$	90 kV
U_c	156 kV
test voltage	142 kV (see note)
number of units	2
U_r (bottom element)	90 kV
U_r (top element)	108 kV
D_m	198 mm

NOTE The value of the test voltage was chosen in line with note 2 of F.7.2.2.

F.9.1 Preliminary heating test

The results of the preliminary heating tests are the following:

- τ 1,5 h
 β 19 K/C (i.e. a charge of 5,3 °C was necessary to heat the surge arrester from 20 °C to 120 °C)

F.9.2 Vérification de la nécessité d'effectuer l'essai de pollution

Le calcul de $\Delta T_{z \max}$, à l'aide de l'équation (2), donne les résultats reportés dans le tableau F.4.

Tableau F.4 – Résultats du calcul de $\Delta T_{z \max}$ pour l'exemple choisi

Zone de pollution	Durée de l'épisode de pollution h	$\Delta T_{z \max}$ K	Nécessité de réaliser les essais de pollution
I	2	1,1	Non
	6	0,7	
II	2	7,5	Non
	6	7,3	
III	2	54,4	Oui
	6	42,3	
IV	2	124,7	Oui
	6	108,8	

L'utilisation du parafoudre dans des zones de pollution I et II ne nécessite donc pas d'essais de pollution, et la température initiale de l'essai de fonctionnement doit être de 60 °C.

F.9.3 Essais sous brouillard salin

Les résultats des essais sous brouillard salin, avec une salinité de 14 kg/m³, sont indiqués dans le tableau F.5.

Tableau F.5 – Résultats de l'essai sous brouillard salin pour l'exemple choisi

Essai	$Q_{e\text{bot}}$ C	$Q_{e\text{top}}$ C	$Q_{i\text{top}}$ C	$Q_{i\text{bot}}$ C	K_n
1	6,7	4,1	2,3	0	0,18
2	5,9	4,2	1,3	0	0,12
3	6,4	4,3	1,8	0	0,15
4	6,7	4,5	2,2	0	0,18
5	5,9	3,5	2,2	0	0,20
6	5,7	3,6	2	0	0,19
7	6,2	3,5	2,4	0	0,21
8	6,0	3,5	2,4	0	0,21
9	6,8	4,0	2,6	0	0,20
10	6,2	3,8	2,1	0	0,18

$Q_{e\text{bot}}$ est la charge de surface mesurée à l'extrémité terre de l'élément inférieur
 $Q_{i\text{bot}}$ est la charge interne mesurée à l'extrémité terre de l'élément inférieur
 $Q_{e\text{top}}$ est la charge de surface mesurée à l'extrémité ligne de l'élément supérieur
 $Q_{i\text{top}}$ est la charge interne mesurée à l'extrémité ligne de l'élément supérieur

F.9.2 Verification of the need to perform the pollution test

The calculation of $\Delta T_{z \max}$, by means of equation (2) gives the results reported in table F.4.

Table F.4 – Calculated values of $\Delta T_{z \max}$ for the selected example

Pollution zone	Duration of pollution event h	$\Delta T_{z \max}$ K	Need to perform the pollution tests
I	2	1,1	No
	6	0,7	
II	2	7,5	No
	6	7,3	
III	2	54,4	Yes
	6	42,3	
IV	2	124,7	Yes
	6	108,8	

The application of the surge arrester in pollution zones I and II does therefore not require the pollution tests, and the starting temperature of the operating duty test shall be taken as 60 °C.

F.9.3 Salt fog tests

The results of the salt fog tests, at a salinity of 14 kg/m³, are given in table F.5.

Table F.5 – Results of the salt fog test for the selected example

Test No.	Q_{ebot} C	Q_{etop} C	Q_{itop} C	Q_{ibot} C	K_n
1	6,7	4,1	2,3	0	0,18
2	5,9	4,2	1,3	0	0,12
3	6,4	4,3	1,8	0	0,15
4	6,7	4,5	2,2	0	0,18
5	5,9	3,5	2,2	0	0,20
6	5,7	3,6	2	0	0,19
7	6,2	3,5	2,4	0	0,21
8	6,0	3,5	2,4	0	0,21
9	6,8	4,0	2,6	0	0,20
10	6,2	3,8	2,1	0	0,18

Q_{ebot} is the surface charge measured at the earth terminal of the bottom unit

Q_{ibot} is the internal charge measured at the earth terminal of the bottom unit

Q_{etop} is the surface charge measured at the line terminal of the top unit

Q_{itop} is the internal charge measured at the line terminal of the top unit

F.9.4 Calculs effectués après cinq cycles

F.9.4.1 Calcul de K_{ie}

Le traitement des données obtenues lors des cinq premiers cycles d'essais sous pollution donne les résultats suivants:

$K_{ieM} = 0,166$ (c'est-à-dire la moyenne arithmétique des valeurs K_n)

$\sigma = 0,031$ (c'est-à-dire l'écart-type des valeurs K_n)

Le rapport statistique K_{ie} est calculé à l'aide de l'équation suivante:

$$K_{ie} = 0,166 + 2,9 \times 0,031 = 0,256 \quad (10)$$

F.9.4.2 Calcul de ΔT_z et de T_{OD}

Les résultats des calculs de l'augmentation de température estimée en service ΔT_z (voir F.8.2) correspondant aux différentes zones de pollution sont reportés dans le tableau F.6.

Tableau F.6 – Valeurs calculées de ΔT_z et T_{OD} après 5 cycles pour l'exemple choisi

Zone de pollution	Durée de l'épisode de pollution h	ΔT_z K	T_{OD} °C
III	2	26	60
	6	20	60
IV	2	59	79
	6	51	71

Donc, en cas d'utilisation du parafoudre en zone de pollution III, aucun essai de pollution supplémentaire n'est requis et la température initiale de l'essai de fonctionnement doit être 60 °C, alors que pour la zone de pollution IV, cinq cycles supplémentaires de pollution doivent être effectués.

F.9.5 Calculs effectués après 10 cycles

F.9.5.1 Calcul de K_{ie}

Le traitement des données obtenues lors des 10 premiers cycles d'essais sous pollution donne les résultats suivants:

$K_{ieM} = 0,182$ (c'est-à-dire la moyenne arithmétique des valeurs K_n)

$\sigma = 0,028$ (c'est-à-dire l'écart-type des valeurs K_n)

Le rapport statistique K_{ie} est calculé à l'aide de la formule suivante:

$$K_{ie} = 0,182 + 2 \times 0,028 = 0,238 \quad (11)$$

F.9.4 Calculation performed after five test cycles

F.9.4.1 Calculation of K_{ie}

The elaboration of the data obtained during the first five pollution test cycles gives the following results:

$K_{ieM} = 0,166$ (i.e. the arithmetical mean of the values K_n)

$\sigma = 0,031$ (i.e. the standard deviation of the values K_n)

The statistical ratio K_{ie} is calculated according to the following equation:

$$K_{ie} = 0,166 + 2,9 \times 0,031 = 0,256 \quad (10)$$

F.9.4.2 Calculation of ΔT_z and of T_{OD}

The calculation of the expected temperature rise in service ΔT_z (see F.8.2) relevant to the different pollution zones are reported in table F.6.

Table F.6 – Calculated values of ΔT_z and of T_{OD} after 5 cycles for the selected example

Pollution zone	Duration of pollution event h	ΔT_z K	T_{OD} °C
III	2	26	60
	6	20	60
IV	2	59	79
	6	51	71

Therefore, in case of application of the surge arrester in pollution zone III, no further pollution test is required and the starting temperature of the operating duty test shall be 60 °C while, for pollution zone IV, five more pollution test cycles shall be performed.

F.9.5 Calculation performed after 10 test cycles

F.9.5.1 Calculation of K_{ie}

The elaboration of the data obtained during the first 10 pollution test cycles gives the following results:

$K_{ieM} = 0,182$ (i.e. the arithmetical mean of the values K_n)

$\sigma = 0,028$ (i.e. the standard deviation of the values K_n)

The statistical ratio K_{ie} is calculated according to the formula below:

$$K_{ie} = 0,182 + 2 \times 0,028 = 0,238 \quad (11)$$

F.9.5.2 Calcul de ΔT_z et de T_{OD}

Les résultats des calculs de l'augmentation de température estimée en service ΔT_z (voir F.8.2) et de la température initiale de l'essai de fonctionnement T_{OD} (voir F.8.3) correspondant aux différentes zones de pollution (dans ce cas, le calcul doit être effectué seulement pour la zone de pollution IV) sont reportés dans le tableau F.7.

Tableau F.7 – Valeurs calculées de ΔT_z et T_{OD} après 10 cycles pour l'exemple choisi

Zone de pollution	Durée de l'épisode de pollution h	ΔT_z K	T_{OD} °C
IV	2	54	74
	6	47	67

Donc, en cas d'utilisation du parafoudre en zone de pollution IV, la température initiale de l'essai de fonctionnement doit être de 74 °C.

F.9.5.2 Calculation of ΔT_z and of T_{OD}

The calculation of the expected temperature rise in service ΔT_z (see F.8.2) and of the starting temperature for the operating duty test T_{OD} (see F.8.3) relevant to the different pollution zones (in this case calculation has to be made only for pollution zone IV) are reported in table F.7.

Table F.7 – Calculated values of ΔT_z and of T_{OD} after 10 cycles for the selected example

Pollution zone	Duration of pollution event h	ΔT_z K	T_{OD} °C
IV	2	54	74
	6	47	67

Therefore, in case of application of the surge arrester in pollution zone IV, the operating duty test shall be conducted starting at 74 °C.

Annexe G (informative)

Renseignements caractéristiques fournis dans les appels d'offres et les offres

G.1 Renseignements à fournir dans les appels d'offres

G.1.1 Caractéristiques du réseau

- tension la plus élevée du réseau;
- fréquence;
- tension maximale par rapport à la terre en cas de défaut du réseau (facteur de défaut à la terre ou système de mise à la terre du neutre);
- durée maximale des défauts à la terre;
- valeur et durée maximales des surtensions temporaires (défaut à la terre, perte de charge, ferrorésonance);
- niveau d'isolement du matériel à protéger;
- courant de court-circuit du réseau à l'emplacement du parafoudre.

G.1.2 Conditions de service

Conditions normales, voir 4.4.1.

Conditions anormales:

- a) Conditions ambiantes, voir 4.4.2 et l'annexe A:
 - niveau de pollution naturelle, voir CEI 60071-2.
- b) Réseau:
 - éventualité d'un fonctionnement en survitesse des alternateurs (caractéristique de tension en fonction du temps);
 - fréquence nominale non comprise entre 48 Hz et 62 Hz;
 - perte de charge et défaut à la terre simultanés. Isolation du neutre lors d'un défaut pour une partie d'un réseau normalement relié à la terre;
 - compensation défectueuse du courant de défaut à la terre.

G.1.3 Rôle du parafoudre

- a) Raccordement au réseau:
 - phase-terre;
 - neutre-terre;
 - phase-phase.
- b) Types de matériels à protéger:
 - transformateurs (reliés à la ligne directement ou par l'intermédiaire de câbles);
 - machines tournantes (reliées à la ligne directement ou par l'intermédiaire de transformateurs);
 - bobines d'inductances;
 - bobines d'inductances HF;
 - autres matériels de postes;

Annex G (informative)

Typical information given with enquiries and tenders

G.1 Information given with enquiry

G.1.1 System data

- highest system voltage;
- frequency;
- maximum voltage to earth under system fault conditions (earth fault factor or system of neutral earthing);
- maximum duration of the earth fault;
- maximum value of temporary overvoltages and their maximum duration (earth fault, loss of load, ferro-resonance);
- insulation level of equipment to be protected;
- short-circuit current of the system at the arrester location.

G.1.2 Service conditions

Normal conditions, see 4.4.1.

Abnormal conditions:

- a) Ambient conditions, see 4.4.2 and annex A:
 - natural pollution level, see IEC 60071-2.
- b) System:
 - possibility of generator overspeeding (voltage versus time characteristics);
 - nominal power frequency other than 48 Hz to 62 Hz;
 - load rejection and simultaneous earth faults. Formation during faults of a part of the system with an insulated neutral in a normally effectively earthed neutral system;
 - incorrect compensation of the earth fault current.

G.1.3 Arrester duty

- a) Connection to system:
 - phase to earth;
 - neutral to earth;
 - phase to phase.
- b) Type of equipment being protected:
 - transformers (directly connected to a line or via cables);
 - rotating machines (directly connected to a line or via transformers);
 - reactors;
 - HF-reactors;
 - other equipment of substations;

- postes sous enveloppe métallique (à isolation gazeuse);
 - batteries de condensateurs;
 - câbles (type et longueur), etc.
- c) Longueur maximale du conducteur haute tension entre le parafoudre et le matériel à protéger (distance de protection).

G.1.4 Caractéristiques du parafoudre

- tension de régime permanent;
- tension assignée;
- tension résiduelle aux chocs de courant à front raide;
- valeur normale du courant nominal de décharge et tensions résiduelles;
- chocs de courant de manœuvre et tensions résiduelles;
- pour les parafoudres 10 000 A et 20 000 A, classe de décharge de ligne de longue durée, voir 7.4.2;
- classe du limiteur de pression (courant de court-circuit maximal admissible), voir 5.11;
- longueur et forme de la ligne de fuite de l'enveloppe du parafoudre. Choix fondé sur l'expérience de fonctionnement de parafoudres et/ou d'autres types de matériels dans la zone considérée.

G.1.5 Matériels et installations supplémentaires

- parafoudre blindé;
- type de montage: sur socle, console, suspendu (indiquer dans quelle position), etc. Préciser si une base isolante est nécessaire pour connecter les compteurs de décharges. Pour les parafoudres montés sur console, indiquer si celle-ci doit être mise à la terre ou pas;
- orientation du montage si elle n'est pas verticale;
- éventuellement, déconnecteur du conducteur de mise à la terre;
- section transversale de la connexion.

G.1.6 Conditions anormales particulières

Par exemple: fonctionnement très fréquent.

G.2 Renseignements à fournir dans les offres

- Tous les points mentionnés en G.1.4 et G.1.5.

En plus:

- courant et tension de référence à la température ambiante;
- caractéristique de tension à fréquence industrielle en fonction du temps, voir annexe D;
- tension résiduelle aux chocs de foudre à 0,5, 1 et 2 fois le courant nominal de décharge. Si l'essai de réception sur des parafoudres complets ne peut être effectué à un de ces courants, la tension résiduelle doit en plus être spécifiée pour un courant compris entre 0,01 et 0,25 fois le courant nominal de décharge, voir 5.3 et 7.3;
- fonction du limiteur de pression;
- distances d'isolement. Spécifications de montage;
- possibilités de montage, plans de perçage, base isolante, console;
- type des bornes du parafoudre et taille des conducteurs qu'il est possible d'y raccorder;
- longueur maximale admissible du conducteur entre le parafoudre et le compteur de décharges, et entre le compteur de décharges et la terre;
- dimensions et poids;
- résistance à la flexion.

- gas insulated substations (GIS);
 - capacitor banks;
 - cables (type and length), etc.
- c) Maximum length of high voltage conductor between arrester and equipment to be protected (protection distance).

G.1.4 Characteristics of arrester

- continuous operating voltage;
- rated voltage;
- steep current impulse residual voltage;
- standard nominal discharge current and residual voltages;
- switching current impulses and residual voltages;
- for 10 000 A and 20 000 A arresters the respective long duration discharge class, see 7.4.2;
- pressure relief class (short-circuit current capability), see 5.11;
- length and shape of creepage distance of arrester housing. Selected on the basis of service experience with surge arresters and/or other types of equipment in the actual area.

G.1.5 Additional equipment and fittings

- metal-enclosed arrester;
- type of mounting: pedestal, bracket, hanging (in what position) etc. and if insulating base is required for connection of surge counters. For bracket-mounted arresters whether bracket is to be earthed or not;
- mounting orientation if other than vertical;
- earth lead disconnector if required;
- cross section of connection lead.

G.1.6 Any special abnormal conditions

For example: very frequent operation.

G.2 Information given with tender

- All points from G.1.4 and G.1.5.

In addition:

- reference current and voltage at ambient temperature;
- power frequency voltage versus time characteristics, see annex D;
- lightning impulse residual voltage at 0,5, 1 and 2 times the nominal discharge current. If the complete arrester acceptance test cannot be carried out at one of those currents, the residual voltage shall in addition be specified for current in the range of 0,01 to 0,25 times the nominal discharge current, see 5.3 and 7.3;
- pressure relief function;
- clearances. Mounting specifications;
- possibilities of mounting, drilling plans, insulating base, bracket;
- type of arrester terminals and permissible conductor size;
- maximum permissible length of lead between arrester and surge counter, and between surge counter and earth;
- dimensions and weights;
- cantilever strength.

Annexe H (informative)

Circuit type pour l'essai de fonctionnement aux chocs de courant de grande amplitude (voir 7.5.4)

Le but de cette annexe est de proposer un circuit approprié (figure H.1) pour l'essai de fonctionnement aux chocs de courant de grande amplitude (voir 7.5.4) et d'indiquer le rôle des différents éléments du circuit plutôt que de spécifier un circuit d'essai normal qu'il conviendrait d'utiliser dans tous les essais et en tous lieux. Les prescriptions pour l'essai de fonctionnement telles que la tension à fréquence industrielle et les caractéristiques du choc de courant sont indiquées en 7.5.1 et 7.5.4. La manière exacte dont on remplit ces conditions est sans importance. Il existe de nombreuses variantes possibles pour le choix aussi bien de la disposition du circuit que des valeurs des différents éléments.

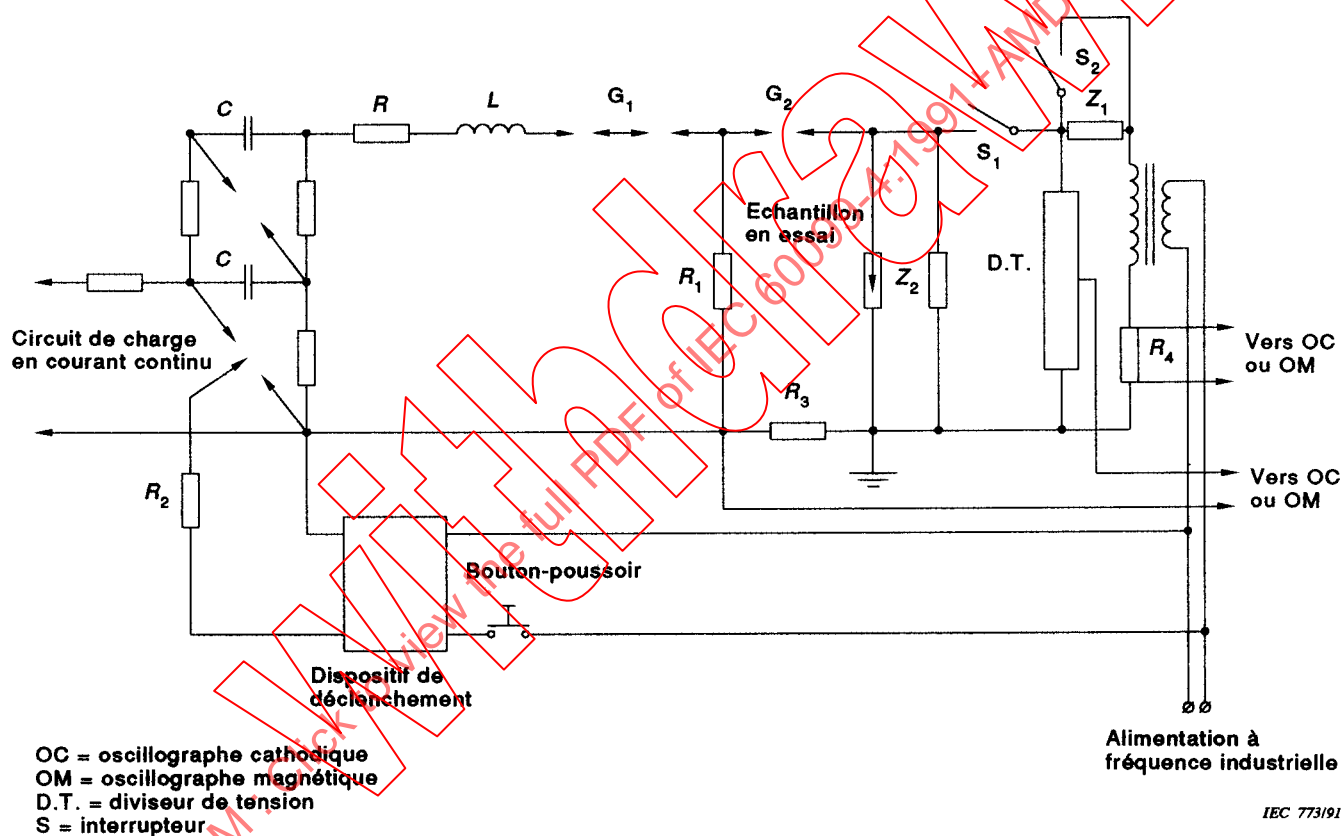


Figure H.1 – Schéma de circuit type pour l'essai de fonctionnement aux chocs de courant de grande amplitude

Annex H (informative)

Typical circuit for high current impulse operating duty test (see 7.5.4)

It is the purpose of this annex to suggest a suitable test circuit (figure H.1) for use in the high current impulse operating duty test (see 7.5.4) and to describe the function of the various circuit components rather than to specify a standard test circuit which should be used in all tests wherever made. The requirements for the operating duty test such as the power frequency voltage and the characteristics of the current impulse are described in 7.5.1 and 7.5.4. The exact method by which these requirements are met is not important. There are many possible variations in the choice both of the circuit and values for the various components.

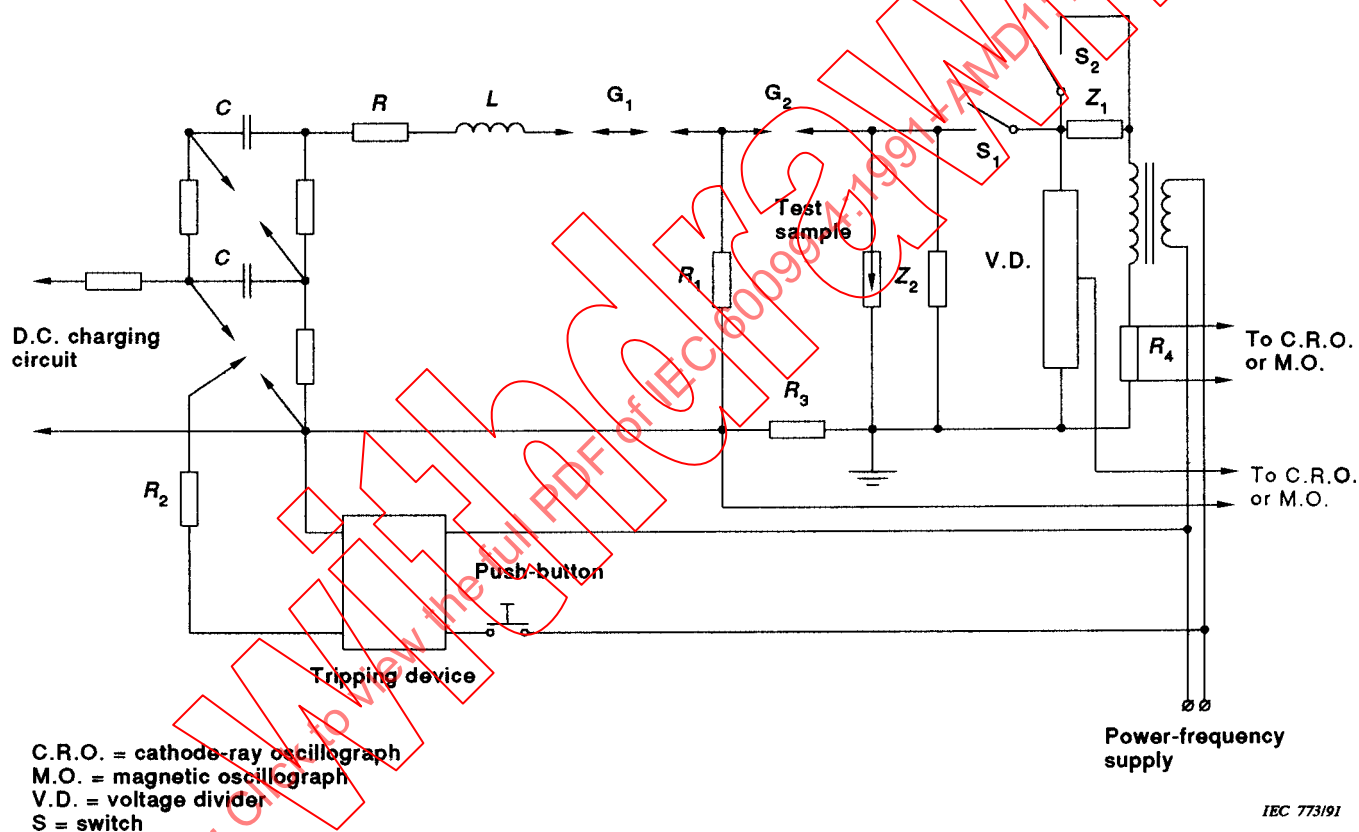


Figure H.1 – Typical test circuit diagram for high current impulse operating duty test

L'échantillon en essai est relié par l'intermédiaire d'un interrupteur S_1 à la source d'alimentation à fréquence industrielle, qui est généralement un transformateur, bien que cela ne soit pas essentiel. Un générateur de chocs, représenté sous la forme d'un circuit à deux étages, bien qu'il puisse ne comporter qu'un seul étage s'il est suffisant, est relié au parafoudre par une résistance R , une inductance L et des éclateurs G_1 et G_2 . La forme d'onde du choc de courant est obtenue en choisissant des valeurs convenables pour C , R et L . Un shunt R_3 non inductif de faible résistance et un réducteur de tension V.D. sont utilisés respectivement pour la mesure du courant et de la tension de choc. Un shunt R_4 inséré dans la connexion de terre du transformateur de puissance est utilisé pour l'enregistrement du courant à fréquence industrielle traversant le parafoudre.

L'éclateur qui isole le générateur de chocs du parafoudre peut avoir des formes diverses. Dans le modèle indiqué, la résistance R_1 , si elle est utilisée, peut être de l'ordre du mégohm et sert à maintenir un point de l'éclateur multiple au potentiel de la terre quand aucun courant ne circule. La partie G_1 de l'éclateur n'est ainsi soumise à aucune tension à fréquence industrielle. La partie G_2 de l'éclateur est aussi petite que le permet la tenue de la tension à fréquence industrielle. Z_1 et Z_2 sont les impédances qui, par l'intermédiaire de l'interrupteur S_2 , peuvent être utilisées pour régler les tensions à fréquence industrielle (U_r^* et U_g^* respectivement) aux bornes de l'échantillon en essai tout en respectant les prescriptions pour la source à fréquence industrielle spécifiées en 7.5.1.

Le courant venant de la source à fréquence industrielle peut être enregistré soit au moyen d'un oscillographe magnétique, soit d'un oscillographe cathodique si les précautions nécessaires sont prises. La tension à fréquence industrielle peut être enregistrée avec un oscillographe magnétique ou un oscillographe cathodique en utilisant un diviseur de tension ou un transformateur de tension.

Le générateur de chocs peut être déclenché comme montré en figure H.1 par l'intermédiaire d'un dispositif de déclenchement. Ce dernier applique une impulsion à haute tension à l'électrode médiane de l'éclateur triple du générateur de chocs. Une résistance élevée R_2 empêche le passage d'un courant de choc appréciable dans le circuit de déclenchement. Le déclenchement du générateur de chocs peut être provoqué au moyen d'un bouton poussoir.

The test sample is connected via a switch S_1 to the power frequency supply, usually a transformer, although this is not essential. An impulse generator, shown as a two-stage circuit although it may be a single-stage circuit if adequate, is connected to the arrester through a resistor R , an inductor L and spark gaps G_1 and G_2 . The wave-shape of the current impulse is controlled by selecting suitable values for C , R and L . A low resistance non-inductive shunt R_3 and a voltage divider V.D. are shown for the measurements of impulse current and voltage respectively. A shunt R_4 is shown in the leads from the power transformer for recording the power frequency current through the arrester.

The spark gap which isolates the impulse generator from the arrester may be of various forms. In the type of gap shown, the resistor R_1 , if used, may be of the order of a megohm and serves to maintain a point in the multiple spark gap at earth potential when no current is flowing. The part G_1 of the gap is not, therefore, submitted to any of the power frequency voltage. The part G_2 of the gap is made as small as is consistent with its ability to withstand the power frequency voltage. Z_1 and Z_2 are impedances that by the switch S_2 could be used to control the power frequency voltages (U_r^* and U_c^* respectively) across the test sample, still fulfilling the power frequency source requirements specified in 7.5.1.

The current from the power frequency source may be recorded either by a magnetic oscillograph or a cathode ray oscillograph if proper precautions are taken. The power frequency voltage may be recorded by a magnetic oscillograph or a cathode ray oscillograph through a voltage divider or a potential transformer.

The impulse generator may be tripped, as shown in figure H.1, through a tripping device. This applies a high voltage pulse to the centre electrode of the three electrode gap in the impulse generator. A high resistance R_2 prevents appreciable impulse current flowing in the tripping circuit. The tripping of the impulse generator may be initiated by means of a push button.

Annexe J (informative)

Circuit type de générateur de choc à constantes réparties pour l'essai de tenue aux chocs de courant de longue durée (voir 7.4)

Le but de cette annexe est de proposer le principe d'un circuit d'essai approprié à l'essai de tenue aux chocs de courant de longue durée et d'indiquer le rôle des différents éléments du circuit plutôt que de spécifier un circuit d'essai normal, qu'il conviendrait d'utiliser dans tous les essais.

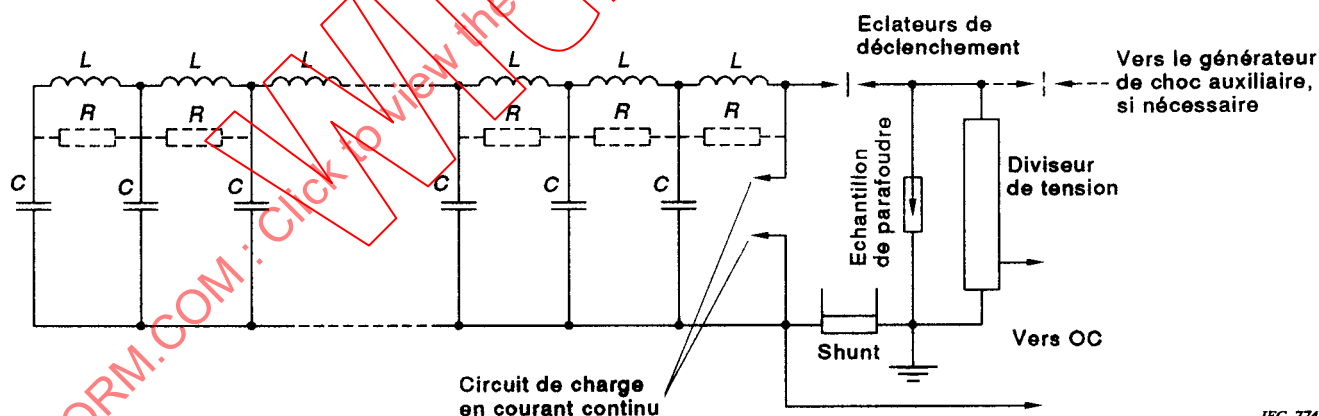
La spécification des essais indique les prescriptions concernant la forme d'onde, la durée, l'énergie injectée dans l'échantillon essayé, l'intervalle entre les chocs, etc.

La manière exacte dont on remplit ces conditions est sans importance. Il existe de nombreuses variantes possibles à la fois dans la disposition du circuit et dans le choix des valeurs des différents éléments. La figure J.1 représente un schéma simplifié d'un générateur de chocs à constantes réparties. L'impédance d'onde du générateur correspond à :

$$Z = \sqrt{L/C}, \text{ en négligeant la résistance.}$$

Le nombre d'étages LC du générateur doit être normalement d'environ dix, en vue d'obtenir une forme d'onde acceptable. La limitation des oscillations au début et à la fin de la crête de l'onde peut exiger une augmentation des inductances aux deux extrémités du générateur ainsi que l'adjonction de résistances en parallèle R destinées à compenser la réduction de la raideur du front provenant de l'augmentation des inductances.

L'éclateur de déclenchement peut être un simple interrupteur. Si un générateur de choc auxiliaire est utilisé pour provoquer la décharge du générateur à constantes réparties, l'énergie emmagasinée par le premier ne doit pas dépasser 0,5 % de l'énergie emmagasinée par le dernier.



IEC 774/91

Figure J.1 – Circuit type de générateur de chocs à constantes réparties
pour l'essai aux chocs de courant de longue durée

On doit enregistrer le courant traversant l'échantillon de parafoudre et la tension à ses bornes.

Annex J (informative)

Typical circuit for a distributed constant impulse generator for the long duration current impulse withstand test (see 7.4)

It is the purpose of this annex to give the principle of a suitable test circuit for use in the long duration current impulse withstand test and to describe the function of the various circuit components rather than to specify a standard test circuit which should be used in all tests.

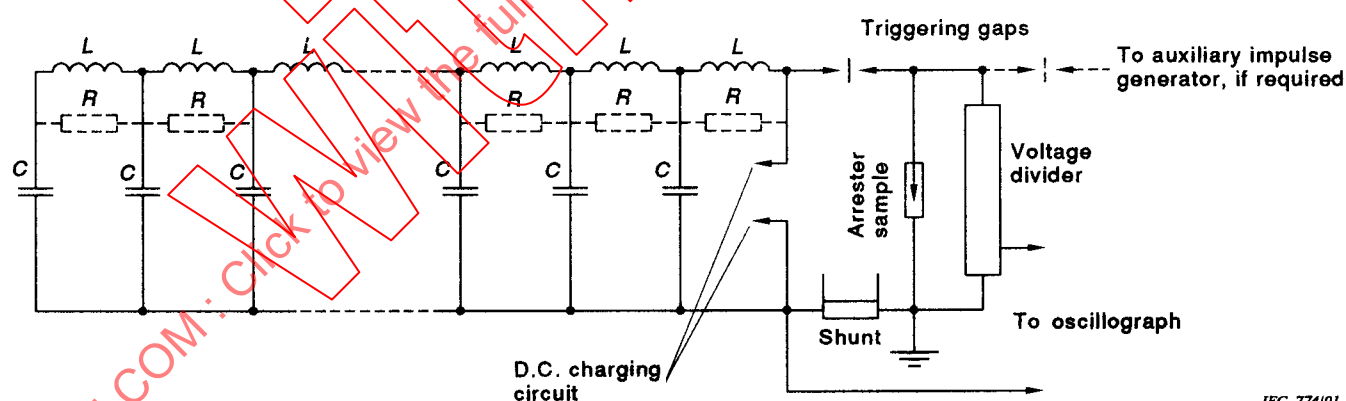
The requirements of waveshape, duration, energy injected into the test sample and interval between impulses etc. are given in the test specification.

The exact method by which these requirements are met is immaterial. There are many possible variations both in the arrangement of the circuit and in the choice of values for the various components. Figure J.1 shows a simplified diagram of a distributed constant impulse generator. The surge impedance of the generator is determined by:

$$Z = \sqrt{L/C}, \text{ when neglecting the resistance.}$$

The number of LC sections of the generator will normally be about ten to produce an acceptable waveshape. To limit the oscillations at the beginning and at the end of the peak of the wave, it may be necessary to increase the inductances at both ends of the generator as well as to introduce parallel resistors R to compensate for the reduced front steepness caused by the increased inductances.

The triggering gap can be a simple switch. If an auxiliary impulse generator is used to initiate the discharge of the distributed constant generator, the stored energy of the former shall not exceed 0,5 % of the stored energy of the latter.



IEC 774/91

Figure J.1 – Typical distributed constant impulse generator for the long duration impulse test

The current through and the voltage across the arrester sample shall be recorded.

Annexe K (informative)

Tensions résiduelles maximales typiques

Tableau K.1 – Tensions résiduelles pour les parafoudres 20 000 A et 10 000 A
Valeurs rapportées à la tension assignée

Tension assignée U_r kV eff	20 000 A kV (crête)/ U_r			10 000 A kV (crête)/ U_r		
	1) Front raide	2) Foudre	3) Manœuvre	1) Front raide	2) Foudre	3) Manœuvre
3 – 29				2,6 – 4,0	2,3 – 3,6	2,0 – 2,9
30 – 132	2,6 – 3,1	2,3 – 2,8	2,0 – 2,3	2,6 – 3,7	2,3 – 3,3	2,0 – 2,6
144 – 342	2,6 – 3,1	2,3 – 2,8	2,0 – 2,3	2,6 – 3,7	2,3 – 3,3	2,0 – 2,6
360 – 756	2,6 – 3,1	2,3 – 2,8	2,0 – 2,3	2,6 – 3,1	2,3 – 2,8	2,0 – 2,3
1) Essai de vérification de la tension résiduelle aux chocs de courant à front raide, voir 7.3.1. 2) Niveau de protection aux chocs de foudre, voir 7.3.2. 3) Niveau de protection aux chocs de manœuvre, voir 7.3.3.						

NOTE Le tableau donne la gamme des tensions résiduelles maximales normalement obtenues. Les valeurs inférieures correspondent normalement aux parafoudres de classe élevée de décharge de ligne et vice-versa.

Tableau K.2 – Tensions résiduelles pour les parafoudres 5 000 A, 2 500 A et 1 500 A
Valeurs rapportées à la tension assignée

Tension assignée U_r kV eff	5 000 A kV (crête)/ U_r		2 500 A kV (crête)/ U_r		1 500 A kV (crête)/ U_r	
	1) Front raide	2) Foudre	1) Front raide	2) Foudre	1) Front raide	2) Foudre
0,175 – 2,9	2,7 – 4,0	2,4 – 3,6	3,7 – 5,0	3,3 – 4,5	4,5 – 6,7	4,0 – 6,0
3 – 29	2,7 – 4,0	2,4 – 3,6	4,0	3,6		
30 – 132	2,7 – 3,7	2,4 – 3,6	4,0	3,6		
1) Essai de vérification de la tension résiduelle aux chocs de courant à front raide, voir 7.3.1. 2) Niveau de protection aux chocs de foudre, voir 7.3.2.						

NOTE Le tableau donne la gamme des tensions résiduelles maximales normalement obtenues.