Tableau 1 – Classification des parafoudres 196
Tableau 2 – Valeurs préférentielles des tensions assignées 196
Tableau 3 – Essais de type de parafoudre 205
Tableau 4 – Exigences pour les chocs de courant de grande amplitude 221
Tableau 5 – Valeurs assignées des caractéristiques assignées de transfert de charges thermiques, Q_{rs} 222
Tableau 6 – Exigences d'essai concernant les parafoudres à enveloppe en porcelaine 232
Tableau 7 – Courants exigés pour les essais de court-circuit 238
Tableau 8 – Exigences d'essai concernant les parafoudres à enveloppe synthétique 255
Tableau 9 – Parafoudres blindés triphasés 10 kA et 20 kA – Tensions de tenue exigées 272
Tableau 10 – Parafoudres blindés triphasés 2,5 kA et 5 kA – Tensions de tenue exigées 273
Tableau 11 – Tensions d'essai de tenue diélectrique des parafoudres débrochables non blindés 281
Tableau 12 – Tensions d'essai de tenue diélectrique de l'enveloppe blindée des parafoudres débrochables ou pour prise 282
Tableau 13 – Valeurs de l'essai de décharges partielles pour les parafoudres débrochables et les parafoudres pour prise 287
Tableau C.1 – Charge moyenne externe pour différentes sévérités de la pollution 303
Tableau C.2 – Caractéristiques de l'échantillon utilisé lors de l'essai sous pollution 304
Tableau C.3 – Exigences relatives à l'appareil de mesure de la charge 305
Tableau C.4 – Exigences relatives à l'appareil de mesure de la température 306
Tableau C.5 – Valeurs calculées de $\Delta T_{z\ max}$ pour l'exemple choisi 312
Tableau C.6 – Résultats de l'essai au brouillard salin pour l'exemple choisi 312
Tableau C.7 – Valeurs calculées de ΔT_z et de T_{OD} après 5 cycles pour l'exemple choisi 313
Tableau C.8 – Valeurs calculées de ΔT_z et de T_{OD} après 10 cycles pour l'exemple choisi 314
Tableau E.1 – Durée de vie minimale prévisible démontrée 318
Tableau E.2 – Relation entre durée d'essai à 115 °C et durée équivalente à la limite supérieure de la température ambiante 318
Tableau F.1 – Résultats d'exemples de calcul 324
Tableau L.1 – Valeurs de crête des courants pour l'essai de tension résiduelle au choc de manœuvre 346
Tableau L.2 – Paramètres pour l'essai de décharge de ligne sur les parafoudres 20 000 A et 10 000 A 347
Tableau L.3 – Comparaison du système de classification selon l'IEC 60099-4:2009 (Ed.2.2) et l'IEC 60099-4:2014 Éd. 3.0 349

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

PARAFOUDRES –

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

AVANT-PROPOS

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

La présente Norme internationale IEC 60099-4 a été établie par le comité d'études 37 de l'IEC: Parafoudres.

Cette troisième édition annule et remplace la deuxième édition parue en 2009. Cette édition constitue une révision technique.

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

- Un nouveau concept de classification des parafoudres et d'essai de tenue énergétique a été introduit: la classification de décharge de ligne a été remplacée par une classification fondée sur les caractéristiques assignées de transfert de charges répétitives (Q_{rs}), ainsi que sur les caractéristiques assignées d'énergie thermique (W_{th}) et les caractéristiques

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

assignées de transfert de charges thermiques (Q_{th}), respectivement. Les exigences dépendent de l'application prévue du parafoudre, qu'il s'agisse d'un parafoudre de classe de distribution (de I_n = 2,5 kA, 5 kA ou 10 kA) ou d'un parafoudre de classe de poste (de I_n = 10 kA ou 20 kA). Le nouveau concept différencie clairement le choc de la capacité de traitement de l'énergie thermique, cette différence étant reflétée dans les exigences, ainsi que dans les procédures d'essai associées.

- Des exigences et des essais dédiés aux parafoudres THT (pour les tensions de réseau les plus élevées U_s > 800 kV) ont été introduits.
- Des essais de tension de tenue à fréquence industrielle en fonction du temps – avec et sans service préalable – ont été introduits comme essais de type.
- Des exigences et des essais portant sur les dispositifs de déconnexion ont été ajoutés.
- "Série d'essais B: 5 000 h" a été supprimé de l'essai de vieillissement climatique, suivant ainsi la nouvelle approche de l'IEC 62217.
- Les anciennes Annexes C, D, E, H, I et J ont été supprimées. Il a été introduit de nouvelles annexes portant sur la détermination de la température initiale pour les essais concernant la stabilité thermique ainsi que sur la détermination de la répartition de la température axiale le long des parafoudres de grande dimension, de même que des annexes fournissant un exemple de méthode de détermination des exigences en énergie pour l'essai de fonctionnement, et permettant de comparer le nouveau système de classification avec l'ancien système de classe de décharge de ligne.
- Les définitions de nouveaux termes ont été ajoutées.
- Tous les points “à l'étude” précédents ont été résolus ou supprimés.

Les Articles 10 à 13 contiennent des exigences particulières respectivement pour les parafoudres à enveloppe synthétique, les parafoudres sous enveloppe métallique à isolation gazeuse (parafoudres blindés), les parafoudres débrochables et parafoudres à prise, et les parafoudres immergés. Celles-ci sont indiquées sous la forme de remplacements, d'ajouts our d'amendements aux articles ou sous-articles concernés.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
37/416/FDIS	37/421/RVD

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

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

Une liste de toutes les parties de la série IEC 60099, publiées sous le titre général *Parafoudres*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous "http://webstore.iec.ch" dans les données relatives à la publication recherchée. À cette date, la publication sera

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

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

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

INTRODUCTION

Cette partie de l'IEC 60099 présente les critères minimaux pour les exigences et pour les essais des parafoudres sans éclateur à oxyde métallique utilisés sur les réseaux de puissance en courant alternatif avec U_s supérieure à 1 kV.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

PARAFOUDRES –

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

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 60099 s'applique aux parafoudres à résistance variable à oxyde métallique sans éclateur conçus pour limiter les surtensions sur les circuits d'alimentation à courant alternatif avec U_s supérieure à 1 kV.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

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

IEC 60060-2, *Techniques des essais à haute tension – Partie 2: Systèmes de mesure*

IEC 60068-2-11:1981, *Essais fondamentaux climatiques et de robustesse mécanique – Partie 2-11: Essais – Essai Ka: Brouillard salin*

IEC 60068-2-14, *Essais d'environnement – Partie 2-14: Essais – Essai N: Variation de température*

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

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

IEC 60270, *Techniques des essais à haute tension – Mesures des décharges partielles*

IEC 60507:2013, *Essais sous pollution artificielle des isolateurs haute tension en céramique et en verre destinés aux réseaux à courant alternatif*

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

IEC TS 60815-2:2008, *Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions – Part 2: Ceramic and glass insulators for a.c. systems* (disponible en anglais seulement)

IEC 62217, *Isolateurs polymériques à haute tension pour utilisation à l'intérieur ou à l'extérieur – Définitions générales, méthodes d'essai et critères d'acceptation*

IEC 62271-1:2007, *Appareillage à haute tension – Partie 1: Spécifications communes*

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

IEC 62271-200:2011, *Appareillage à haute tension – Partie 200: Appareillage sous enveloppe métallique pour courant alternatif de tensions assignées supérieures à 1 kV et inférieures ou égales à 52 kV*

IEC 62271-203:2011, *Appareillage à haute tension – Partie 203: Appareillage sous enveloppe métallique à isolation gazeuse de tensions assignées supérieures à 52 kV*

ISO 4287, *Spécification géométrique des produits (GPS) – État de surface: Méthode du profil – Termes, définitions et paramètres d'état de surface*

ISO 4892-1, *Plastiques – Méthodes d'exposition à des sources lumineuses de laboratoire – Partie 1: Guide général*

ISO 4892-2, *Plastiques – Méthodes d'exposition à des sources lumineuses de laboratoire – Partie 2: Lampes à arc au xénon*

ISO 4892-3, *Plastiques – Méthodes d'exposition à des sources lumineuses de laboratoire – Partie 3: Lampes fluorescentes UV*

CISPR/TR 18-2, *Caractéristiques des lignes et des équipements à haute tension relatives aux perturbations radioélectriques – Partie 2: Méthodes de mesure et procédure d'établissement des limites*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les définitions suivantes s'appliquent.

3.1
essais de réception
essais effectués sur les parafoudres ou sur des prélèvements d'une fourniture après accord entre le constructeur et l'utilisateur

3.2
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 circuits de distribution enterrés ou montés sur poteaux

Note 1 à l'article: Les parafoudres pour prise sont couramment utilisés aux États-Unis d'Amérique. La plupart des parafoudres pour prise se raccordent sous tension.

Note 2 à l'article: Les parafoudres sont montés dans une enveloppe isolée avec des niveaux de blindage différents, comme le déterminent les exigences de sécurité ou de contact pour l'installation. Les différences entre les descriptions d'un constructeur à un autre concernant le blindage et les degrés de ces différences peuvent être subtiles, mais l'objectif concerne la sécurité et la conductivité de l'enveloppe extérieure afin de permettre, ou non, aux ouvriers de manipuler les parafoudres sous tension et avec ou sans outils de ligne actifs.

3.3
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 1 à l'article: L'interruption du courant de défaut dans le parafoudre pendant l'ouverture du circuit ne dépend généralement pas du dispositif de déconnexion.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

3.4
parafoudre – du type immergé
parafoudre immergé
parafoudre destiné à être immergé dans un liquide isolant

3.5
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

Note 1 à l'article: L'utilisation de parafoudres débrochables est une pratique commune en Europe. Les connexions électriques peuvent être assurées par un contact glissant ou par visserie; cependant, tous les parafoudres débrochables se raccordent hors tension.

Note 2 à l'article: Les parafoudres sont montés dans une enveloppe isolée avec des niveaux de blindage différents, comme le déterminent les exigences de sécurité ou de contact pour l'installation. Les différences entre les descriptions d'un constructeur à un autre concernant le blindage et les degrés de ces différences peuvent être subtiles, mais l'objectif concerne la sécurité et la conductivité de l'enveloppe extérieure afin de permettre, ou non, aux ouvriers de manipuler les parafoudres sous tension et avec ou sans outils de ligne actifs.

3.6
moment de flexion
force perpendiculaire à l'axe longitudinal d'un parafoudre multipliée par la distance verticale entre l'embase (niveau le plus bas de la collerette) du parafoudre et le point d'application de la force

3.7
effort à la rupture
force perpendiculaire à l'axe longitudinal d'un parafoudre à enveloppe en porcelaine ou en résine moulée, qui provoque la rupture mécanique de son enveloppe

3.8
parafoudre à enveloppe en résine moulée
parafoudre qui utilise une enveloppe constituée d'une seule matière organique (par exemple, de la résine époxyde cycloaliphatique) qui se rompt de la même manière qu'une enveloppe en porcelaine sous l'action d'une contrainte excessive mécanique

3.9
courant permanent d'un parafoudre
courant circulant à travers le parafoudre lorsque celui-ci est soumis à la tension de régime permanent

Note 1 à l'article: Le courant permanent, qui comporte une composante résistive et une composante capacitive, peut varier avec la température et les effets des capacités parasites ou de la pollution externe. Le courant permanent d'un échantillon en essai peut donc être différent du courant permanent d'un parafoudre complet.

Note 2 à l'article: À des fins de comparaison, le courant permanent est exprimé soit par sa valeur efficace, soit par sa valeur de crête.

3.10
tension de régime permanent d'un parafoudre
U_c
valeur désignée admissible de la tension de régime permanent efficace à fréquence industrielle qui peut être appliquée de façon continue entre les bornes du parafoudre selon 8.7

3.11
limite de dégradation (mécanique)
valeur la plus faible de la force perpendiculaire à l'axe longitudinal d'un parafoudre à enveloppe synthétique, qui provoque la rupture mécanique de son enveloppe

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

3.12
parafoudre se raccordant hors tension
parafoudre qui peut être connecté et déconnecté du circuit seulement lorsque celui-ci est hors tension

3.13
énoncé de la forme d'un choc
combinaison de deux valeurs, la première représentant la durée conventionnelle du front (T_1) et la seconde la durée conventionnelle jusqu'à mi-valeur sur la queue (T_2)

Note 1 à l'article: L'onde est représentée par T_1/T_2, en microsecondes, le signe "/ " n'ayant aucune signification mathématique.

3.14
courant de décharge d'un parafoudre
onde de courant qui circule à travers le parafoudre

3.15
décharge disruptive
phénomène associé à une défaillance de l'isolation sous l'effet de la contrainte électrique, avec chute de la tension et passage d'un courant

Note 1 à l'article: Ce terme s'applique aux perforations électriques de diélectriques solides, liquides et gazeux, et à leurs combinaisons.

Note 2 à l'article: Une décharge disruptive dans un diélectrique solide entraîne une perte permanente de la rigidité diélectrique. Dans un diélectrique liquide ou gazeux, la perte de la rigidité diélectrique peut n'être que temporaire.

3.16
parafoudre de classe de distribution
parafoudre destiné à être utilisé sur les réseaux de distribution, typiquement de valeur $U_s \leq$ 52 kV, afin de protéger les composants principalement contre les effets de la foudre

Note 1 à l'article: Les parafoudres de classe de distribution peuvent avoir des courants nominaux de décharge, I_n, de 2,5 kA, 5 kA ou 10 kA.

Note 2 à l'article: Les parafoudres de distribution sont classés comme suit: "Distribution DH", “Distribution DM” et “Distribution DL” (voir Tableau 1)

3.17
fraction électrique
portion de parafoudre dont chacune des extrémités se termine par une électrode soumise au milieu environnant

Note 1 à l'article: Une fraction électrique peut comporter deux fractions mécaniques ou plus (voir Figure 5)

3.18
courant assigné de défaillance en circuit ouvert pour parafoudre immergé
niveau de courant de défaut au-delà duquel le parafoudre est revendiqué se mettre en circuit ouvert après défaillance

3.19
courant assigné de défaillance en court-circuit pour parafoudre immergé
niveau de courant de défaut au-dessous duquel le parafoudre est revendiqué se mettre en court-circuit après défaillance

3.20
indicateur de défaut
dispositif destiné à donner une indication de la défaillance d'un parafoudre mais qui ne le déconnecte pas du réseau

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

3.21
contournement
décharge disruptive le long d'une surface solide

3.22
front d'un choc
partie d'un choc précédant la crête

3.23
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 à l'article: La pression du gaz est habituellement supérieure à 1 bar = 10^5Pa.

Note 2 à l'article: Parafoudre utilisé dans les appareillages à isolation gazeuse.

3.24
anneau de garde d'un parafoudre
partie métallique, généralement de forme circulaire, montée pour modifier électrostatiquement la répartition de la tension le long du parafoudre

3.25
choc de courant de grande amplitude d'un parafoudre
valeur de crête du courant de décharge de forme d'onde 4/10 utilisé pour vérifier la stabilité du parafoudre lors des coups de foudre directs

3.26
enveloppe
élément isolant externe d'un parafoudre qui procure la ligne de fuite nécessaire et protège les éléments internes contre le milieu environnant

Note 1 à l'article: Une enveloppe peut être constituée de plusieurs éléments assurant la résistance mécanique et la protection contre le milieu environnant.

Note 2 à l'article: Lorsque la définition d'une enveloppe diffère de celle propre à des types spéciaux de parafoudres (par exemple, pour les parafoudres blindés, parafoudres pour prise/débrochables et parafoudres immergés), des définitions alternatives sont données dans les articles spécifiques à ces parafoudres (par exemple, Articles 11, 12 et 13).

3.27
choc
onde de tension ou de courant unidirectionnelle qui, sans oscillations appréciables, croît rapidement jusqu'à une valeur maximale et tombe à zéro, habituellement moins rapidement, avec, éventuellement, de petites ondes de polarité opposée, les paramètres de définition étant la polarité, la valeur de crête, la durée du front et la durée jusqu'à mi-valeur sur la queue

3.28
embase isolante
isolateur (ou ensemble isolateur) de petites dimensions sur lequel est monté le parafoudre afin de fournir un moyen de connexion d'un dispositif de contrôle du courant entre l'embase du parafoudre et la terre

3.29
système de répartition interne d'un parafoudre
impédances de répartition, en particulier condensateurs de répartition connectés en parallèle sur une seule résistance ou sur un ensemble de résistances variables MO pour fixer la répartition de la tension le long de la colonne de résistances à oxyde métallique

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

3.30
éléments internes
résistance à oxyde métallique avec structure de maintien et système de répartition interne, lorsque cela est prévu

3.31
choc de courant de foudre
choc de courant 8/20; les limites de réglage sont telles que l'on mesure des valeurs comprises entre 7 µs et 9 µs pour la durée conventionnelle de front et entre 18 µs et 22 µs pour la durée jusqu'à mi-valeur sur la queue

Note 1 à l'article: La durée jusqu'à mi-valeur sur la queue n'est pas un paramètre critique et aucune tolérance n'est imposée (voir 8.3).

3.32
décharge au choc de foudre
choc de courant de demi-onde pratiquement sinusoïdal dont la durée est comprise entre 200 µs et 230 µs période au cours de laquelle la valeur instantanée du courant de choc est supérieure à 5 % de sa valeur de crête

3.33
niveau de protection contre les chocs de foudre
LIPL ou U_{pl}
tension résiduelle maximale du parafoudre pour le courant nominal de décharge

Note 1 à l'article: L'abréviation "LIPL" est dérivée du terme anglais développé correspondant "lightning impulse protection level".

3.34
parafoudre se raccordant sous tension
parafoudre qui peut être connecté et déconnecté lorsque le circuit est sous tension

3.35
choc de courant de longue durée
choc de courant rectangulaire qui augmente rapidement jusqu'à la valeur maximale, reste essentiellement constant pendant une période spécifiée, puis chute rapidement à zéro, les paramètres de définition étant la polarité, la valeur de crête, la durée conventionnelle de la crête et la durée totale conventionnelle

3.36
effort moyen à la rupture
MBL
effort moyen à la rupture pour les parafoudres à enveloppe en porcelaine ou en résine moulée déterminé à partir d'essais

Note 1 à l'article: L'abréviation "MBL" est dérivée du terme anglais développé correspondant "mean breaking load".

3.37
fraction mécanique
portion de parafoudre à l'intérieur de laquelle un dispositif mécanique empêche le déplacement axial des résistances à oxyde métallique

Note 1 à l'article: Une fraction électrique d'un parafoudre peut comporter deux fractions mécaniques ou plus (voir Figure 5).

Note 2 à l'article: Une fraction mécanique peut comporter deux fractions électriques ou plus (voir Figure 5)

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

3.38
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, intégré dans une enveloppe comportant des bornes de connexion électrique et mécanique

Note 1 à l'article: Chaque occurrence du terme “arrester” ou “surge arrester” ("parafoudre" en français) dans le présent document se rapporte à un parafoudre à oxyde métallique sans éclateur.

3.39
console de montage
moyen par lequel un parafoudre de classe de distribution est physiquement fixé à un poteau ou à toute autre structure

Note 1 à l'article: Pour les parafoudres de classe de distribution à enveloppe synthétique, la console de montage est généralement constituée d'un matériau isolant et fixée sur l'extrémité inférieure (sol) du parafoudre; pour les parafoudres de classe de distribution à enveloppe en porcelaine, la console est généralement en métal (souvent de l'acier) et est connectée au moyen d'une “sangle de sûreté" disposée autour de l'enveloppe en porcelaine à une certaine distance de l'extrémité au sol du parafoudre.

3.40
courant nominal de décharge d'un parafoudre
I_n
valeur de crête du choc de courant de foudre utilisé pour désigner un parafoudre

3.41
parafoudre de ligne sans éclateur
NGLA
parafoudre sans éclateur extérieur ou intérieur en série destiné à être installé sur des lignes aériennes en parallèle aux isolateurs de ligne afin d'éviter les contournements

Note 1 à l'article: L'abréviation "NGLA" est dérivée du terme anglais développé correspondant "non-gapped line arrester".

3.42
résistance variable à oxyde métallique
résistance MO
partie d'un parafoudre qui, par sa caractéristique variable de la tension en fonction du courant, fonctionne comme une résistance de faible valeur pour les surtensions, limitant ainsi la tension aux bornes du parafoudre, et comme une résistance de valeur élevée à la tension normale à fréquence industrielle

3.43
valeur de crête d'un choc
valeur maximale de la tension ou du courant lors d'un choc

Note 1 à l'article: Des oscillations superposées peuvent être négligées.

3.44
valeur de crête de polarité opposée d'un choc
amplitude maximale de polarité opposée atteinte par un choc de tension ou de courant lorsqu'il oscille autour de zéro avant d'atteindre une valeur nulle permanente

3.45
parafoudre à enveloppe synthétique
parafoudre utilisant des matériaux synthétiques et composites pour l’enveloppe

Note 1 à l'article: Des configurations avec un volume interne de gaz sont possibles. L’étanchéité peut être assurée par le matériau synthétique lui-même ou l’utilisation d’un système séparé.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

3.46
parafoudre à enveloppe en porcelaine
parafoudre utilisant la porcelaine comme matériau d'enveloppe, avec des fixations et un système d'étanchéité

3.47
caractéristique de tenue d'un parafoudre sous tension à fréquence industrielle en fonction du temps
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 6.12

3.48
limiteur de pression d'un parafoudre
dispositif destiné à limiter la pression interne d'un parafoudre et à éviter la rupture brutale de l'enveloppe à la suite du passage prolongé du courant de défaut ou d'un amorçage à l'intérieur du parafoudre

3.49
courant présumé d'un circuit
courant qui circulerait en un lieu donné d'un circuit si l'on établissait un court-circuit en ce lieu au moyen d'une connexion d'impédance négligeable

3.50
caractéristiques de protection d'un parafoudre
combinaison des niveaux de protection contre les chocs de foudre (LIPL), niveau de protection contre les chocs de manœuvre (SIPL), niveau de protection contre les chocs de courant à front raide (STIPL)

3.51
perforation (claquage)
décharge disruptive à travers un solide

3.52
fréquence assignée d'un parafoudre
fréquence du réseau pour laquelle le parafoudre est prévu

3.53
courant assigné de court-circuit
I_S
courant à fréquence industrielle soumis à essai le plus élevé qui peut se développer dans un parafoudre défaillant sous la forme d'un courant de court-circuit sans provoquer de rupture explosive de l'enveloppe, ou de flammes nues pendant plus de deux minutes dans les conditions d'essai spécifiées

3.54
tension assignée d'un parafoudre
U_r
surtension efficace à fréquence industrielle de 10 s maximale admissible qui peut être appliquée entre le parafoudre, comme le vérifient l'essai TOV et l'essai de fonctionnement

Note 1 à l'article: La tension assignée est utilisée comme paramètre de référence pour la spécification des caractéristiques de fonctionnement.

3.55
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

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

Note 1 à l'article: Il convient que le courant de référence soit suffisamment élevé pour rendre négligeables les effets des capacités parasites à la tension de référence mesurée sur les éléments de parafoudre (avec leur système de répartition) et il est par ailleurs tenu d'être spécifié par le constructeur. Le courant de référence est typiquement dans la gamme de 0,05 mA à 1,0 mA par centimètre carré de surface de disque pour les parafoudres à colonne unique.

3.56
tension de référence d'un parafoudre
U_{ref}
valeur de crête divisée par √2 de la tension à fréquence industrielle qui est obtenue lorsque le courant de référence circule dans le parafoudre

Note 1 à l'article: La tension de référence d'un parafoudre à plusieurs éléments est la somme des tensions de référence des éléments séparés.

Note 2 à l'article: La mesure de la tension de référence est nécessaire au choix d'un échantillon pour essai convenable dans l'essai de fonctionnement (voir 8.7).

3.57
caractéristiques assignées de transfert de charges répétitives
Q_{rs}
capacité de transfert de charges spécifiée maximale d'un parafoudre, sous la forme d'un événement simple ou d'un groupe de surtensions qui peut être transmise par un parafoudre sans provoquer de défaillance mécanique ou de dégradation électrique inacceptable des résistances MO

Note 1 à l'article: La charge est calculée comme la valeur absolue du courant intégré dans le temps. Pour les besoins de la présente norme, il s'agit de la charge accumulée dans un événement simple ou d'un groupe de surtensions ne durant pas plus de 2 s et qui peut être suivie par un événement ultérieur à un intervalle de temps pas plus court que 60 s.

3.58
tension résiduelle d'un parafoudre
U_{res}
valeur de crête de la tension entre les bornes d'un parafoudre pendant le passage du courant de décharge

Note 1 à l'article: L'expression «tension de décharge» est utilisée dans certains pays.

3.59
essais individuels de série
essais effectués sur chaque parafoudre, élément ou matériau, le cas échéant, pour s'assurer que le produit répond aux spécifications de conception

3.60
étanchéité (aux gaz et à l'eau)
capacité d'un parafoudre à empêcher l'entrée de corps étrangers affectant son comportement électrique et/ou mécanique

3.61
fraction de parafoudre (fraction distribuée au prorata)
partie complète d'un parafoudre, correctement assemblée, nécessaire pour représenter le comportement d'un parafoudre complet lors d'un essai particulier

Note 1 à l'article: Une fraction de parafoudre n'est pas nécessairement un élément de parafoudre. Pour certains essais, une résistance MO seule constitue une fraction.

3.62
ailette
élément isolant saillant de l'enveloppe destiné à en augmenter la ligne de fuite

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

3.63
effort à long terme spécifié
SLL
force perpendiculaire à l'axe longitudinal d'un parafoudre qu'il est admis d'appliquer en service, en permanence, sans provoquer de dommages mécaniques au parafoudre

Note 1 à l'article: L'abréviation "SLL" est dérivée du terme anglais développé correspondant "specified long-term load".

3.64
effort à court terme spécifié
SSL
force la plus élevée, perpendiculaire à l'axe longitudinal d'un parafoudre, qu'il est admis d'appliquer en service pendant de courtes périodes et pendant des événements relativement rares (par exemple, des charges dues à des courants de court-circuit et de fortes rafales de vent) sans provoquer aucun dommage mécanique au parafoudre

Note 1 à l'article: Le SSL ne se réfère pas à des exigences de résistance mécanique pendant des secousses sismiques. Voir G.2.

Note 2 à l'article: L'abréviation "SSL" est dérivée du terme anglais développé correspondant "specified short-term load".

3.65
parafoudre de classe de poste
parafoudres destinés à être utilisés dans des postes afin de protéger le matériel contre les surtensions transitoires, généralement, mais pas uniquement, destinés à être utilisés sur des réseaux de $U_s \geq 72{,}5$ kV

Note 1 à l'article: Les parafoudres de classe de poste peuvent avoir des courants nominaux de décharge, I_n, de 10 kA ou 20 kA

Note 2 à l'article: Les parafoudres de classe de poste sont classés comme suit: "Poste SH", "Poste SM" et "Poste SL" (voir Tableau 1)

Note 3 à l'article: Les parafoudres de classe de poste peuvent également être utilisés dans les réseaux de distribution de $U_s \leq 52$ kV.

3.66
choc de courant à front raide
choc de courant avec une durée conventionnelle de front de 1 µs avec des limites de réglage du matériel telles que l'on mesure des valeurs comprises entre 0,9 µs et 1,1 µs. La durée conventionnelle jusqu'à mi-valeur sur la queue ne dépasse pas 20 µs

Note 1 à l'article: Pour la mesure de la tension résiduelle lors des essais de type, la durée jusqu'à mi-valeur sur la queue n'est pas un paramètre critique et aucune tolérance n'est imposée (voir 8.3).

3.67
niveau de protection contre les chocs de courant à front raide
STIPL
tension résiduelle maximale du parafoudre pour un choc de courant à front raide d'amplitude égale à l'amplitude du courant nominal de décharge

Note 1 à l'article: L'abréviation "STIPL" est dérivée du terme anglais développé correspondant "steep current impulse protection level".

3.68
choc de courant de manœuvre d'un parafoudre
valeur de crête du courant de décharge dont la durée conventionnelle du front est comprise entre 30 µs et 100 µs, et dont la durée conventionnelle jusqu'à mi-valeur sur la queue est d'environ deux fois la durée conventionnelle du front

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

3.69
niveau de protection contre les chocs de manœuvre
SIPL ou U_{ps}
tension résiduelle maximale du parafoudre pour le courant de décharge de choc de manœuvre spécifié pour sa classe

Note 1 à l'article: L'abréviation "SIPL" est dérivée du terme anglais développé correspondant "switching impulse protection level".

3.70
queue d'un choc
partie d'un choc postérieure à la crête

3.71
effort en tête
force perpendiculaire à l'axe longitudinal du parafoudre mesurée au niveau de son axe

3.72
caractéristiques assignées de transfert de charges thermiques
Q_{th}
charge spécifiée maximale qui peut être transmise par un parafoudre ou une fraction de parafoudre dans un délai de 3 minutes lors d'un essai de récupération thermique sans provoquer d'emballement thermique

Note 1 à l'article: Ces caractéristiques assignées sont vérifiées par l'essai de type de fonctionnement.

3.73
caractéristiques assignées d'énergie thermique
W_{th}
énergie spécifiée maximale, donnée en kJ/kV de U_r, qui peut être injectée dans un parafoudre ou une fraction de parafoudre dans un délai de 3 minutes lors d'un essai de récupération thermique sans provoquer d'emballement thermique

Note 1 à l'article: Ces caractéristiques assignées sont vérifiées par l'essai de type de fonctionnement.

3.74
emballement thermique d'un parafoudre
situation où la puissance absorbée de façon prolongée par un parafoudre dépasse la capacité de dissipation thermique de l'enveloppe et des connexions, et conduit à une augmentation cumulative de la température des éléments de résistances MO qui se termine par une défaillance du parafoudre

3.75
stabilité thermique d'un parafoudre
l'état d'un parafoudre si, à la suite d'un fonctionnement ayant entraîné une montée en température, la température des résistances MO baisse en fonction de la durée lorsque le parafoudre est soumis à la tension de régime permanent spécifiée et dans des conditions ambiantes spécifiées

3.76
effort de torsion
chacune des forces horizontales appliquées en partie haute de l'enveloppe d'un parafoudre installé en position verticale, qui ne s'appliquent pas sur son axe longitudinal

3.77
essais de type
essais de conception
essais effectués après la mise au point d'un nouveau type de parafoudre pour déterminer ses caractéristiques et montrer qu'il est conforme à la norme appropriée

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

Note 1 à l'article: Une fois ces essais effectués, il n'est nécessaire de les reprendre que si des modifications viennent en changer les caractéristiques de conception. Dans ce cas, seuls les essais nécessaires sont à répéter.

3.78
choc de courant à demi-onde sinusoïdale unipolaire
choc de courant unipolaire comprenant un demi-cycle de courant pratiquement sinusoïdal

3.79
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

3.80
durée conventionnelle de la crête d'un choc rectangulaire
temps pendant lequel l'amplitude du choc est supérieure à 90 % de sa valeur de crête

3.81
durée conventionnelle du front d'un choc de courant
T_1
durée exprimée en microsecondes égale à 1,25 fois le temps nécessaire au courant pour croître de 10 % à 90 % de sa valeur de crête

Note 1 à l'article: S'il existe des oscillations sur le front, il convient de prendre les points de référence à 10 % et à 90 % sur la courbe moyenne tracée à travers les oscillations.

3.82
origine conventionnelle d'un choc
point d'une courbe «tension en fonction du temps» ou «courant en fonction du temps» déterminé par l'intersection de l'axe des temps, à tension ou courant nul, et de la droite passant par deux points de référence sur le front du choc

Note 1 à l'article: Pour les chocs de courant, les points de référence doivent être égaux à 10 % et 90 % de la valeur de crête.

Note 2 à l'article: Cette définition ne s'applique que lorsque l'échelle des abscisses et celle des ordonnées sont toutes deux linéaires.

Note 3 à l'article: S'il existe des oscillations sur le front, il convient de prendre les points de référence à 10 % et à 90 % sur la courbe moyenne tracée à travers les oscillations.

3.83
raideur conventionnelle du front d'un choc
quotient de la valeur de crête par la durée conventionnelle du front du choc

3.84
durée conventionnelle jusqu'à mi-valeur sur la queue d'un choc
T_2
intervalle de temps entre l'origine conventionnelle et l'instant où la tension ou le courant a diminué jusqu'à atteindre la moitié de sa valeur de crête. Cette durée est exprimée en microsecondes

3.85
durée conventionnelle totale d'un choc rectangulaire
temps pendant lequel l'amplitude du choc est supérieure à 10 % de sa valeur de crête

Note 1 à l'article: S'il existe de petites oscillations sur le front, Il convient de tracer une courbe moyenne pour déterminer l'instant où la valeur de 10 % est atteinte.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

4 Identification et classification

4.1 Identification des parafoudres

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

- la désignation du parafoudre (voir Tableau 1);
- la tension de régime permanent;
- la tension assignée;
- la fréquence assignée, si elle diffère des fréquences normalisées (voir 5.2);
- le courant nominal de décharge;
- le courant assigné de court-circuit en kiloampères (kA). Pour les parafoudres pour lesquels aucune valeur assignée de tenue en court-circuit n'est revendiquée, la valeur «0» doit être indiquée;
- le nom du constructeur ou la marque de fabrique, le type et les repères d'identification du parafoudre complet;
- les repères d'identification de l'emplacement de l'élément dans l'assemblage (pour les parafoudres à plusieurs éléments uniquement);
- l'année de construction;
- le numéro de série (au moins pour les parafoudres dont la tension assignée est supérieure à 60 kV).

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

- les caractéristiques assignées de transfert de charges répétitives, Q_{rs}
- le niveau de tenue sous pollution de l'enceinte (voir IEC TS 60815-1).

4.2 Classification des parafoudres

Les parafoudres de classe de poste et de classe de distribution sont classés comme indiqué au Tableau 1, et ils doivent satisfaire au moins aux exigences d'essai et aux caractéristiques de fonctionnement spécifiées au Tableau 3.

Selon l'application, la classification des parafoudres NGLA peut prendre en charge celle de tout parafoudre indiqué dans le Tableau 1.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

Tableau 1 – Classification des parafoudres

Classe de parafoudre	Poste			Distribution		
Désignation	**SH**	**SM**	**SL**	**DH**	**DM**	**DL**
Courant nominal de décharge [a]	20 kA	10 kA	10 kA	10 kA	5 kA	2,5 kA
Courant de décharge de choc de manœuvre [a]	2 kA	1 kA	0,5 kA	--	--	--
Q_{rs} (C)	≥ 2,4	≥ 1,6	≥ 1,0	≥ 0,4	≥ 0,2	≥ 0,1
W_{th} (kJ/kV)	≥10	≥ 7	≥ 4	--	--	--
Q_{th} (C)	--	--	--	≥ 1,1	≥ 0,7	≥ 0,45

[a] D'autres courants peuvent être spécifiés sur accord entre le constructeur et l'utilisateur

NOTE Les lettres "H", "M" et "L" désignent un fonctionnement "important" ('high' en anglais), "moyen" ('medium' en anglais) et "faible" ('low' en anglais), respectivement.

5 Caractéristiques assignées et conditions de service

5.1 Tensions assignées normalisées

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

Tableau 2 – Valeurs préférentielles des tensions assignées

Gamme de tensions assignées kV efficace	**Échelons de tension assignée** kV efficace.
3 à 30	1
30 à 54	3
54 à 96	6
96 à 288	12
288 à 396	18
396 à 900	24
D'autres valeurs de tensions assignées peuvent être acceptées.	

5.2 Fréquences assignées normalisées

Les fréquences assignées normalisées sont 50 Hz et 60 Hz.

5.3 Valeurs normalisées du courant nominal de décharge

Les valeurs normalisées du courant nominal de décharge 8/20 sont: 20 kA, 10 kA, 5 kA et 2,5 kA.

5.4 Conditions de service

5.4.1 Conditions normales de service

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

a) température ambiante de l'air comprise entre –40 °C et +40 °C;

b) rayonnement solaire;

NOTE Les effets d'un rayonnement solaire maximal (1,1 kW/m^2) sont pris en compte en préchauffant l'éprouvette lors des essais de type. D'autres sources de chaleur qui peuvent affecter l'utilisation du parafoudre ne sont pas prises en compte dans les conditions normales de service.

c) altitude ne dépassant pas 1 000 m;

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

d) fréquence de la source d'alimentation en courant alternatif comprise entre 48 Hz et 62 Hz;

e) tension à fréquence industrielle appliquée de façon continue entre les bornes du parafoudre ne dépassant pas sa tension de régime permanent;

f) vitesse du vent ≤ 34 m/s;

g) montage vertical, non suspendu.

5.4.2 Conditions anormales de service

Les parafoudres destinés à des utilisations différentes ou soumis à des conditions de service autres que les conditions normales peuvent exiger une étude spéciale pour leur conception, leur fabrication ou leur utilisation. L'utilisation de la présente norme en cas de conditions anormales de service est sujette à un accord entre le constructeur et l'utilisateur. Une liste des conditions anormales de service possibles est donnée dans l'Annexe A.

6 Exigences

6.1 Tenue diélectrique

Le parafoudre doit être conçu de sorte que les enveloppes soient capables de résister de manière appropriée aux tensions lors de la conduction des courants de choc de foudre et de manœuvre, et à des surtensions à fréquence industrielle maximales anticipées. La capacité de tenue diélectrique externe des enveloppes doit être démontrée par des essais selon 8.2, tandis que leur capacité de tenue diélectrique interne doit être démontrée par des essais selon 8.15.

6.2 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 7.2). La valeur minimale de la tension de référence du parafoudre pour le courant de référence utilisé lors des essais individuels de série doit être spécifiée et elle doit figurer parmi les informations fournies par le constructeur.

6.3 Tensions résiduelles

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

La tension résiduelle maximale d'un parafoudre de type donné, pour un courant et une forme d'onde donnés, est calculée en multipliant la tension résiduelle des fractions soumises à essai lors des essais de type par un facteur d'échelle spécifique. Le facteur d'échelle est égal au rapport entre la tension résiduelle maximale déclarée, telle que vérifiée pendant les essais individuels de série, et la tension résiduelle mesurée sur les fractions pour le même courant et la même forme d'onde.

Pour certains parafoudres dont la tension assignée est inférieure à 36 kV (selon la NOTE 1 de 9.1, point b)), on peut, pour ce calcul, remplacer la tension résiduelle par la tension de référence.

La documentation du constructeur doit contenir, pour chaque parafoudre énuméré, les informations suivantes concernant la tension résiduelle:

- la tension résiduelle maximale de choc de foudre pour les courants de choc d'au moins 0,5, 1 et 2 fois le courant nominal de décharge du parafoudre (voir 8.3.4)

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

- la tension résiduelle maximale de choc de manœuvre pour les courants de choc donnés au Tableau 1 (voir 8.3.4)
- la tension résiduelle maximale de choc de courant à front raide, à l'exclusion de la contribution de tension inductive, pour un courant de choc dont la valeur de crête est égale au courant nominal de décharge du parafoudre (voir 8.3.3)
- la tension résiduelle maximale de choc de courant à front raide, y compris la contribution de tension inductive, pour un courant de choc dont la valeur de crête est égale au courant nominal de décharge du parafoudre. Cette tension résiduelle doit être égale à
- la tension résiduelle maximale de choc de courant à front raide (voir 8.3.3), à l'exclusion de la contribution de tension inductive + amplitude de la chute de tension inductive

  où, pour les parafoudres AIS,

  l'amplitude de la chute de tension inductive = 2,5 kV/m, 5 kV/m, 10 kV/m ou 20 kV/m de la longueur de parafoudre pour les parafoudres avec un courant nominal de décharge de 2,5 kA, 5 kA, 10 kA ou 20 kA, respectivement

  ou, pour les parafoudres blindés, débrochables et pour prise,

  l'amplitude de la chute de tension inductive = 0,75 kV/m, 1,5 kV/m, 3 kV/m ou 6 kV/m de la longueur de parafoudre pour les parafoudres avec un courant nominal de décharge de 2,5 kA, 5 kA; 10 kA ou 20 kA, respectivement

NOTE 1 La contribution de la chute de tension inductive est importante uniquement pour les chocs de courant à front raide. Elle augmente en effet le niveau de protection du parafoudre au-delà de la tension résiduelle de choc de courant à front raide des seules résistances MO, déterminée à partir de 8.3.3. La tension résiduelle maximale de choc de courant à front raide, y compris la contribution de la tension inductive, est fournie aux utilisateurs qui souhaitent réaliser des études de coordination de l'isolement.

NOTE 2 Les tensions résiduelles maximales types pour différents types de parafoudre sont données dans l'Annexe F de l'IEC 60099-5: 2013.

6.4 Décharges partielles internes

Dans des conditions normales de fonctionnement en environnement sec, les décharges partielles internes doivent être inférieures à un niveau susceptible de provoquer l'endommagement des parties internes. Ceci doit être démontré par un essai individuel de série selon le point c) de 9.1.

6.5 Taux de fuite

Pour les parafoudres avec volume interne de gaz et système séparé d'étanchéité, des taux de fuite doivent être spécifiés comme cela est défini en 8.13 et au point d) de 9.1.

6.6 Répartition du courant dans les parafoudres à plusieurs colonnes

Le constructeur doit spécifier la différence maximale admise entre les courants dans les colonnes d'un parafoudre qui en comporte plusieurs (voir point e) de 9.1.

6.7 Stabilité thermique

Après accord entre le constructeur et l'utilisateur, un essai spécial de stabilité thermique peut être réalisé selon 9.2.2.

6.8 Stabilité à long terme sous une tension de régime permanent

Les résistances MO doivent être soumises à un essai de vieillissement accéléré afin de s'assurer qu'elles présentent des conditions stables sur la durée de vie anticipée du parafoudre (voir 8.4).

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

6.9 Capacité de dissipation de chaleur de l'échantillon pour essai

Les fractions distribuées au prorata utilisées pour les essais qui impliquent une récupération thermique doivent avoir des propriétés thermiques qui n'entraînent pas une surestimation des caractéristiques de fonctionnement du parafoudre. Des essais doivent être réalisés afin de valider la capacité de dissipation de chaleur des fractions distribuées au prorata (voir 8.6)

6.10 Tenue au transfert de charges répétitives

Les parafoudres doivent supporter des transferts de charges répétitives suivant les modalités décrites pour les essais de type (voir 8.5).

La tenue au transfert de charges répétitives est démontrée sur des résistances MO individuelles dans l'essai de vérification des caractéristiques assignées de transfert de charges répétitives (voir 8.5.2).

NOTE Il peut y avoir des applications spéciales pour lesquelles les transferts de charges simples provoquent des dissipations d'énergie supérieures aux caractéristiques assignées d'énergie thermique de même nature.

6.11 Fonctionnement des parafoudres

Les parafoudres doivent être capables d'absorber l'énergie générée par les manœuvres ou la charge de transfert générée par les chocs de foudre, et doivent par la suite pouvoir faire l'objet d'une récupération thermique sous l'application d'une surtension temporaire et suivant des conditions de tension de régime permanent. Cette capacité est démontrée par l'essai de fonctionnement (voir 8.7).

6.12 Caractéristiques 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 qui peut être appliquée au parafoudre après que ce dernier a été préchauffé à la température initiale selon 8.7.2.3 sans détérioration ou emballement thermique. Les informations doivent être fournies sans l'application d'énergie ou de charge préalable et – dans le cas de $I_n \geq 10$ kA – avec application préalable correspondant aux caractéristiques assignées d'énergie thermique W_{th} ou aux caractéristiques assignées de transfert de charges thermiques Q_{th}.

Ces indications doivent être présentées sous forme de courbes de la tension à fréquence industrielle en fonction du temps (courbes TOV), avec application d'énergie ou de charge préalable à l'application de la tension à fréquence industrielle indiquée sur la courbe susmentionnée.

La caractéristique TOV est démontrée sur des fractions thermiquement distribuées au prorata pour l'essai de vérification de la caractéristique de tension à fréquence industrielle en fonction du temps (essai TOV) (voir 8.8).

6.13 Comportement aux courants de court-circuit

Le constructeur doit déclarer des caractéristiques assignées de courant de court-circuit pour chaque famille de parafoudres. La valeur assignée "zéro" peut être revendiquée uniquement pour les applications avec des courants de court-circuit prévus inférieurs à 1 kA. Dans ce cas, la valeur “0” doit être indiquée sur la plaque signalétique. Dans tous les cas, le parafoudre doit être soumis à un essai de court-circuit selon 8.10 pour montrer qu'il ne connaît pas de défaillance telle qu'elle occasionne une rupture explosive de l'enveloppe et que l'auto-extinction de flammes nues (le cas échéant) se produise dans un délai défini.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

6.14 Dispositif de déconnexion

6.14.1 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:

- Pour les parafoudres de classe de distribution:
  - essai de vérification des caractéristiques assignées de transfert de charges répétitives, Q_{rs} (voir 8.5.2);
  - essai de fonctionnement avec les valeurs assignées des caractéristiques assignées de charge thermique, Q_{th} (voir 8.7.2);
  - essais mécaniques sur accord entre le constructeur et l'utilisateur (voir NOTES 1 et 2 du 8.9.4.2);
  - essai de cycles de températures et de pompage d'étanchéité (voir 8.9.5)
- Pour les parafoudres de ligne sans éclateur (NGLA):
  - essai de vérification des caractéristiques assignées de transfert de charges répétitives, Q_{rs} avec des décharges au choc de foudre selon l'Annexe H ou des courants de longue durée (voir 8.5.2);
  - essai de fonctionnement avec les valeurs assignées des caractéristiques assignées d'énergie thermique, W_{th} (voir 8.7.2);
  - essai de moment de flexion (voir 8.9.4.3);
  - essai d'effort de traction (voir 8.9.4.3);
  - essai d'effort de torsion (voir 8.9.4.3);
  - essai de cycles de températures et de pompage d'étanchéité (voir 8.9.5)

6.14.2 Fonctionnement du dispositif de déconnexion

Le laps de temps de fonctionnement du dispositif de déconnexion est déterminé pour trois valeurs de courant selon 8.9.3. Le dispositif doit assurer clairement une séparation effective et permanente.

6.15 Exigences pour les éléments de répartition internes

Les éléments de répartition internes, s'ils sont utilisés dans le parafoudre, doivent être capables de résister à la combinaison de contraintes qui apparaissent en service, et l'impédance des éléments de répartition doit également montrer une stabilité suffisante au cours de la durée de vie en service. Ceci doit être démontré par l'essai de fonctionnement (voir 8.7) et l'essai TOV (voir 8.8) réalisés avec des éléments de répartition internes inclus dans les fractions d'essai.

De plus, les éléments doivent résister aux essais de vieillissement accéléré et aux essais cycliques spécifiés en 8.16.

6.16 Efforts mécaniques

6.16.1 Généralités

Le constructeur doit spécifier les efforts maximums en tête admissibles lors de l'installation et en service, tels que des efforts de flexion, de torsion et de traction.

6.16.2 Moment de flexion

Le parafoudre doit être capable de résister aux valeurs des efforts de flexion déclarées par le constructeur (voir 8.11).

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

Lors de la détermination de l'effort mécanique appliqué à un parafoudre, il convient que l'utilisateur prenne en compte par exemple, le vent, la glace et les forces électromagnétiques susceptibles d'affecter l'installation.

Il convient que les parafoudres emballés résistent aux contraintes de transport définies par l'utilisateur conformément à l'IEC 60721-3-2, qui ne soient jamais inférieures à la classe 2M1.

NOTE Contrairement aux parafoudres à enveloppe en porcelaine, les parafoudres à enveloppe synthétique peuvent présenter des déformations mécaniques en service.

6.16.3 Résistance aux contraintes d'environnement

Le parafoudre doit être capable de résister aux contraintes d'environnement définies en 8.12.

6.16.4 Embase isolante et console de montage

Lorsqu'une embase isolante et/ou une console de montage sont fournies avec le parafoudre, celles-ci doivent être soumises à des essais mécaniques séparément du parafoudre (voir 8.11.6).

6.16.5 Valeur de l'effort moyen à la rupture (MBL)

Pour les parafoudres à enveloppe en porcelaine et à enveloppe de résine moulée, le MBL doit être ≥ 1,2 fois l'effort à court terme spécifié (SSL). Ceci doit être démontré dans l'essai de moment de flexion décrit en 8.11.

6.16.6 Compatibilité électromagnétique

Les parafoudres ne sont pas sensibles aux perturbations électromagnétiques et aucun essai d'immunité n'est donc nécessaire.

Dans des conditions normales de fonctionnement en environnement sec, les parafoudres ne doivent pas émettre de perturbations significatives. Pour les parafoudres destinés à être utilisés sur des réseaux de U_s ≥ 72,5 kV, ceci doit être démontré par un essai aux tensions perturbations RF (RIV) selon 8.14.

6.17 Fin de cycle

À la demande des utilisateurs, chaque constructeur doit fournir des informations suffisantes pour que tous les composants du parafoudre puissent être mis au rebut et/ou recyclés conformément aux règlements nationaux ou internationaux.

6.18 Capacité de décharge au choc de foudre

Pour les parafoudres NGLA destinés à être installés sur des lignes aériennes dont les tensions réseau sont supérieures à 52 kV, la capacité de décharge au choc de foudre doit être démontrée par les essais et les procédures donnés à l'Annexe H.

7 Conditions générales d'exécution des essais

7.1 Appareillage de mesure et précision

L'appareillage de mesure doit satisfaire aux exigences de l'IEC 60060-2. Les valeurs obtenues doivent être acceptées comme valeurs précises à des fins de conformité aux articles d'essai pertinents.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

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

7.2 Mesures de la tension de référence

La tension de référence d'un parafoudre est mesurée au courant de référence sur des fractions et des éléments lorsque cela est nécessaire. Cette mesure doit être effectuée à une température ambiante de 20 °C ± 15 K et cette température doit être enregistrée.

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.

7.3 Échantillons pour essai

7.3.1 Généralités

Sauf spécification contraire, tous les essais doivent être effectués sur les mêmes parafoudres, fractions ou éléments de parafoudres. Ces matériels doivent être neufs, propres, complètement montés (par exemple, avec les anneaux de garde, le cas échéant) et installés dans des conditions simulant le plus fidèlement possible les conditions de service.

Pour les essais qui impliquent la vérification de la stabilité thermique, les fractions doivent contenir le plus grand nombre de colonnes parallèles de résistances MO assemblées dans une enveloppe de parafoudre pour la configuration réelle.

Lorsque les essais sont effectués sur des fractions, il est nécessaire que celles-ci reproduisent le comportement de tous les parafoudres possibles, dans les limites de tolérance du constructeur, en ce qui concerne un essai particulier.

NOTE Il peut ne pas être pratique, du fait de la conception interne habituellement très complexe des parafoudres blindés, de réaliser l'essai sur des échantillons pour essai avec de nombreuses colonnes de résistances MO montées en parallèle. Par ailleurs, il est plus réaliste d'obtenir l'équivalence thermique des parafoudres blindés avec des fractions de colonnes simples, que celle des parafoudres AIS en raison de leur caractéristique de refroidissement mieux adaptée. Par conséquent, pour les parafoudres blindés, les fractions à colonne simple sont acceptées si l'on peut démontrer l'équivalence thermique selon l'Annexe B.

En général, les échantillons doivent couvrir la tension résiduelle la plus élevée et la tension de référence la plus faible du type de résistances MO utilisées dans le parafoudre. Lorsque les caractéristiques assignées de transfert de charges thermiques sont spécifiées pour l'essai de fonctionnement et pour l'essai TOV (voir 8.7 et 8.8), les échantillons doivent avoir le niveau de protection le plus élevé contre les chocs de foudre U_{pl} par unité de longueur du modèle. Lorsque les caractéristiques assignées d'énergie thermique sont spécifiées pour l'essai de fonctionnement, les échantillons pour essai doivent avoir une valeur de tension de référence à l'extrémité inférieure de la plage de variation déclarée par le constructeur. Pour les parafoudres à plusieurs colonnes, on doit considérer la valeur la plus élevée de la répartition inégale du courant. Pour satisfaire à ces exigences, les conditions suivantes doivent être satisfaites:

a) Le rapport entre la tension assignée du parafoudre complet et la tension assignée de la fraction est appelé *n*. Le volume des éléments de résistances utilisés comme échantillons pour essai ne doit pas être supérieur au volume minimal de l'ensemble des éléments de résistances utilisés dans le parafoudre complet divisé par *n*.

b) La tension de référence de la fraction d'essai doit être égale à k U_r/n où k est le rapport entre la tension minimale de référence du parafoudre et sa tension assignée. Si $U_{ref} > k\ U_r/n$ pour un échantillon pour essai disponible, le facteur n doit être réduit en conséquence. (Si $U_{ref} < k\ U_r/n$, le parafoudre peut absorber trop d'énergie. Une telle fraction ne peut être utilisée qu'après accord du constructeur).

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

c) Pour les parafoudres à plusieurs colonnes, la répartition du courant entre les colonnes doit être mesurée au courant de choc utilisé pour l'essai de répartition du courant (voir point e) de 9.1). La valeur de courant la plus élevée ne doit pas être supérieure à la limite maximale spécifiée par le constructeur. De plus, pour les essais qui sont à réaliser sur les fractions d'essai avec plusieurs colonnes, l'énergie de décharge doit être augmentée d'un facteur β_g/β_a où β_g est le facteur de partage du courant garanti et β_a est le facteur de partage du courant réel pour la fraction d'essai. Lorsque l'essai est réalisé sur de simples colonnes, l'énergie doit être augmentée d'un facteur β_g.

d) Les échantillons utilisés pour l'essai de vérification des caractéristiques assignées de transfert de charges répétitives doivent avoir la longueur la plus élevée du type de résistances MO utilisées dans la conception et doivent avoir une contrainte de tension résiduelle 10 kA non inférieure à 0,97 × ($U_{10\ kA}$ par mm de longueur de résistance MO)$_{max}$, où ($U_{10\ kA}$ par mm de longueur de résistance MO)$_{max}$ est la contrainte de tension résiduelle 10 kA la plus élevée spécifiée par le constructeur pour toute longueur du type de résistances MO utilisées dans le parafoudre. Lorsque seuls des échantillons de contrainte de tension résiduelle inférieure à 10 kA sont disponibles, la charge transférée exigée doit être augmentée pour l'essai par le facteur ($U_{10\ kA}$ par mm de longueur de résistance MO)$_{max}$ / ($U_{10\ kA}$ par mm de longueur de résistance MO)$_{réelle}$.

e) La tension de régime permanent appliquée pour les essais de récupération thermique doit satisfaire à l'exigence suivante: Le rapport entre la tension de régime permanent et la tension assignée de la fraction ne doit pas être inférieur au rapport maximum revendiqué pour le type de parafoudre.

7.3.2 Exigences pour les fractions de parafoudre

7.3.2.1 Fraction thermiquement distribuée au prorata

La fraction de parafoudre pour les essais de récupération thermique doit représenter thermiquement le parafoudre modélisé. L'équivalence thermique doit être vérifiée selon la procédure spécifiée à l'Annexe B.

La tension assignée de la fraction distribuée au prorata doit être d'au moins 3 kV.

Pour obtenir une équivalence thermique, il peut être nécessaire d'introduire des composants qui ne font habituellement pas partie intégrante du modèle. Il est nécessaire de s'assurer que ces mesures n'affectent pas la rigidité diélectrique de l'échantillon au cours de l'injection de l'énergie ou de la charge.

Une fraction thermiquement distribuée au prorata peut également être un parafoudre réel ou un élément de parafoudre du modèle.

Dans le cas de modèles avec deux colonnes MO ou plus montées en parallèle, la fraction thermiquement distribuée au prorata doit contenir le même nombre de colonnes parallèles que le parafoudre réel.

Sur accord entre le constructeur et l'utilisateur, la fraction thermiquement distribuée au prorata d'un parafoudre de type à plusieurs colonnes peut contenir une seule colonne simple lorsque l'équivalence thermique est obtenue.

Pour les parafoudres blindés de type à plusieurs colonnes, la fraction thermiquement distribuée au prorata peut contenir une seule colonne simple lorsque l'équivalence thermique est obtenue.

Aucune exigence supplémentaire ne s'applique, notamment concernant la conception de la fraction distribuée au prorata. Par conséquent, il n'est pas nécessaire que la fraction thermiquement distribuée au prorata soit une tranche du parafoudre et ne contienne que le même matériau que le parafoudre. Cette fraction peut avoir une conception différente de celle

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

du parafoudre modélisé, tant que l'on garantit l'équivalence thermique et une rigidité diélectrique suffisante pour l'injection de l'énergie et de la charge, respectivement.

7.3.2.2 Fraction diélectriquement distribuée au prorata

La fraction de parafoudre dédiée aux essais de rigidité diélectrique interne doit représenter une tranche du parafoudre modélisé, y compris les résistances MO, l'enveloppe et la structure de maintien.

La tension assignée doit être d'au moins 3 kV.

La fraction doit satisfaire aux exigences suivantes: elle doit être une reproduction exacte du parafoudre réel eu égard aux diamètres, matériaux, etc. La structure de maintien mécanique doit être incluse. Les éléments situés uniquement aux positions réparties dans le parafoudre modélisé, tels que les supports de distance et les entretoises, doivent être présents dans le modèle. La partie active doit avoir le même milieu environnant que le parafoudre réel.

Une fraction diélectriquement distribuée au prorata peut également être un parafoudre réel ou un élément de parafoudre du modèle.

Un schéma exact du modèle diélectrique doit être publié dans le rapport d'essai.

7.3.2.3 Fraction pour les essais de tension résiduelle

La fraction de parafoudre dédiée aux essais de tension résiduelle doit être un élément de parafoudre complet, une colonne de résistances MO connectées en série ou une résistance MO individuelle en air calme. Pour les parafoudres à plusieurs colonnes, la fraction peut être constituée du nombre réel de résistances MO ou de colonnes de résistances montées en parallèle, ou d'une seule résistance MO, voire d'une seule colonne de résistances, respectivement.

7.3.2.4 Fraction dédiée à l'essai de vérification des caractéristiques assignées de transfert de charges répétitives, Q_{rs}

La fraction de parafoudre dédiée à l'essai de vérification des caractéristiques assignées de transfert de charges répétitives, Q_{rs}, doit être une résistance MO individuelle en air calme, ou dans le milieu environnant réel du modèle. Le choix est laissé au constructeur.

8 Essais de type (essais de conception)

8.1 Généralités

Les essais de type définis dans cet article s'appliquent aux parafoudres à enveloppe en porcelaine. Les essais s'appliquent aussi à d'autres types de parafoudre (à enveloppe synthétique, blindés, pour prise et débrochables, et immergés) sauf indication contraire en 10.8 pour les parafoudres à enveloppe synthétique, en 11.8 pour les parafoudres blindés, en 12.8 pour les parafoudres débrochables et pour prise, ou en 13.8 pour les parafoudres immergés.

Les essais de type doivent être réalisés comme indiqué dans le Tableau 3.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

Tableau 3 – Essais de type de parafoudre

Classe de parafoudre	Poste	Poste	Distribution
Courant nominal de décharge	20 kA 10 kA	20 kA 10 kA	10 kA 5 kA 2,5 kA
Valeur U_s (kV) type, valeur efficace	> 245	≤ 245	≤ 52
1 Essais de tenue diélectrique de l'enveloppe du parafoudre			
a) Choc de foudre	8.2.6	8.2.6	8.2.6
b) Choc de manœuvre	8.2.7	Non exigé	Non exigé
c) Fréquence industrielle	Non exigé	8.2.8	8.2.8
2 Essai de tension résiduelle			
a) Courant à front raide	8.3.3	8.3.3	8.3.3
b) Choc de foudre	8.3.4	8.3.4	8.3.4
c) Choc de manœuvre	8.3.4	8.3.4	Non exigé
3 Essai de vérification de la stabilité à long terme sous une tension de régime permanent	8.4	8.4	8.4
4 Tenue au transfert de charges répétitives	8.5	8.5	8.5
5 Vérification de la capacité de dissipation de chaleur de l'échantillon pour essai	8.6	8.6	8.6
6 Essai de fonctionnement	8.7	8.7	8.7
7 Tension à fréquence industrielle en fonction du temps	8.8	8.8	8.8
8 Dispositif de déconnexion/indicateur de défaut de parafoudre (pour les parafoudres munis de ces dispositifs)	8.9	8.9	8.9
9 Essais de court-circuit	8.10	8.10	8.10
10 Moment de flexion	8.11	8.11	8.11
11 Essais d'environnement	8.12	8.12	8.12
12 Essai de mesure du taux de fuite	8.13	8.13	8.13
13 Essai aux tensions perturbatrices RF (RIV)	8.14	8.14	Non exigé
14 Essai de vérification de la tenue diélectrique des composants internes d'un parafoudre	8.15	8.15	8.15
15 Essai des éléments de répartition internes	8.16	8.16	8.16
16 Essai des enveloppes sous pollution	Annexe C	Annexe C	Annexe C
Les nombres des lignes 1 à 16 se réfèrent aux articles et aux paragraphes de la présente norme NOTE Les essais de type dédiés aux autres types de parafoudres (à enveloppe synthétique, blindés, pour prise et débrochables, et immergés) sont spécifiés en 10.8, 11.8, 12.8 et 13.8.			

Le nombre exigé 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 de la structure de maintien 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.

8.2 Essais de tenue diélectrique

8.2.1 Généralités

Les essais de tenue à la tension démontrent la capacité de tenue à la tension de l'isolation externe de l'enveloppe des parafoudres. Pour d'autres configurations, il est nécessaire que l'essai fasse l'objet d'un accord entre le constructeur et l'utilisateur.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

Les essais doivent être effectués dans les conditions et sous les tensions d'essai spécifiées 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.

Lorsque l'une quelconque des conditions qui associent la distance d'amorçage d'arc à sec à la tension d'essai, comme cela est décrit en 8.2.6, 8.2.7 ou 8.2.8, est satisfaite, il n'est alors pas nécessaire de réaliser l'essai pertinent spécifié en 8.2.6, 8.2.7 ou 8.2.8, étant donné que, dans ces conditions, la tension de tenue diélectrique du parafoudre satisfait intrinsèquement aux exigences minimales.

8.2.2 Essais sur les enveloppes des éléments individuels

Pour les parafoudres destinés à être utilisés sur des réseaux de $U_s \leq 245$ kV, les essais de tension de tenue au choc de foudre selon 8.2.6 et les essais de tension de tenue à fréquence industrielle selon 8.2.8 doivent être réalisés sur les enveloppes des éléments individuels.

Les essais applicables 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 forte, des essais supplémentaires doivent être effectués sur l'enveloppe de l'élément ayant la plus forte contrainte de tension spécifique. Pour l'essai, les résistances MO doivent être retirées de l'enveloppe ou remplacées par des isolateurs.

8.2.3 Essais sur les assemblages de parafoudres complets

Pour les parafoudres destinés à être utilisés sur des réseaux de $U_s > 245$ kV, les essais de tension de tenue au choc de foudre selon 8.2.6 et les essais de tension de tenue au choc de manœuvre selon 8.2.7 doivent être réalisés sur les assemblages de parafoudres complets.

Les essais de tension de tenue au choc de manœuvre dédiés aux parafoudres destinés à un usage extérieur doivent être réalisés dans des conditions humides avec le parafoudre placé sur un socle. Les détails du socle utilisé doivent être indiqués dans le rapport d'essai. Les essais de tension de tenue au choc de manœuvre dédiés aux parafoudres destinés à un usage intérieur doivent être réalisés à sec.

L'enveloppe doit comporter le système de répartition externe complet. Les résistances MO doivent être remplacées par des résistances, des condensateurs ou des résistances MO de plus grande capacité afin d'obtenir, approximativement, la même répartition de potentiel du parafoudre lors des décharges de courant élevées que celle qui serait obtenue par les résistances MO réelles utilisées dans le parafoudre. Lorsque l'on utilise des résistances MO, celles-ci doivent avoir une caractéristique de protection qui génère au moins un courant de crête de 1 A pendant l'essai de tenue diélectrique.

NOTE L'utilisation de résistances MO de plus grande capacité représente une solution alternative aux essais de tension de tenue au choc de foudre et de manœuvre, mais non à l'essai de tension de tenue à fréquence industrielle, du fait de l'incapacité du parafoudre à résister pendant 1 min à la tension à fréquence industrielle appliquée pour un écoulement de courant de 1 A.

8.2.4 Caractéristiques de l'air ambiant pendant les essais

La tension à appliquer pendant un essai de tenue est définie en multipliant la tension de tenue spécifiée par le facteur de correction tenant compte de la densité de l'air et de l'humidité (voir IEC 60060-1).

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

8.2.5 Modalités des essais sous pluie

L'isolation externe des parafoudres de type extérieur doit être soumise à des essais de tenue sous pluie suivant la procédure d'essai décrite dans l'IEC 60060-1.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

8.2.6 Essai de tension de tenue au choc de foudre

Le parafoudre doit être soumis à un essai à sec normalisé de tension de tenue au choc de foudre selon l'IEC 60060-1. La tension d'essai doit être au moins égale à 1,3 fois la tension résiduelle maximale du parafoudre au courant nominal de décharge.

NOTE Le facteur de 1,3 est obtenu à partir de $1{,}15 * e^{1\,000/8\,150}$, qui reflète un facteur de coordination de 15 % afin de tenir compte des courants de décharge supérieurs aux courants nominaux et de la nature statistique de la tension de tenue diélectrique, ainsi qu'une marge de 13 % afin de tenir compte de la variation de la pression atmosphérique du niveau de la mer jusqu'aux altitudes en service normal inférieures ou égales à 1 000 m..

Quinze chocs consécutifs à la valeur de la tension d'essai doivent être appliqués pour chaque polarité. Le parafoudre doit être considéré comme ayant satisfait à l'essai si aucune décharge disruptive interne n'a lieu et si le nombre de décharges disruptives externes ne dépasse pas deux pour chaque série de quinze chocs. La tension d'essai doit être égale au niveau de protection contre les chocs de foudre du parafoudre multiplié par 1,3.

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

8.2.7 Essai de tension de tenue au choc de manœuvre

Les parafoudres de classe de poste selon le Tableau 1 destinés à être utilisés sur des réseaux de $U_s > 245$ kV doivent être soumis à un essai normalisé de tension de tenue au choc de manœuvre selon l'IEC 60060-1. Les parafoudres pour un usage extérieur doivent être soumis à un essai sous pluie, et les parafoudres pour un usage intérieur doivent être soumis à un essai à sec. La tension d'essai doit être au moins égale à la tension maximale résiduelle au choc de manœuvre des parafoudres multipliée par $1{,}1 \times e^{m \times 1\,000/8\,150}$ où

- pour les parafoudres destinés à être utilisés sur des réseaux de $U_s \leq 800$ kV, $m = 1$
- pour les parafoudres destinés à être utilisés sur des réseaux de $U_s > 800$ kV, m est issue de l'IEC 60071-2:1996, Figure 9, isolation phase-terre, où la valeur sur l'abscisse doit être égale à 1,1 fois le niveau de protection contre les chocs de manœuvre du parafoudre

  NOTE 1 Le facteur de $1{,}1 \times e^{m \times 1\,000/8\,150}$ reflète un facteur de coordination de 10 % afin de tenir compte des courants de décharge supérieurs aux courants normaux et de la nature statistique de la tension de tenue diélectrique, ainsi qu'une marge de 13 % afin de tenir compte de la variation de la pression atmosphérique du niveau de la mer jusqu'aux altitudes en service normal inférieures ou égales à 1 000 m..

Lorsque les exigences d'isolation des parafoudres destinés à être utilisés pour des réseaux de $U_s > 800$ kV, calculées sur la base des éléments ci-dessus demeurent plus sévères que celles choisies pour les matériels protégés, il convient que les mêmes niveaux d'isolation s'appliquent également pour les parafoudres.

Quinze chocs consécutifs à la valeur de la tension d'essai doivent être appliqués pour chaque polarité. Le parafoudre doit être considéré comme ayant satisfait à l'essai si aucune décharge disruptive interne n'a lieu et si le nombre de décharges disruptives externes ne dépasse pas deux pour chaque série de quinze chocs.

Si la distance d'amorçage d'arc à sec ou la somme des distances partielles d'amorçage d'arc à sec est plus grande que celle donnée par l'équation $d = 2{,}2 \times [e^{(U/1\,069)} - 1]$, où d est la distance en m et U est la tension d'essai en kV, cet essai n'est pas exigé.

NOTE 2 L'équation est issue de la formule G.3 de l'IEC 60071-2:1996, où U_{50} est donnée sous la forme $k \times 1\,080 \times \ln(0{,}46 \times d + 1)$, k est le facteur d'écart et d est la distance. Pour les besoins de la présente norme, le facteur d'écart k est supposé être égal à 1,1, et deux écarts-types de 0,05 chacun sont pris en compte afin d'obtenir la tension de tenue.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

8.2.8 Essai de tension de tenue à fréquence industrielle

Les enveloppes des parafoudres destinés à un usage extérieur doivent être soumises à un essai sous pluie, et celles des parafoudres destinés à un usage intérieur doivent être soumises à un essai à sec.

Les enveloppes des parafoudres de classe de distribution selon le Tableau 1 doivent supporter pendant 1 min une tension à fréquence industrielle dont la valeur de crête est égale au niveau de protection contre les chocs de manœuvre multiplié par 0,88.

NOTE 1 Le facteur de 0,88 tient compte d'une marge de sécurité de 1,15 pour des courants de choc de foudre supérieurs au courant nominal de décharge, un facteur de correction d'altitude de 1,13 pour une altitude d'installation de 1 000 m, un facteur 0,8 sous forme d'un rapport type entre le niveau de protection contre les chocs de manœuvre et de foudre et un facteur de conversion d'essai de 0,6 × √2 pour la conversion entre la tension de choc de manœuvre et la valeur de crête de la tension à fréquence industrielle selon le Tableau 2 de l'IEC 60071-2:1996.

Les enveloppes des parafoudres de classe de distribution selon le Tableau 1 destinés à être utilisés sur des réseaux de $U_s \leq 245$ kV doivent supporter pendant 1 min une tension à fréquence industrielle dont la valeur de crête est égale au niveau de protection contre les chocs de manœuvre multiplié par 1,06.

NOTE 2 Le facteur de 1,06 tient compte d'une marge de sécurité de 1,1 pour des courants de choc de manœuvre supérieurs, un facteur de correction d'altitude de 1,13 pour une altitude d'installation de 1000 m et un facteur de conversion d'essai de 0,6 × √2 selon le Tableau 2 de l'IEC 60071-2:1996.

Si la distance d'amorçage d'arc à sec ou la somme des distances partielles d'amorçage d'arc à sec est plus grande que celle donnée par l'équation $d = [1{,}82 \times (e^{(U/859)} - 1)]^{0{,}833}$, où d est la distance en m et U est la valeur de crête de la tension d'essai à fréquence industrielle en kV, cet essai n'est pas exigé.

NOTE 3 L'équation est issue de la formule G.1 de l'IEC 60071-2:1996, où la valeur de crête de U_{50} est donnée sous la forme $750 \times \sqrt{2} \times \ln(1 + 0{,}55 \times d^{1,2})$, d étant la distance. Suivant les recommandations de l'IEC 60071-2, pour les besoins de la présente norme, le facteur d'écart k est supposé être égal à 1, la tension de tenue est supposée être égale à 90 % de U_{50} et un facteur de réduction de 10 % de U_{50} est supposé pour les conditions humides par rapport à un environnement sec.

8.3 Essais de tension résiduelle

8.3.1 Généralités

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 cela est expliqué en 6.3. Cela passe par la détermination du rapport entre les tensions aux courants de chocs spécifiés et le niveau de tension vérifié lors des essais individuels de série. Cette dernière valeur peut être soit la tension de référence, soit la tension résiduelle pour un choc de courant de foudre convenable comprise entre 0,01 et 2 fois le courant nominal de décharge, selon le choix fait par le constructeur pour les modalités des essais individuels de série.

La tension résiduelle maximale au choc de courant de foudre utilisé pour les essais individuels de série 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 déclarée de la tension résiduelle au courant de l'essai individuel de série 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 point b) de 9.1), le constructeur peut choisir de ne vérifier que la tension de référence par un essai individuel de série. 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 d'essai.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

Tous les essais de tension résiduelle doivent être effectués sur les trois mêmes échantillons de parafoudres complets ou de fractions de parafoudre. Le temps séparant les décharges doit être suffisant pour permettre aux échantillons de revenir à une température approximativement égale à la température ambiante. Pour les parafoudres à plusieurs colonnes, l'essai peut être effectué sur des fractions composées d'une seule colonne; les tensions résiduelles sont alors mesurées pour des courants obtenus à partir de l'ensemble des courants du parafoudre complet divisé par le nombre de colonnes.

8.3.2 Essai de la tension résiduelle au choc de courant à front raide

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

La procédure suivante doit être utilisée pour déterminer si une correction des effets inductifs est exigée.

- Un choc de courant à front raide tel que décrit ci-dessus doit être appliqué à un bloc métallique non ferreux de mêmes dimensions que les échantillons de résistances MO en essai. La valeur de crête et la forme de la tension apparaissant aux bornes du bloc métallique doivent être enregistrées.
- Si la tension de crête sur le bloc métallique est inférieure à 2 % de la tension de crête des échantillons de résistances MO, aucune correction inductive de la tension mesurée sur les résistances MO n'est exigée.
- Si la tension de crête sur le bloc métallique est comprise entre 2 % et 20 % de la tension de crête de l'échantillon de résistance MO, alors la forme d'onde de la tension aux bornes du bloc métallique doit être soustraite de la forme d'onde des tensions mesurées sur chacune des résistances MO, et les valeurs de crête des formes d'ondes ainsi obtenues doivent être enregistrées comme valeurs corrigées des tensions des résistances MO.
- Si la tension de crête sur le bloc métallique est supérieure à 20 % de la tension de crête sur les échantillons de résistances MO, alors le circuit d'essai et le circuit de mesure de la tension doivent être améliorés, et l'essai doit être repris.

NOTE 1 Une manière possible de réaliser des formes d'onde de courant identiques lors des mesures est de les appliquer en même temps sur l'échantillon pour essai et sur le bloc métallique en série dans le circuit d'essai. Seules leurs positions respectives nécessitent d'être inversées pour la mesure de la chute de tension sur le bloc métallique ou sur l'échantillon pour essai.

La tension résiduelle la plus élevée parmi les trois tensions résiduelles mesurées, corrigée si nécessaire comme indiqué ci-dessus, et multipliée par le facteur d'échelle (voir 7.3) est définie comme le niveau de protection contre les courants à front raide du parafoudre, à l'exclusion de la contribution de la tension inductive du parafoudre.

De plus, la tension résiduelle maximale de courant à front raide, y compris la contribution de tension inductive est à calculer comme cela est spécifié au 6.3.

NOTE 2 La présence de conducteurs de connexion destinés à relier le parafoudre au réseau d'alimentation introduit une chute de tension inductive supplémentaire pour les chocs de courant à front raide.

8.3.3 Essai de la tension résiduelle au choc de foudre

Chacun des trois échantillons doit être soumis à un choc de courant de foudre avec des valeurs de crête approximativement égales à 0,5, 1 et 2 fois le courant nominal de décharge du parafoudre. La durée conventionnelle du front doit être comprise entre 7 µs 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 6.3. Les valeurs maximales des tensions résiduelles déterminées doivent être portées sur une courbe donnant la tension résiduelle en

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

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 contre les chocs de foudre du parafoudre.

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

8.3.4 Essai de la tension résiduelle au choc de manœuvre

Un choc de courant de manœuvre doit être appliqué à chacun des trois échantillons avec des valeurs de crête selon le Tableau 1 avec une tolérance de ± 5 %. Les tensions résiduelles sont déterminées selon 6.3. La plus élevée de ces trois tensions est définie comme la tension résiduelle au choc de manœuvre du parafoudre.

8.4 Essai de vérification de la stabilité à long terme sous une tension de régime permanent

8.4.1 Généralités

Généralement, un parafoudre, en régime normal, est soumis à des contraintes à une tension inférieure à sa tension de référence U_{ref}. L'essai de vérification de la stabilité à long terme pour de tels cas est indiqué en 8.4.2. Cependant, pour certaines conceptions de parafoudre, la tension de régime normal peut être égale ou même supérieure à l'U_{ref}. Dans ce cas, il peut ne pas être possible de réaliser un essai de la même manière et un autre essai pour ce cas est indiqué en 8.4.3.

8.4.2 Éléments de résistances MO soumis à des contraintes d'une valeur inférieure à U_{ref}

8.4.2.1 Procédure d'essai

Cet essai doit être réalisé sur trois nouveaux échantillons de résistances MO avec une tension de référence satisfaisant aux exigences de 7.3. La tension à fréquence industrielle doit satisfaire aux exigences indiquées pour l'essai de fonctionnement (voir 8.7.1).

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

Pendant l'essai, les résistances MO doivent être placées dans une enceinte thermorégulée dans le même milieu environnant que celui utilisé dans le parafoudre. Le volume de l'enceinte doit correspondre au moins au double du volume de la résistance MO et la densité du milieu dans l'enceinte ne doit pas être inférieure à la densité du milieu dans le parafoudre.

NOTE 1 Le milieu entourant la résistance MO à l'intérieur du parafoudre peut subir des modifications au cours de la durée de vie normale du parafoudre en raison de décharges partielles internes. Une éventuelle modification du milieu entourant la résistance MO sur le terrain 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 vieillit pas.

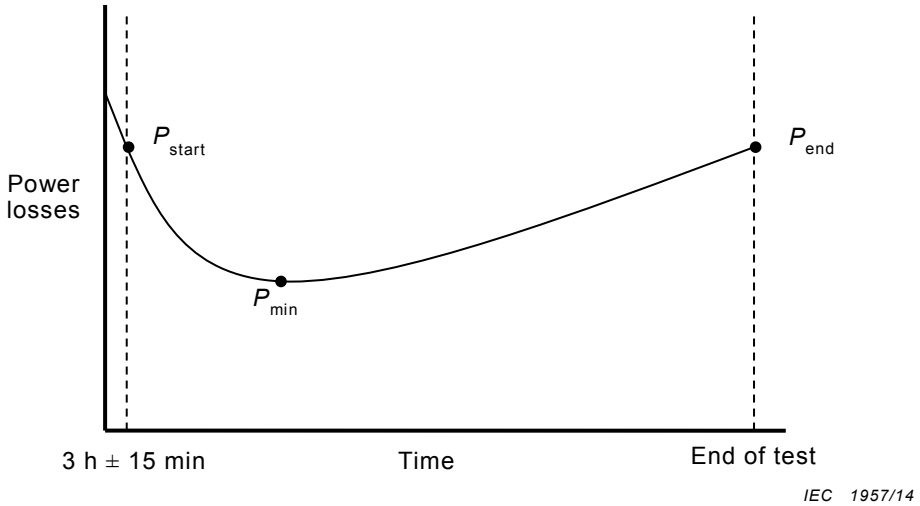
Si le constructeur peut prouver que l'essai effectué à l'air libre est équivalent à celui effectué dans le milieu réel, l'essai de vieillissement peut être effectué à l'air libre.

Les résistances MO doivent être chauffées à 115 °C ± 4 K et la puissance absorbée de ces dernières $P_{début}$ doit être mesurée à la tension de régime permanent maximale corrigée de

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

U_{ct} (voir ci-dessous), dans un délai de 3 h ± 5 min après application de la tension. Les échantillons doivent être maintenus à cette tension pendant 1 000 h, période au cours de laquelle la température de l'enceinte doit être régulée afin de maintenir la température de la surface de la résistance MO à 115 °C ± 4 K.

La puissance absorbée des résistances MO doit être mesurée à la tension U_{ct} à des intervalles de 100 h au plus après la première mesure, et une mesure finale, P_{finale}, doit être effectuée après une période de 1 000 $^{+100}_{0}$ h de vieillissement. La puissance absorbée la plus faible obtenue pendant la période d'essai doit être désignée comme période P_{min} (voir Figure 1).



Légende

Anglais	Français
Power losses	Puissance absorbée
Start	Début
End	Fin
Time	Temps
End of test	Fin de l'essai

Figure 1 – Illustration de la puissance absorbée en fonction du temps pendant l'essai de stabilité à long terme

Une mise hors tension intermédiaire accidentelle des échantillons pour essai est acceptable, à condition qu'elle ne dépasse pas une durée totale de 24 h pendant toute la période d'essai. Cette interruption de l'essai n'est pas comptée dans le temps d'essai. Il convient d'effectuer la mesure finale après application d'une tension continue d'une durée au moins égale à 100 h. Dans la gamme de températures admise, toutes les mesures doivent être effectuées à la même température à ± 1 K.

La tension appropriée pour cet essai est la tension de régime permanent maximale corrigée (U_{ct}), à laquelle sont soumises les résistances MO dans le parafoudre, en tenant compte des effets de déséquilibre de tension. Cette tension doit être déterminée par des calculs ou des mesures de répartition de la tension.

NOTE 2 Des informations sur les procédures utilisées pour les calculs de la répartition de tension sont données à l'Annexe F.

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, pour prise ou débrochables blindés, la tension peut être déterminée à partir de la formule suivante:

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

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

où

H est la longueur totale du parafoudre (m).

8.4.2.2 Évaluation

L'essai doit être considéré comme satisfait lorsque, pour l'ensemble des trois résistances MO, les critères suivants sont satisfaits:

- toute augmentation de la puissance absorbée à partir de P_{min} n'est pas supérieure à 1,3 fois P_{min} pendant la période d'essai restante
- la valeur de toutes les mesures de la puissance absorbée tout au long de la période de vieillissement, y compris la mesure finale, P_{finale}, n'est pas supérieure à 1,1 fois $P_{début}$.

8.4.3 Procédure d'essai pour les éléments de résistances MO soumis à des contraintes d'une valeur supérieure ou égale à U_{ref}

8.4.3.1 Généralités

Si la valeur de U_{ct} est proche de, ou supérieure à celle de la tension de référence, il peut ne pas être possible d'effectuer un essai de vieillissement accéléré sous U_{ct} en raison de la dépendance extrême en tension pour les puissances absorbées et la stabilité de la source de tension disponible. Si $U_{ct} \geq 0{,}95 \times U_{ref}$ et s'il n'est pas possible d'effectuer un essai de vieillissement accéléré selon 8.4.1, cette procédure d'essai alternative doit s'appliquer et elle remplace 8.4.1 et 8.4.2.2.

Les étapes nécessaires de cette procédure sont les suivantes:

1) Calculer la puissance absorbée, P_{ct}, pour la résistance MO subissant la contrainte la plus élevée dans le parafoudre (à T_a = 40 °C et $U = U_c$).
2) Déterminer la température de régime permanent, T_{st}, pour la partie du parafoudre soumise à la contrainte la plus élevée en utilisant une des trois procédures alternatives de 8.4.3.2.
3) A une tension U_{ct}, déterminer le rapport, k_x, de la puissance absorbée à 115 °C sur la puissance absorbée à T_{st} pour le type des résistances MO utilisées.
4) Effectuer un essai de vieillissement accéléré à une puissance absorbée constante de $k_x \times P_{ct}$.
5) Interrompre l'essai pendant une courte durée et réaliser des mesures de la puissance absorbée à des intervalles de temps de 100 h.
6) Si $T_{st} > 60$ °C, augmenter la température ou la durée de l'essai.
7) Évaluer les puissances absorbées de l'étape 5) selon 8.4.3.4.

8.4.3.2 Détermination des paramètres d'essai

Calculer les puissances absorbées, P_{ct}, à la température ambiante maximale de 40 °C avec le parafoudre sous une tension U_c, pour la résistance MO subissant la contrainte de tension la plus élevée selon l'Annexe F, y compris l'effet du courant résistif.

NOTE 1 Pour les parafoudres débrochables et immergés, les températures ambiantes maximales applicables sont respectivement 65 °C et 95 °C.

Choisir une des trois procédures d'essai suivantes pour déterminer la température de régime permanent, T_{st}, de la partie du parafoudre qui subit la contrainte la plus élevée à la température ambiante maximale.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

NOTE 2 Les procédures d'essai sont considérées comme conservatives par ordre croissant de 1 à 3.

1) A une température ambiante de 25 °C ± 10 K, mettre le parafoudre complet sous la tension U_c revendiquée jusqu'à l'obtention des conditions de température de régime permanent. La température doit être mesurée sur les résistances MO, en cinq points espacés de la manière la plus régulière possible sur la portion de 20 % subissant la contrainte la plus élevée de la longueur de chaque colonne de parafoudre. Si cette portion de 20 % contient moins de cinq résistances MO, le nombre de points de mesure peut être limité à un point sur chaque résistance MO. La montée en température moyenne au-dessus de la température ambiante des éléments de résistances MO doit être ajoutée à la température ambiante maximale pour obtenir la température T_{st}.
2) A la température ambiante maximale, mettre sous tension une fraction thermiquement distribuée au prorata représentative du type de parafoudre à un niveau de tension qui donne les mêmes puissances absorbées par résistance MO que celles déterminées ci-dessus. Maintenir les puissances absorbées à une valeur constante en ajustant la tension si nécessaire. Mesurer la température des résistances MO dans des conditions de régime permanent et calculer la température de régime permanent moyenne, qui est réglée comme étant égale à T_{st}.
3) A une température ambiante de 25 °C ± 10 K, mettre sous tension une fraction thermiquement distribuée au prorata représentative du type de parafoudre à un niveau de tension qui donne les mêmes puissances absorbées par résistance MO que celles déterminées ci-dessus. Maintenir les puissances absorbées à une valeur constante en ajustant la tension si nécessaire. Mesurer la température des résistances MO dans des conditions de régime permanent et calculer la montée en température moyenne de régime permanent, ΔT_{st}, au-delà de la température ambiante. Déterminer la température T_{st}, en ajoutant ΔT_{st} à la température ambiante maximale.

La fraction thermiquement distribuée au prorata doit être conforme à 7.3.2.1.

A une tension U_{ct}, déterminer le rapport, k_x, des puissances absorbées à 115 °C sur la puissance absorbée à T_{st} pour le type de résistances MO utilisées. Pour cet essai, la source de tension doit satisfaire aux exigences de 8.7.1.

8.4.3.3 Procédure d'essai

Cet essai doit être réalisé sur trois échantillons typiques de résistances MO avec une tension de référence satisfaisant aux exigences de 7.3. Trois échantillons de résistances MO doivent être soumis à des puissances absorbées constantes égales à $k_x \times P_{ct}$ (tolérance $^{+30}_{0}$ %) pendant 1 000 h. Au cours de l'essai, la température doit être régulée afin de maintenir la température de la surface de la résistance MO à la température d'essai exigée T_t ± 4 K. La tension d'essai appliquée au début de l'essai ne doit pas être inférieure à 0,95 × U_{ct}.

Si la température T_{st} est égale ou inférieure à 60 °C, T_t doit être de 115 °C. Si T_{st} est supérieure à 60 °C, la température d'essai ou la durée d'essai doit être augmentée comme suit:

a) Augmentation de la température d'essai

$$T_t = 115 + (T_{st} - T_{a,max} - \Delta T_n)$$

où

T_t est la température d'essai en °C;

T_{st} est la température de régime permanent des résistances MO en °C;

$T_{a,max}$ est la température ambiante maximale en °C;

ΔT_n = 20 K.

NOTE 1 Pour les parafoudres immergés ΔT_n = 25 K, compte tenu de l'exigence qui prévoit que la température initiale de l'essai de fonctionnement pour ces parafoudres (120 °C) est supérieure de 25 K à la

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

température ambiante maximale (95 °C), tandis que pour d'autres parafoudres, la différence entre la température initiale de l'essai de fonctionnement et la température ambiante maximale est de 20 K.

b) Augmentation de la durée d'essai

$$t = t_0 \times 2{,}5^{\Delta T/10}$$

où

t est la durée d'essai en h;

t_0 = 1 000 h;

ΔT est la température supérieure à 60 °C.

NOTE 2 Pour les parafoudres pour prise et immergés, t_0 est égale à 2 000 h et 7 000 h respectivement et ΔT est la température supérieure à 85 °C et 120 °C respectivement.

Une à deux heures après l'application de la tension, celle-ci est réglée sur une valeur dans la gamme de 0,95 × U_{ct} à U_{ct} et les puissances absorbées, $P_{début}$, sont mesurées. Cette mesure est reproduite une seule fois toutes les 100 h environ après la première mesure, et à la durée d'essai finale $^{+100}_{0}$ h de l'essai de vieillissement, les puissances absorbées finales, P_{end}, sont mesurées.

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

Pendant l'essai, les résistances MO doivent être placées dans une enceinte thermorégulée dans le même milieu environnant que celui utilisé dans le parafoudre. Le volume de l'enceinte doit correspondre au moins au double du volume de la résistance MO et la densité du milieu dans l'enceinte ne doit pas être inférieure à la densité du milieu dans le parafoudre.

NOTE 3 Le milieu entourant la résistance MO à l'intérieur du parafoudre peut subir des modifications au cours de la durée de vie normale du parafoudre en raison de décharges partielles internes. Une éventuelle modification du milieu entourant la résistance MO sur le terrain 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 vieillit 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 peut être effectué à l'air libre.

Une mise hors tension intermédiaire accidentelle des échantillons pour essai est acceptable, à condition qu'elle ne dépasse pas une durée totale de 24 h pendant toute la période d'essai. Cette interruption de l'essai n'est pas comptée dans le temps d'essai. Il convient d'effectuer la mesure finale après application d'une tension continue d'une durée au moins égale à 100 h. Dans la gamme de températures admise, toutes les mesures doivent être effectuées à la même température à ± 1 K.

8.4.3.4 Évaluation

L'essai doit être considéré comme satisfait lorsque, pour l'ensemble des trois résistances MO, les critères suivants sont satisfaits:

- toute augmentation de la puissance absorbée à partir de P_{min} n'est pas supérieure à 1,3 fois P_{min} pendant la période d'essai restante
- la valeur de toutes les mesures de la puissance absorbée tout au long de la période de vieillissement, y compris la mesure finale, P_{finale}, n'est pas supérieure à 1,1 fois $P_{début}$.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

8.5 Essai de vérification des caractéristiques assignées de transfert de charges répétitives, Q_{rs}

8.5.1 Généralités

Le but de cet essai est de vérifier les caractéristiques assignées de transfert de charges répétitives, Q_{rs}, d'un parafoudre.

La capacité de transfert de charges répétitives est spécifiée comme une contrainte de courant de choc qui peut être supportée par les résistances MO d'un parafoudre à vingt reprises sans dommage mécanique ou sans dommage électrique inacceptable. Une contrainte de courant de choc est considérée représenter un transfert de charges qui peut se produire dans des conditions de réseau réelles.

Les caractéristiques assignées de transfert de charges répétitives sont liées à une certaine probabilité de défaillance très faible, et ne constituent de ce fait pas une valeur déterministe, mais en revanche statistique. L'essai est réalisé sur des résistances MO individuelles à une valeur de charge de l'ordre de 1,1 à 1,2 fois la valeur assignée sélectionnée dans la liste donnée en 8.5.4. Cette approche suppose que les caractéristiques de fonctionnement des résistances MO individuelles peuvent également être attribuées à un parafoudre complet construit à partir de ces résistances MO, sur la base des exigences d'essai et de l'approche statistique choisie.

La charge a été choisie comme base d'essai pour une meilleure comparaison entre les différentes marques de résistances MO.

Pour cet essai, des courants de choc de longue durée ou des chocs de courant à demi-onde sinusoïdale unipolaire de durées similaires doivent être appliqués. Des courants de choc de foudre 8/20 µs ou des décharges de choc de foudre selon 3.32 peuvent être utilisés uniquement pour les résistances MO destinées à être utilisées dans les parafoudres de classe de distribution et dans les parafoudres NGLA. Le choix est laissé au constructeur.

Une valeur Q_{rs} issue de la liste donnée en 8.5.4 doit être attribuée au parafoudre.

Une première séquence d'essai doit être effectuée sur 10 échantillons de résistances MO sélectionnés selon 7.3.1 d). L'essai complet est satisfait lorsqu'une résistance MO au plus est défaillante. Lorsque deux résistances MO sont défaillantes, une seconde séquence identique à la première doit être effectuée sur 10 échantillons supplémentaires. L'essai complet doit alors être satisfait en l'absence de défaillance d'une résistance MO au cours de cette seconde séquence. Lorsque trois résistances MO ou plus sont défaillantes dans la première séquence d'essai, ou lorsque toute résistance MO est défaillante dans la seconde séquence d'essai, l'essai complet n'est pas satisfait.

8.5.2 Procédure d'essai

La Figure 2 donne un aperçu de la procédure d'essai.

Essais initiaux • Essai de tension résiduelle au courant nominal de décharge • Essai de tension de référence au courant de référence spécifié
Application de 1,1 fois Q_{rs} • 1ère séquence: 20 chocs par échantillon (10 échantillons) • en cas de défaillance d'un échantillon au plus pendant la 1ère séquence: essai satisfait • en cas de défaillance de deux échantillons au plus pendant la 1ère séquence: exécuter une 2nde séquence avec 10 échantillons, avec application de 20 chocs par échantillon • en cas de défaillance de trois échantillons ou plus pendant la 1ère séquence ou de défaillance de tout échantillon dans la 2ème séquence: essai non satisfait

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

Évaluation de l'essai: vérifier

- l'absence de dommage mécanique lors de l'inspection visuelle
- la variation de la tension de référence à ± 5 %
- la variation de la tension résiduelle au courant nominal de décharge à ± 5 %
- la capacité de tenue à un choc de courant 8/20 d'au moins 0,5 kA/cm^2 de densité de courant de crête ou 2 fois la valeur I_n, selon la plus faible des deux valeurs

Figure 2 – Procédure d'essai de vérification des caractéristiques assignées de transfert de charges répétitives, Q_{rs}

Dix échantillons pour essai doivent être soumis à l'essai dans la première séquence. Selon les résultats d'essai, il peut se révéler nécessaire de soumettre à essai dix autres échantillons dans une seconde séquence.

Les échantillons doivent satisfaire aux exigences de 7.3.

La procédure suivante doit être suivie:

- Chaque échantillon doit être soumis à un essai de tension résiduelle avec un courant nominal de décharge et à un essai de tension de référence avec un courant de référence spécifié avant et après l'essai. Pour les résistances MO des parafoudres à plusieurs colonnes, le courant nominal de décharge appliqué pour l'essai est le courant nominal de décharge le plus élevé utilisé pour le type de résistances MO de tout modèle.
- Chaque échantillon doit être soumis à vingt chocs de courant administrés en dix ensembles de deux chocs, avec un temps de 50 s à 60 s entre les chocs au sein d'un même ensemble, et un temps suffisant entre les ensembles pour permettre un refroidissement à la température ambiante.
- La forme d'onde et la durée des chocs de courant doivent être les suivants:
  - a) pour les parafoudres non destinés à être utilisés sur les lignes de transmission ou de distribution aériennes (c'est-à-dire destinés à être utilisés dans des postes): des chocs (rectangulaires) de longue durée d'une durée totale conventionnelle de 2 ms à 4 ms, ou des chocs à demi-onde sinusoïdale unipolaire d'une durée totale de 2 ms à 4 ms;
  - b) pour les parafoudres NGLA: décharges de choc de foudre selon l'Annexe H;
  - c) pour les parafoudres de classe de distribution: chocs de foudre 8/20.
- La charge réelle de chaque choc doit être la suivante:
  - a) pour les parafoudres à une seule colonne: au moins égale aux caractéristiques assignées revendiquées de transfert de charges répétitives (sélectionnées dans la liste donnée en 8.5.4) multipliée par 1,1;
  - b) pour les parafoudres à plusieurs colonnes: au moins égale aux caractéristiques assignées revendiquées de transfert de charges répétitives (sélectionnées dans la liste donnée en 8.5.4) multipliée par 1,1, puis divisée par le nombre de colonnes, et ensuite multipliée par le facteur de partage du courant β_g (voir point c) de 7.3).

NOTE 1 L'exigence concernant la réalisation d'un essai au moins à 1,1 fois les valeurs de charge assignées est considérée comme garantissant une confiance suffisante dans le fait que les caractéristiques de fonctionnement des résistances MO individuelles peuvent également être attribuées aux parafoudres complets construits à partir de ce type de résistances MO.

NOTE 2 Lorsque les résistances MO soumises à l'essai avec des valeurs de charge applicables aux parafoudres à une seule colonne sont utilisées dans un parafoudre à plusieurs colonnes et lorsqu'aucun nouvel essai est réalisé, les caractéristiques assignées de transfert de charges répétitives pour le parafoudre à plusieurs colonnes complet représentent la valeur inférieure ou égale suivante (dans la liste indiquée en 8.5.4) applicable aux caractéristiques assignées de transfert de charges répétitives des résistances MO, multipliée par le nombre de colonnes et divisée par le facteur de partage du courant.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

8.5.3 Évaluation de l'essai

L'essai complet doit être considéré comme satisfait si

- un échantillon au plus a présenté une défaillance pendant la première séquence, ou
- deux échantillons au plus ont présenté une défaillance au cours de deux séquences d'essai.

A défaut, l'essai est considéré comme non satisfait et un niveau de charge inférieur, Q_{rs}, issu de la liste indiquée en 8.5.4 doit être choisi, et l'essai doit être répété pour ce niveau de charge inférieur, suivant la procédure donnée en 8.5.2.

NOTE 1 Lorsqu'une seule défaillance se produit au cours de la première séquence et lorsque cela se produit, dans le cas le plus défavorable, lors de la toute première application de choc, 180 chocs sans aucune défaillance auront été appliqués à la fin de la séquence, donnant une probabilité de défaillance maximale de 1/181 = 0,005 6 ou 0,56 % pour l'essai complet. Lorsque deux défaillances se produisent au cours de la première séquence et lorsque cela se produit, une nouvelle fois dans le cas le plus défavorable, lors des toutes premières applications sur deux échantillons, 360 chocs sans aucune défaillance auront été appliqués à la fin des deux séquences, donnant de nouveau une probabilité de défaillance maximale de 2/362 = 0,005 6 ou 0,56 % pour l'essai complet.

Chaque échantillon individuel doit être considéré comme ayant résisté aux séries complètes de chocs si tous les critères suivants sont satisfaits:

- il n'y a pas d'indication de dommage mécanique (perforation, contournement ou bris);
- toute variation de la tension de référence avant et après l'essai, mesurée à la même température ± 3 K, est de ± 5 %;
- toute variation de la tension résiduelle à un courant nominal de décharge avant et après l'essai est de ± 5 %;
- une application finale d'un choc de courant 8/20 µs d'une amplitude produisant une densité de courant d'au moins 0,5 kA/cm² ou de 2 fois la valeur I_n, selon la plus faible de ces deux valeurs, est satisfaite sans aucun dommage mécanique.

NOTE 2 Tout dommage de la structure métallisée par inflammation ou formation d'arc n'est pas considéré comme un dommage mécanique lorsque tous les autres critères de réussite sont satisfaits.

8.5.4 Valeurs assignées des caractéristiques assignées de transfert de charges répétitives, Q_{rs}

Les valeurs des caractéristiques assignées de transfert de charges répétitives doivent être prises dans la liste suivante:

- de 0,1 C à 1,2 C par échelons de 0,1 C
- de 1,2 C à 4,4 C par échelons de 0,4 C
- de 4,4 C à 10,0 C au plus par échelons de 0,8 C
- de 10 C à 20 C par échelons de 2 C
- de 20 C et au-delà par échelons de 4 C

NOTE Les facteurs suivants de calcul des amplitudes de courant de choc correspondantes à partir des valeurs de charge sont donnés à des fins de recommandation:

- Courant de longue durée, 2 ms: $\hat{\imath}$ / A ≈ 500 × Q_{rs} / C
- Courant de longue durée, 4 ms: $\hat{\imath}$ / A ≈ 250 × Q_{rs} / C
- Demi-onde sinusoïdale unipolaire, 2 ms: $\hat{\imath}$ / A ≈ 786 × Q_{rs} / C
- Demi-onde sinusoïdale unipolaire, 4 ms: $\hat{\imath}$ / A ≈ 393 × Q_{rs} / C
- Choc de courant de foudre 8/20: $\hat{\imath}$ / kA ≈ 62 × Q_{rs} / C
- Décharge de choc de foudre selon 3.32: $\hat{\imath}$ / kA ≈ 8 × Q_{rs} / C

Les amplitudes de courant résultantes sont informatives et sont des valeurs approchées, calculées avec l'hypothèse d'une forme de courant de choc théoriquement rectangulaire dans le cas de chocs de courant de

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

longue durée, d'un choc de courant de foudre théorique 8/20 µs et d'un courant à demi-onde théoriquement sinusoïdale avec une base de temps de 200 µs, dans le cas des décharges de choc de foudre. Dans la mesure où une forme de courant réelle s'écarte de la forme théorique, les amplitudes réelles nécessaires pour atteindre les valeurs de charge assignées peuvent être différentes des valeurs énumérées ici.

8.6 Capacité de dissipation de chaleur de l'échantillon pour essai

8.6.1 Généralités

Pour l'essai de fonctionnement (8.7) et l'essai de tension à fréquence industrielle en fonction du temps (8.8), le comportement de l'échantillon pour essai est, dans une large mesure, fonction de sa capacité à dissiper la chaleur, c'est-à-dire à se refroidir à la suite d'une contrainte de décharge.

En conséquence, pour que l'essai apporte des renseignements corrects, les échantillons pour essai doivent avoir une capacité de dissipation de chaleur et une chaleur massique équivalentes à celles du parafoudre complet, tant en régime transitoire qu'en régime permanent. En principe, lorsqu'elles sont soumises à la même contrainte de tension dans les mêmes conditions ambiantes, il convient que les résistances MO atteignent la même température dans l'échantillon et dans le parafoudre complet.

Un essai doit être réalisé pour démontrer cette équivalence (voir 8.6.3).

8.6.2 Exigences pour les fractions de parafoudre

Les exigences sont spécifiées en 7.3.2.1.

8.6.3 Procédure de vérification de l'équivalence thermique entre un parafoudre complet et une fraction de parafoudre

L'équivalence thermique entre le parafoudre complet et la fraction de parafoudre doit être démontrée suivant la procédure décrite à l'Annexe B.

8.7 Essai de fonctionnement des parafoudres

8.7.1 Généralités

Le but de cet essai est de vérifier la capacité du parafoudre à la récupération thermique après injection de l'énergie thermique assignée, W_{th}, ou transfert de la charge thermique assignée, Q_{th}, respectivement, sous une surtension temporaire appliquée et dans les conditions de tension de régime permanent suivantes. L'essai doit être réalisé sur trois échantillons.

NOTE 1 Trois échantillons pour essai sont spécifiés bien que la stabilité thermique ne présente foncièrement pas de caractère statistique. Ceci compense les facteurs statistiques tels qu'un réglage de tension incorrect, la variabilité de la caractéristique de la puissance absorbée, la tolérance lors de l'injection d'énergie, etc.

Les échantillons doivent satisfaire aux exigences de 7.3.

Des caractéristiques assignées d'énergie thermique, W_{th}, ou des caractéristiques assignées de transfert de charges thermiques, Q_{th}, doivent être attribuées à chaque modèle de parafoudre, selon son application:

- pour les parafoudres de classe de poste: W_{th} de la liste donnée en 8.7.3
- pour les parafoudres de classe de distribution: Q_{th} issue du Tableau 5

NOTE 2 Les exigences concernant les parafoudres NGLA ne sont pas modifiées pour le moment. Ainsi, les valeurs d'énergie, les valeurs de charge et la procédure d'essai selon l'Annexe H s'appliquent.

La partie de l'essai dédiée à la caractérisation et au conditionnement (8.7.2.2) peut être effectuée à une température ambiante de 20 °C ± 15 K sur les résistances MO en air calme ou sur la fraction diélectriquement distribuée au prorata selon 7.3.2.2.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

La partie de cet essai dédiée à la récupération thermique (8.7.2.3) doit être effectuée sur des fractions thermiquement distribuées au prorata selon 7.3.2.1. Il doit être démontré par des méthodes appropriées que l'exigence concernant la température initiale est satisfaite au début de la partie de l'essai dédiée à la récupération thermique.

L'incertitude relative entre les mesures de la tension appliquée ne doit pas être de plus de ± 1 %. Ceci peut être réalisé par tous moyens adaptés, par exemple, à l'aide de montages de mesure identiques ou par étalonnage de tous les montages de mesure utilisés à ± 1 %. La valeur de crête de la tension ne doit pas varier de plus de 1 % entre la valeur à vide et la valeur à pleine charge. Le rapport de la tension de crête à la valeur efficace ne doit pas s'écarter de √2 de plus de 2 %. Pendant les essais, la tension à fréquence industrielle ne doit pas s'écarter des valeurs spécifiées de plus de ± 1 %.

8.7.2 Procédure d'essai

8.7.2.1 Généralités

La Figure 3 donne un aperçu de la procédure d'essai.

Essais préalables • Vérification de l'équivalence thermique de la fraction thermiquement distribuée au prorata • Détermination de la température initiale pour la partie de l'essai dédiée à la récupération thermique
Essais initiaux pour la caractérisation des échantillons • Essai de tension résiduelle au courant nominal de décharge • Essai de tension de référence au courant de référence spécifié • Vérification d'un partage correct du courant dans le cas d'un modèle de parafoudre à plusieurs colonnes
Détermination de la tension de régime permanent et de la tension assignée, si nécessaire ajustées selon 7.3
Conditionnement Parafoudre de classe de poste: • Deux chocs de courant de grande amplitude (selon le Tableau 4) Parafoudre de classe de distribution: • Un choc de courant de grande amplitude (selon le Tableau 4)
Réservé pour utilisation ultérieure
Préchauffage à la température initiale selon 8.7.2.3
Parafoudre de classe de poste: • Injection d'énergie thermique assignée, W_{th}, dans un délai de trois minutes par un ou plusieurs chocs de courant de longue durée ou par des chocs de courant à demi-onde sinusoïdale unipolaire ou, dans le cas des parafoudres NGLA, par des décharges de choc de foudre selon 8.7.3 Parafoudre de classe de distribution: • Transfert de charges thermiques assignées, Q_{th}, dans un délai de une minute par deux chocs de courant de foudre 8/20 µs selon 8.7.3
Application de U_r pendant 10 s (dans un délai de 100 ms après injection de l'énergie ou de la charge)
Application de U_c pendant au moins 30 min (jusqu'à la démonstration de la réussite ou de l'échec de l'essai)
Évaluation de l'essai • Récupération thermique

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

- Aucun dommage physique
- Variation de la tension résiduelle au courant nominal de décharge à ± 5 %

Figure 3 – Procédure d'essai de vérification des caractéristiques assignées d'énergie thermique, W_{th}, et des caractéristiques assignées de transfert de charges thermiques, Q_{th}, respectivement

Pour les parafoudres destinés à être utilisés sur des réseaux de $U_s \leq 800$ kV, la température initiale, $\vartheta_{Début}$, de la partie de l'essai dédiée à la récupération thermique doit être égale à $\vartheta_{Début} \pm 3$ K. Pour les parafoudres destinés à être utilisés sur des réseaux de $U_s > 800$ kV, la température initiale doit être déterminée selon l'Annexe I.

8.7.2.2 Caractérisation et conditionnement

La procédure d'essai suivante doit être appliquée pour la caractérisation et le conditionnement:

- Chaque échantillon doit être soumis à un essai de tension résiduelle au courant nominal de décharge avant et après l'essai et à un essai de tension de référence avec un courant de référence spécifié uniquement avant l'essai. L'essai de tension de référence est nécessaire pour calculer la tension de régime permanent et la tension assignée. Pour les parafoudres à plusieurs colonnes, la répartition du courant entre les colonnes doit être mesurée au courant de choc utilisé pour l'essai de répartition du courant (voir point e) de 9.1). En variante, lorsque le partage du courant de l'échantillon soumis à une contrainte de courant de choc n'est pas directement mesuré, l'énergie injectée doit être augmentée par le facteur βg (c'est-à-dire qu'il est alors supposé que $\beta a = 1$). La valeur de courant la plus élevée ne doit pas être supérieure à la limite maximale spécifiée par le constructeur.
- Les échantillons doivent, à des fins de conditionnement, être soumis à des chocs de courant de grande amplitude comme cela est spécifié au Tableau 4.
  - a) Parafoudre de classe de poste: Les échantillons doivent être exposés à deux chocs de courant de grande amplitude. Le conditionnement peut être effectué sur la fraction diélectriquement distribuée au prorata, et la première application de choc de courant de grande amplitude peut être considérée comme étant l'essai de vérification de la tenue diélectrique des composants internes d'un parafoudre (voir 8.15) lorsque toutes les autres exigences de 8.15 sont également satisfaites. Un temps suffisant doit être prévu entre et après les chocs pour permettre un refroidissement à la température ambiante.
  - b) Parafoudre de classe de distribution: Les échantillons doivent être exposés à un choc de courant de grande amplitude.
- Les chocs doivent être de la même polarité, et leur polarité doit être identique à celle des chocs de courant pour l'injection d'énergie et le transfert de charges, respectivement, dans la partie de l'essai dédiée à la récupération thermique.
- Après application des chocs de courant de grande amplitude, les échantillons doivent être stockés à la température ambiante. Lorsque le conditionnement a été effectué sur la fraction diélectriquement distribuée au prorata, les résistances MO doivent être retirées de la fraction avant stockage. Les échantillons ne doivent par la suite pas être mis sous tension, quel que soit le type de contrainte de tension ou de courant, avant que la récupération thermique ne soit effectuée.

NOTE L'échauffement des échantillons pendant une durée plus longue à des températures très élevées, l'application d'une tension alternative ou l'application de courants de choc de polarité opposée, peuvent produire une récupération à partir des effets de vieillissement électrique potentiels, et ne sont par conséquent pas admis.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

Tableau 4 – Exigences pour les chocs de courant de grande amplitude

Classification des parafoudres	Courant de crête 4/10 kA
20 kA et 10 kA	100
5 kA	65
2,5 kA	25

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;

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.

8.7.2.3 Essai de récupération thermique

La procédure suivante doit être appliquée pour la partie de l'essai dédiée à la récupération thermique:

- Les échantillons pour essai complets doivent être préchauffés à une température au moins égale à la température initiale, $\vartheta_{\text{Début,}}$ comme suit:
  - pour les parafoudres pour $U_s \leq 800$ kV: $\vartheta_{\text{Début}}$ = supérieure à 60 °C ou valeur plus élevée déterminée par le dernier alinéa de l'Annexe B.
  - pour les parafoudres pour $U_s > 800$ kV: température initiale telle que déterminée par la procédure définie dans l'Annexe I

  Le préchauffage ne doit pas durer plus de vingt heures.
- La température des résistances MO doit correspondre au moins à la température initiale immédiatement avant l'injection de l'énergie ou le transfert de charge.
- Chaque échantillon doit être soumis à une injection d'énergie ou à un transfert de charge dans un délai de trois minutes comme suit:

  a) pour les parafoudres non destinés à être utilisés sur des lignes de transmission ou de distribution aériennes (c'est-à-dire destinés à être utilisés sur des postes): énergie administrée sous la forme de chocs (rectangulaires) de longue durée ayant une durée conventionnelle totale de 2 ms à 4 ms ou de chocs à demi-onde sinusoïdale unipolaire d'une durée totale de 2 ms à 4 ms dans un délai de trois minutes. Il revient au constructeur de choisir le nombre de chocs, à condition que les chocs soient administrés dans le délai de trois minutes spécifié. Les amplitudes de courant et le nombre de chocs ne sont pas critiques, à condition que l'énergie cumulée soit au moins égale à ce qui suit:
    - pour les parafoudres à une seule colonne: 1,0 à 1,1 fois les caractéristiques assignées revendiquées d'énergie thermique (sélectionnées dans la liste donnée en 8.7.3)
    - pour les parafoudres à plusieurs colonnes: 1,0 à 1,1 fois les caractéristiques assignées revendiquées d'énergie thermique (sélectionnées dans la liste donnée en 8.7.3) multipliée par le facteur de partage du courant β_g/β_a (voir point c) de 7.3)

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

NOTE L'Annexe K donne un exemple de méthode de détermination de l'énergie réelle à injecter sur la base de la valeur W_{th} revendiquée et des caractéristiques de la fraction distribuée au prorata.

b) pour les parafoudres NGLA: décharges de choc de foudre selon l'Annexe H;

c) pour les parafoudres de classe de distribution: charge administrée sous la forme de deux chocs de courant de foudre 8/20 dans un délai de une minute, dont l'amplitude est suffisante de façon à ce que la charge cumulée soit au moins égale aux caractéristiques assignées revendiquées de transfert de charges thermiques sélectionnées dans la liste donnée dans le Tableau 5.

- Dans un délai de 100 ms suivant l'application de l'énergie ou de la charge, une tension égale à la tension assignée U_r doit être appliquée pendant 10 s et par la suite une tension égale à la tension de régime permanent U_c (si nécessaire ajustée ultérieurement selon 7.3) doit être appliquée pendant 30 minutes au minimum afin de démontrer la stabilité thermique. La composante résistive de la dissipation de courant ou de la puissance absorbée, la température ou toute combinaison de ces éléments doivent être surveillées jusqu'à la réduction conséquente de la valeur mesurée (réussite), mais pendant au moins 30 minutes, ou jusqu'à la présence évidente d'un emballement thermique (échec).

8.7.2.4 Évaluation de l'essai

L'essai doit être considéré comme satisfait lorsque tous les critères suivants sont satisfaits:

- la récupération thermique a été démontrée;
- aucun dommage physique n'est apparent;
- toute variation de la tension résiduelle à un courant nominal de décharge avant et après l'essai est de ± 5 %;

8.7.3 Valeurs assignées d'énergie thermique et de charge, W_{th} et Q_{th}

Pour les parafoudres de classe de poste, les valeurs des caractéristiques assignées d'énergie thermique, W_{th}, données en kJ/kV de la tension assignée U_r, doivent être conformes aux exigences du Tableau 1 et doivent être prises dans la liste suivante:

- de 1 kJ/kV à 5 kJ/kV par échelons de 0,5 kJ/kV
- de 5 kJ/kV à 16 kJ/kV par échelons de 1 kJ/kV
- de 16 kJ/kV à 30 kJ/kV par échelons de 2 kJ/kV
- au-delà de 30 kJ/kV par échelons de 6 kJ/kV

Pour les parafoudres de distribution, les valeurs des caractéristiques assignées de charge thermique, Q_{th}, données en C, doivent être prises dans le Tableau 5.

Tableau 5 – Valeurs assignées des caractéristiques assignées de transfert de charges thermiques, Q_{rs}

Courant nominal de décharge (kA)	caractéristiques assignées Q_{th} (C)	Q_{th} par choc (C)	Amplitude de courant 8/20 µs (kA) correspondante (de manière approximative) (informative)
2,5	0,45	0,23 (± 10 %)	14
5	0,7	0,35 (± 10 %)	22
10	1,1	0,55 (± 10 %)	34

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

8.8 Essai de tension à fréquence industrielle en fonction du temps

8.8.1 Généralités

Le but de cet essai est de démontrer la capacité de tenue (à la surtension temporaire) TOV du parafoudre. Dans cet essai, la TOV est strictement une surtension à fréquence industrielle pendant des périodes comprises entre 0,1 s et 3 600 s.

Les informations du constructeur doivent comporter des courbes dont l'abscisse désigne l'échelle de temps et l'ordonnée l'unité de U_r. De plus, le constructeur doit publier un tableau de valeurs TOV énumérées en unité de U_r avec trois chiffres, pour les durées de 0,1 s, 1 s, 10 s, 100 s et 1 000 s. Les valeurs données dans le tableau doivent être celles des courbes et doivent inclure les éléments “sans service préalable” et “avec service préalable”. La courbe et le tableau publiés doivent indiquer la gamme des caractéristiques assignées des parafoudres pour laquelle ils s'appliquent.

La valeur TOV "avec service préalable" et la durée de 10 s doivent être au moins égales à U_r.

La Figure 4 donne un aperçu de la procédure d'essai.

Essais initiaux • Essai de tension résiduelle au courant nominal de décharge • Essai de tension de référence au courant de référence spécifié • Vérification d'un partage correct du courant dans le cas d'un modèle de parafoudre à plusieurs colonnes
Détermination de la tension de régime permanent et de la tension assignée, si nécessaire ajustées selon 7.3
Préchauffage à la température initiale selon 8.7.2.3
Avec service préalable (4 nouveaux échantillons) (uniquement pour les parafoudres de $I_n \geq 10$ kA) • Parafoudre de classe de poste: Injection d'énergie thermique assignée, W_{th}, dans un délai de trois minutes par un ou plusieurs chocs de courant de longue durée ou par des chocs de courant à demi-onde sinusoïdale unipolaire ou, dans le cas des parafoudres NGLA, par des décharges de choc de foudre selon 8.7.3 • Parafoudre de classe de distribution: Transfert de charges thermiques assignées, Q_{th}, dans un délai de une minute par deux chocs de courant de foudre 8/20 µs selon 8.7.3 • Application de la tension et de la durée d'essai selon la courbe TOV (dans un délai de 100 ms) • Application de U_c pendant au moins 30 min (jusqu'à la démonstration de la réussite ou de l'échec de l'essai)
Sans service préalable (2 nouveaux échantillons) • Application de la tension et de la durée d'essai selon la courbe TOV • Application de U_c pendant au moins 30 min (jusqu'à la démonstration de la réussite ou de l'échec de l'essai)
Évaluation de l’essai • Récupération thermique • Aucun dommage physique • Variation de la tension résiduelle au courant nominal de décharge à ± 5 %

Figure 4 – Procédure d'essai de vérification de la caractéristique de la fréquence industrielle en fonction du temps (essai TOV)

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

8.8.2 Échantillons pour essai

Les échantillons pour essai doivent satisfaire aux exigences de 7.3.

Les échantillons pour essai doivent être des fractions thermiquement distribuées au prorata selon 7.3.2.1. La tension assignée des fractions distribuées au prorata ne doit pas être inférieure à 3 kV, mais il n'est pas nécessaire qu'elle dépasse 12 kV. En variante, des parafoudres complets avec des tensions assignées de 9 kV à 12 kV peuvent être utilisés à condition que la vitesse de refroidissement du parafoudre représente la vitesse de refroidissement la plus faible pour toutes les caractéristiques assignées du modèle.

Six échantillons au total doivent être soumis à l'essai comme suit:

- "avec service préalable" – un échantillon dans chacune des quatre gammes énumérées en 8.8.4.2
- “sans service préalable” – un échantillon dans chacune des deux gammes sélectionnées dans la liste en 8.8.4.2.

Pour un type et un modèle de parafoudre donnés, lorsque des résistances MO de diverses dimensions sont utilisées, les résistances MO sélectionnées pour la fraction d'essai TOV doivent avoir le volume minimal par valeur U_c.

8.8.3 Mesures initiales

Les mesures initiales suivantes doivent être effectuées:

- Essai de tension résiduelle au courant nominal de décharge.
- Essai de tension de référence au courant de référence spécifié. L'essai de tension de référence est nécessaire pour calculer la tension de régime permanent et la tension assignée.
- Pour les parafoudres à plusieurs colonnes, la répartition du courant entre les colonnes doit être mesurée au courant de choc utilisé pour l'essai de répartition du courant (voir point e) de 9.1). La valeur de courant la plus élevée ne doit pas être supérieure à la limite maximale spécifiée par le constructeur.

8.8.4 Procédure d'essai

8.8.4.1 Généralités

L'échantillon pour essai doit être connecté à une source d'alimentation dont la fréquence est comprise dans la gamme de 48 Hz à 62 Hz. La fréquence nominale d'essai (50 Hz ou 60 Hz) doit être indiquée dans les informations publiées. Les valeurs de crête de la tension à fréquence industrielle doivent être mesurées aux bornes du parafoudre au cours de l'application de la surtension. La valeur de crête minimale mesurée divisée par $\sqrt{2}$ est la valeur par unité qui doit être utilisée pour l'affichage des données avec la valeur de référence U_r.

Une attention toute particulière doit être accordée dans le cas d'une source de tension faible. La déformation de la tension (crête plate) sous une charge de courant instable très importante peut engendrer une injection d'énergie bien plus élevée à un niveau de tension de crête donné par comparaison avec la situation propre à une forme de tension théoriquement sinusoïdale. Il est par conséquent recommandé d'utiliser une source de tension d'un courant de court-circuit d'au moins 3 kA afin d'éviter toute injection d'énergie exagérément élevée dans l'échantillon à un niveau de tension de crête donné.

Les essais doivent être réalisés en air calme à 20 °C ± 15 K sur des fractions thermiquement distribuées au prorata. Les échantillons doivent être chauffés pendant une durée suffisante pour atteindre l'équilibre thermique, et la température des résistances MO doit être au moins $\vartheta_{\text{Début}}$ (détermination de $\vartheta_{\text{Début}}$ selon 8.7.2. Il doit être démontré par des méthodes

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

appropriées que l'exigence concernant la température initiale est satisfaite au début de la partie de l'essai dédiée à la récupération thermique.

8.8.4.2 Essai “avec service préalable”

Cet essai est applicable aux parafoudres de $I_n \geq 10$ kA uniquement. Quatre nouveaux échantillons pour essai doivent être soumis à l'essai “avec service préalable". Chaque échantillon doit être soumis à essai selon les paliers (en secondes) donnés ci-dessous:

1) 0,1 à 1
2) 1,1 à 10
3) 10,1 à 100
4) 101 à 3 600

Le constructeur doit publier les informations TOV pour les conditions “avec service préalable" pour chacune des quatre périodes énumérées. Le service préalable consiste en une injection de l'énergie thermique W_{th} ou un transfert des caractéristiques assignées de charge thermique Q_{th}, dans le cas de modèles de parafoudres à plusieurs colonnes corrigés par le facteur β_g/β_a. La procédure d'essai doit être la procédure donnée en 8.7.2.3, où la tension TOV spécifiée se substitue à la tension assignée U_r. L'énergie injectée (en kJ/kV de U_r) ou la charge (en C), respectivement, doivent être mesurées et doivent être indiquées avec les informations TOV publiées pertinentes concernant le service préalable.

8.8.4.3 Essai “sans service préalable”

Cet essai est applicable aux parafoudres de tous courants nominaux de décharge. Deux nouveaux échantillons pour essai doivent être soumis à l'essai “sans service préalable". Le constructeur doit publier les informations TOV pour les conditions “sans service préalable" pour deux des quatre périodes énumérées en 8.8.4.2. Un nouvel échantillon dans chacun des deux intervalles de temps non adjacents choisis dans cette liste doit être soumis à essai. Immédiatement après application de la surtension, la tension de régime permanent U_c (si nécessaire ajustée ultérieurement selon 7.3) doit être appliquée pendant une durée minimale de 30 min. La température des résistances MO, la composante résistive de la dissipation de courant ou de la puissance absorbée doivent être surveillées jusqu'à la réduction conséquente de la valeur mesurée (réussite) ou jusqu'à la présence évidente d'un emballement thermique (échec).

8.8.5 Évaluation de l’essai

L'essai doit être considéré comme satisfait lorsque tous les critères suivants sont satisfaits:

- la récupération thermique a été démontrée;
- aucun dommage physique n'est apparent;
- toute variation de la tension résiduelle à un courant nominal de décharge avant et après l'essai est de ± 5 %;

La courbe publiée par le constructeur a été vérifiée lorsque les six échantillons ont été soumis à l'essai à des tensions TOV et avec des durées correspondantes supérieures ou égales aux valeurs indiquées sur la courbe, et lorsque tous les échantillons ont satisfait aux critères d'évaluation. Tous les points d'essai doivent figurer sur la courbe.

8.9 Essais du dispositif de déconnexion des parafoudres

8.9.1 Généralités

Le but de l'essai portant sur le dispositif de déconnexion est de vérifier que le dispositif de déconnexion d'un parafoudre peut supporter toutes les contraintes associées à leur application dans les parafoudres hors fonctionnement. L'essai démontre également que le dispositif de déconnexion fonctionne selon la caractéristique temps/courant publiée par le

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

constructeur. Par ailleurs, l'étanchéité et la résistance mécanique du dispositif de déconnexion sont à vérifier (voir 6.14).

Ces essais doivent être réalisés sur des parafoudres équipés de dispositifs de déconnexion ou sur l'ensemble dispositif de déconnexion seul, si celui-ci est conçu de manière à ne pas être affecté par l'échauffement des pièces adjacentes du parafoudre en position d'installation normale. L'échantillon pour essai doit être monté conformément aux recommandations publiées par le constructeur en utilisant la taille et la rigidité maximales recommandées et la longueur de fil de connexion la plus courte recommandée. En l'absence de recommandations publiées, le conducteur doit être de cuivre nu tressé serré d'approximativement 5 mm de diamètre et de 30 cm de longueur, disposé pour permettre une liberté de mouvement du dispositif de déconnexion/indicateur de défaut lorsqu'il fonctionne.

8.9.2 Essai de tenue du parafoudre

8.9.2.1 Généralités

Pour les dispositifs de déconnexion conçus pour être fixés sur un parafoudre ou être intercalés sur le trajet du conducteur de ligne ou sur celui du conducteur de terre sous forme d'accessoire, un essai de transfert de charges et un essai de fonctionnement du parafoudre doivent être effectués séparément ou en liaison avec les essais des échantillons de parafoudre. Pour les parafoudres équipés de dispositifs de déconnexion intégrés, les essais doivent être effectués conjointement aux essais réalisés sur les parafoudres. Les dispositifs de déconnexion doivent résister aux essais sans fonctionnement des parafoudres.

8.9.2.2 Essai de vérification des caractéristiques assignées de transfert de charges répétitives, Q_{rs},

Cet essai doit être réalisé selon 8.5, avec des valeurs de transfert de charges correspondant à la classification la plus élevée des parafoudres associés au dispositif de déconnexion. Pour les parafoudres de classe de distribution, l'essai doit être réalisé avec des courants de choc de foudre 8/20 µs. Pour les parafoudres de ligne sans éclateur (NGLA), l'essai doit être réalisé avec des décharges de choc de foudre selon 3.32 ou avec des courants de longue durée selon l'application. L'essai doit être réalisé sur trois échantillons avec la même charge que celle spécifiée pour le parafoudre (voir 8.5.4).

8.9.2.3 Essai de fonctionnement des parafoudres

Cet essai doit être effectué selon 8.7 en plaçant le dispositif de déconnexion échantillon en série avec une fraction d'échantillon pour essai du modèle de parafoudre ayant le plus grand courant de référence de tous les parafoudres auxquels il est associé. L'essai doit être réalisé sur trois échantillons avec la même charge thermique ou les mêmes caractéristiques assignées d'énergie thermique que celles spécifiées pour le parafoudre.

NOTE Aucun parafoudre NGLA n'est identifié au moment de l'introduction des dispositifs de déconnexion.

8.9.2.4 Évaluation de l'essai

Les essais doivent être considérés comme satisfaits si:

- aucun échantillon ne fonctionne au cours des essais de 8.9.2.2 et de 8.9.2.3

et

- soit
  - la résistance ou la capacité des éléments de répartition n'a pas varié de plus de 20 %

  soit
  - si chacun des échantillons utilisés pour les essais de 8.9.2.2 et de 8.9.2.3 fonctionne de façon satisfaisante dans un essai de fonctionnement ultérieur lorsqu'il conduit un courant symétrique efficace de 20 A.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

8.9.3 Fonctionnement du dispositif de déconnexion

8.9.3.1 Essai de détermination du «temps en fonction du courant»

Un essai de fonctionnement doit être réalisé sur les dispositifs de déconnexion des parafoudres afin de déterminer la caractéristique temps-courant, c'est-à-dire la relation entre le temps en secondes et le courant en ampères symétriques efficaces exigée pour faire fonctionner le dispositif de déconnexion. Il est admis que le fonctionnement réel du dispositif de déconnexion se produise après l'interruption du courant.

Pour les parafoudres de classe de distribution, les données nécessaires pour tracer une courbe du temps en fonction du courant doivent être obtenues pour trois niveaux différents de courant en régime initialement symétrique auxquels cinq échantillons sont associés – 20 A, 200 A et 800 A (eff.) ± 10 % – ledit courant traversant l'échantillon pour essai des dispositifs de déconnexion, avec ou sans parafoudre, comme cela est exigé par 8.9.1. Lorsque des courants d'intensité inférieure sont revendiqués, ils doivent être soumis à essai (par exemple, 5 A). Pour les essais effectués sur des dispositifs de déconnexion qui sont affectés par l'échauffement interne des parafoudres associés, les résistances MO du parafoudre doivent être court-circuitées par un fil de cuivre nu de 0,08 mm à 0,13 mm de diamètre afin de provoquer l'amorçage d'arc interne.

Les courants d'essai applicables aux parafoudres NGLA doivent être spécifiés par un accord entre l'utilisateur et le constructeur. Pour les essais effectués sur des dispositifs de déconnexion qui ne sont pas affectés par le fonctionnement du parafoudre associé, l'élément de répartition (résistance / condensateur) du parafoudre, lorsque celui-ci est utilisé pour le montage du dispositif de déconnexion, doit être court-circuité ou remplacé par un conducteur de section suffisante afin de s'assurer qu'il ne fera pas l'objet d'une 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 amorçage d'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.

Étant donné que le dispositif de déconnexion n'est pas un dispositif de correction des anomalies, les circuits d'essai doivent comporter des dispositifs de coupure. Un dispositif d'ouverture, tel qu'un fusible ou un interrupteur, peut être utilisé avec un dispositif de réglage de la durée d'écoulement du courant dans l'échantillon pour essai.

NOTE Une méthode de préparation du circuit d'essai consiste à régler tout d'abord les paramètres du circuit d'essai, l'échantillon pour essai étant mis provisoirement en court-circuit par une connexion d'impédance négligeable afin d'obtenir la valeur de courant exigée. L'interrupteur de fermeture peut être temporisé afin de fermer le circuit dans un délai correspondant à quelques degrés de la crête de tension afin de produire un courant sensiblement symétrique.

Pour tous les échantillons soumis à essai, la valeur efficace du courant traversant l'éprouvette et la durée du courant jusqu'au premier déplacement du dispositif de déconnexion doivent être tracées sur la courbe. La courbe de la caractéristique «temps en fonction du courant» du dispositif de déconnexion doit être tracée sous la forme d'une courbe lissée reliant les points correspondant aux durées maximales.

Selon le montage d'essai et l'amplitude du courant d'essai, l'arc ne s'éteint pas après le fonctionnement du dispositif de déconnexion. Dans ce cas, l'essai relatif à la courbe de la caractéristique "temps en fonction du courant" doit être effectué en soumettant les échantillons pour essai à des durées régulées d'écoulement du courant afin de déterminer la durée minimale, pour chacun des trois niveaux de courant, qui provoque systématiquement un fonctionnement satisfaisant du dispositif de déconnexion. Les valeurs à retenir pour la courbe de la caractéristique «temps en fonction du courant» doivent correspondre à cinq fonctionnements satisfaisants du dispositif de déconnexion au cours de cinq essais, ou, si un essai non satisfaisant se produit, cinq essais complémentaires effectués au même niveau de courant et avec la même durée doivent aboutir à des fonctionnements satisfaisants.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

8.9.3.2 Évaluation 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, une tension à fréquence industrielle égale à 1,2 fois la tension assignée du parafoudre à tension assignée la plus élevée associée au dispositif de déconnexion, doit être appliquée pendant 1 min sans que la valeur efficace de l'écoulement du courant ne dépasse 1 mA. A chaque valeur du courant, la courbe caractéristique établie doit avoir une valeur temporelle inférieure ou égale à celle indiquée dans les informations publiées par le constructeur.

8.9.4 Essais mécaniques

8.9.4.1 Généralités

Des essais de moment de flexion, d'effort de traction et d'effort de torsion doivent être réalisés sur les dispositifs de déconnexion utilisés avec un parafoudre NGLA. Pour les parafoudres autres que les parafoudres NGLA, ces essais peuvent être effectués sur accord entre l'utilisateur et le constructeur.

NOTE Généralement, les dispositifs de déconnexion utilisés sur les parafoudres de classe de distribution sont soumis à des charges très faibles en raison du poids des fils de connexion, et ne sont par conséquent pas soumis à ces essais. Toutefois, les dispositifs de déconnexion peuvent être exposés à un couple ou à d'autres charges lors de l'installation, même si la contrainte mécanique en service est négligeable.

8.9.4.2 Essai de moment de flexion

L'essai doit être réalisé sur cinq nouveaux échantillons. L'effort de flexion doit être augmenté progressivement sur chaque échantillon, jusqu'à ce que la rupture se produise dans un temps compris entre 30 s et 90 s. L'essai est satisfaisant lorsque les valeurs de l'effort de rupture dépassent la valeur spécifiée par le constructeur. Lorsqu'un échantillon n'atteint pas la valeur de rupture spécifiée, cinq échantillons supplémentaires doivent être soumis à essai avec succès.

8.9.4.3 Essai d'effort de traction

L'essai doit être réalisé sur cinq nouveaux échantillons. L'effort de traction doit être augmenté progressivement sur chaque échantillon, jusqu'à ce que la rupture se produise dans un temps compris entre 30 s et 90 s. L'essai est satisfaisant lorsque les valeurs de l'effort de rupture dépassent la valeur spécifiée par le constructeur. Lorsqu'un échantillon n'atteint pas la valeur de rupture spécifiée, cinq échantillons supplémentaires doivent être soumis à essai avec succès.

8.9.4.4 Essai d'effort de torsion

L'essai doit être réalisé sur cinq nouveaux échantillons. L'effort de torsion doit être augmenté progressivement sur chaque échantillon, jusqu'à ce que la rupture se produise dans un temps compris entre 30 s et 90 s. L'essai est satisfaisant lorsque les valeurs de l'effort de rupture dépassent la valeur spécifiée par le constructeur. Lorsqu'un échantillon n'atteint pas la valeur de rupture spécifiée, cinq échantillons supplémentaires doivent être soumis à essai avec succès.

8.9.5 Essai de cycles de températures et de pompage d'étanchéité

Un essai de cycles de températures doit être réalisé sur dix nouveaux échantillons selon 8.12.3.1 suivi d'un essai de pompage d'étanchéité sur chaque échantillon.

Pour l'essai de pompage d'étanchéité, les échantillons pour essai doivent être chauffés de manière uniforme à une température de 60 °C ± 3 °C et maintenus à cette température pendant une durée minimale de 1 h. Les échantillons doivent ensuite être placés dans un bain d'eau froide à une température de 4 °C ± 3 °C pendant une durée minimale de 2 h. Le temps de transfert entre le milieu chaud et froid ne doit pas dépasser 5 min. Le cycle d'essai doit

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

être effectué à 10 reprises. Le poids de l'eau du bain d'eau froide doit correspondre au minimum à 10 fois le poids des échantillons pour essai.

Dans un délai de 24 h après que la température ambiante a été atteinte, la résistance ou la capacité de l'élément de répartition de chaque échantillon doit être mesurée et les échantillons doivent être ouverts en vue d'une inspection visuelle. Les dispositifs de déconnexion doivent avoir satisfait aux essais si l'inspection visuelle des parties internes et des surfaces des échantillons pour essai ne détecte aucune trace d'humidité et si la résistance ou la capacité de l'élément de répartition n'a pas varié de plus de 20 %.

8.10 Essais de court-circuit

8.10.1 Généralités

Tous les parafoudres doivent être soumis aux essais conformément à 8.10. L'essai doit être réalisé pour montrer qu'une défaillance du parafoudre ne donne pas lieu à une rupture explosive de l'enveloppe du parafoudre et que l'auto-extinction de flammes nues (le cas échéant) se produit dans un délai défini. Chaque type de parafoudre est soumis à l'essai avec quatre valeurs de courants de court-circuit au maximum. Si le parafoudre est équipé d'un autre dispositif comme substitut d'un limiteur de pression conventionnel, ce dispositif doit être inclus dans l'essai.

La fréquence de l'alimentation du courant d'essai de court-circuit doit être comprise entre 48 Hz et 62 Hz.

En ce qui concerne les performances au courant de court-circuit, il est important de distinguer deux conceptions de parafoudres:

- Les parafoudres de «conception A» sont tels qu'un canal utilisé par le gaz suit toute la longueur de l'élément de parafoudre et remplit ≥ 50 % du volume interne qui n'est pas occupé par les parties actives internes.
- Les parafoudres de «conception B» sont solides et sans volume interne de gaz ou ont un volume de gaz interne remplissant < 50 % du volume interne qui n'est pas occupé par les parties actives internes.

NOTE 1 Généralement, les parafoudres de «conception A» sont des parafoudres à enveloppe en porcelaine ou synthétique avec un isolateur creux composite qui sont équipés soit de limiteurs de pression soit de points faibles préfabriqués dans l'enveloppe composite qui éclate ou s'ouvre à une pression spécifiée, ce qui fait baisser la pression interne.

Généralement, les parafoudres de «conception B» ne possèdent pas de limiteur de pression et sont solides sans volume interne de gaz. Si les résistances MO connaissent une défaillance électrique, il se produit un arc à l'intérieur du parafoudre. Cet arc provoque une évaporation importante et éventuellement la combustion de l'enveloppe et/ou du matériau interne. Ces performances de tenue aux courts-circuits des parafoudres sont déterminées par leur capacité à contrôler l'éclatement ou l'ouverture de l'enveloppe dus aux effets de l'arc, évitant ainsi une rupture explosive.

NOTE 2 Dans ce contexte, les «parties actives» sont les résistances MO et les éventuelles entretoises métalliques qui y sont directement connectées en série.

NOTE 3 Après accord entre le constructeur et l'utilisateur, la procédure d'essai peut être modifiée pour inclure, par exemple, un certain nombre d'opérations de réenclenchement, avec la procédure et les critères d'acceptation faisant l'objet d'un accord entre le constructeur et l'utilisateur.

8.10.2 Préparation des échantillons pour essai

8.10.2.1 Généralités

En fonction du type de parafoudre et de la tension d'essai, des exigences différentes s'appliquent concernant le nombre d'échantillons pour essai, le début du passage du courant de court-circuit et l'amplitude de la première valeur de crête du courant de court-circuit. Le Tableau 6 donne un résumé de ces exigences qui sont expliquées plus en détail dans les paragraphes suivants.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

Pour les essais à courant de forte amplitude, les échantillons pour essai doivent être constitués par l'élément de parafoudre le plus long utilisé pour la conception avec la tension assignée la plus élevée de cet élément utilisée pour chaque conception de parafoudre différente.

Pour l'essai à courant de faible amplitude, l'échantillon pour essai doit être constitué par un élément de parafoudre avec la tension assignée la plus élevée de cet élément utilisée pour chaque conception de parafoudre différente. La Figure 5 montre différents exemples d'éléments de parafoudre.

8.10.2.2 Parafoudres de «Conception A»

Les échantillons doivent être préparés avec des moyens pour conduire le courant de court-circuit exigé en utilisant un fil fusible. Le fil fusible doit être en contact direct avec les résistances MO et il doit être positionné à l'intérieur ou aussi près que possible du canal utilisé par le gaz et il doit court-circuiter la partie active interne complète, comme l'illustre la Figure 6 pour différents modèles possibles de parafoudres de conception A. L'emplacement réel du fil fusible au cours de l'essai doit être consigné dans le rapport d'essai.

Le matériau et la taille du fil fusible doivent être choisis de sorte que, pour les essais à courant de court-circuit de forte amplitude et d'amplitude réduite, la fusion du fil se produit au cours des 30 premiers degrés électriques après le début du passage du courant d'essai. Pour l'essai à courant de faible amplitude, le temps de fusion n'est soumis à aucune limite.

Pour que le fil fusible fonde dans les limites de temps spécifiées et qu'il crée une condition appropriée à l'amorçage de l'arc, il est généralement recommandé d'utiliser un fil fusible avec un matériau à faible résistance (par exemple, cuivre, aluminium ou argent) d'un diamètre d'environ 0,2 mm à 0,5 mm. Des sections de fil fusible plus importantes sont applicables aux éléments de parafoudres préparés pour des courants d'essai de court-circuit plus élevés. Lorsqu'il y a des difficultés pour amorcer l'arc, un fil fusible de dimensions plus importantes, mais d'un diamètre inférieur ou égal à 1,5 mm, peut être utilisé dans la mesure où il facilite l'établissement de l'arc. Dans de tels cas, un fil fusible spécialement préparé, ayant une section plus importante sur la plus grande partie de la hauteur du parafoudre avec une courte section plus mince au milieu, peut également faciliter l'opération.

Les parafoudres de «conception A» avec des ailettes polymères appliquées à une enveloppe principale en porcelaine ou à d'autres isolateurs creux et qui sont aussi fragiles que la céramique, doivent être considérés et soumis aux essais comme des parafoudres à enveloppe en porcelaine.

Les échantillons pour essai doivent être remplis du milieu environnant (gaz) utilisé dans les parafoudres.

8.10.2.3 Parafoudres de «Conception B»

Les échantillons doivent être préparés avec des moyens pour conduire le courant de court-circuit exigé en utilisant un fil fusible. Le fil fusible doit être en contact direct avec les résistances MO et il doit être situé aussi loin que possible du canal utilisé par le gaz et il doit court-circuiter la partie active interne complète, comme l'illustre la Figure 7 pour différents modèles possibles de parafoudres de conception B. L'emplacement réel du fil fusible au cours de l'essai doit être consigné dans le rapport d'essai.

Le matériau et la taille du fil fusible doivent être choisis de sorte que, pour les essais à courant de court-circuit de forte amplitude et d'amplitude réduite, la fusion du fil se produit au cours des 30 premiers degrés électriques après le début du passage du courant d'essai. Pour l'essai à courant de faible amplitude, le temps de fusion n'est soumis à aucune limite.

Pour que le fil fusible fonde dans les limites de temps spécifiées et qu'il crée une condition appropriée à l'amorçage de l'arc, il est généralement recommandé d'utiliser un fil fusible avec

un matériau à faible résistance (par exemple, cuivre, aluminium ou argent) d'un diamètre d'environ 0,2 mm à 0,5 mm. Des sections de fil fusible plus importantes sont applicables aux éléments de parafoudres préparés pour des courants d'essai de court-circuit plus élevés. Lorsqu'il y a des difficultés pour amorcer l'arc, un fil fusible de dimensions plus importantes, mais d'un diamètre inférieur ou égal à 1,5 mm, peut être utilisé dans la mesure où il facilite l'établissement de l'arc. Dans de tels cas, un fil fusible spécialement préparé, ayant une section plus importante sur la plus grande partie de la hauteur du parafoudre avec une courte section plus mince au milieu, peut également faciliter l'opération.

Dans le cas d'un volume interne de gaz, les échantillons pour essai doivent être remplis du milieu environnant (gaz) utilisé dans les parafoudres.

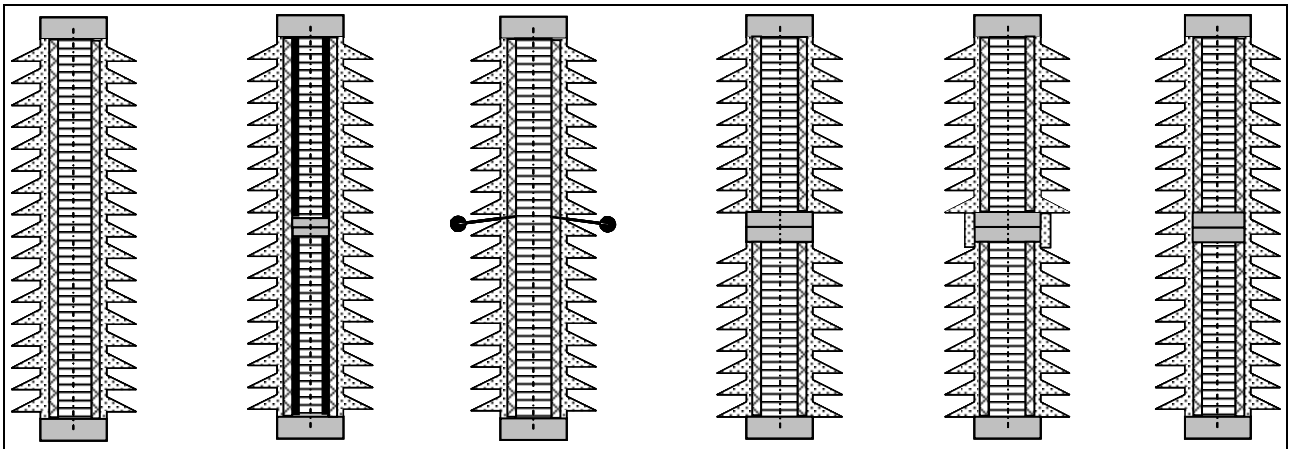
COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

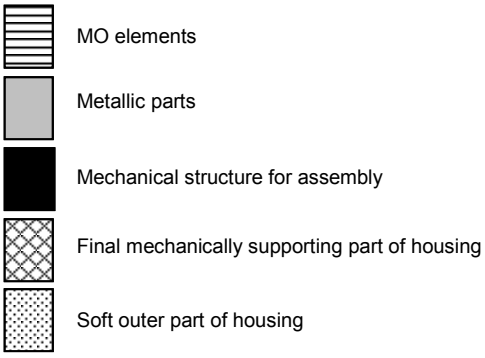
Tableau 6 – Exigences d'essai concernant les parafoudres à enveloppe en porcelaine

	Nombre d'échantillons pour essai exigé	Début du passage du courant de court-circuit	Rapport de la première valeur de crête de courant sur la valeur efficace du courant de court-circuit exigé selon le Tableau 7					
			Tension d'essai: 77 % à 107 % de U_r			Tension d'essai: < 77 % de U_r		
			Courant assigné de court-circuit	Courant de court-circuit réduit	Courant de court-circuit de faible amplitude	Courant assigné de court-circuit	Courant de court-circuit réduit	Courant de court-circuit de faible amplitude
«Conception A»	4	Fil fusible le long de la surface des résistances MO, à l'intérieur ou le plus près possible du canal utilisé par le gaz	Présumé: ≥ 2,5 Réel: aucune exigence	Présumé: ≥ √2 Réel: aucune exigence	Réel: ≥ √2	Réel: ≥ 2,5	Réel: ≥ √2	Réel: ≥ √2
«Conception B»	4	Fil fusible le long de la surface des résistances MO, situé aussi loin que possible du canal utilisé par le gaz	Présumé: ≥ √2 Réel: aucune exigence	Présumé: ≥ √2 Réel: aucune exigence	Réel: ≥ √2	Réel: ≥ √2	Réel: ≥ √2	Réel: ≥ √2

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION



Case a) One mechanical and electrical unit
Case b) Two mechanical internal assemblies covered by one common housing providing final mechanical strength
Case c) One mechanical unit covered by a housing with an intermediate potential grading element
Case d) Two mechanical units covered by individual housings each and assembled afterwards
Case e) Two mechanical units of final mechanical strength, intermediate flanges covered by soft insulating material after assembly
Case f) Two mechanical units covered by individual housings each and assembled afterwards
n … number of units



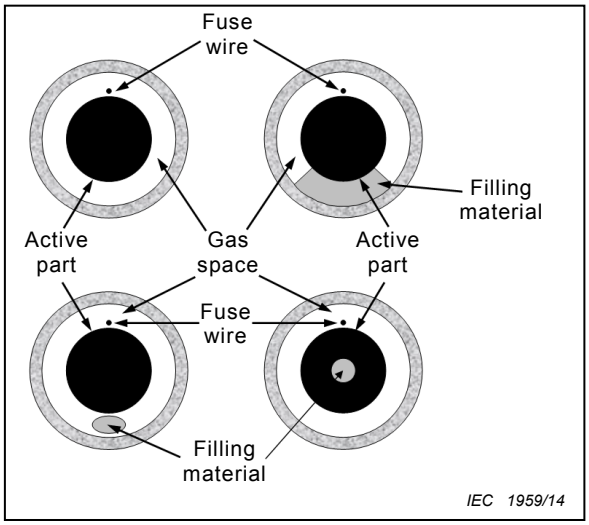
IEC 1958/14

Légende

Anglais	Français
Case	cas
One mechanical and electrical unit	Un élément mécanique et électrique
Two mechanical internal assemblies covered by one common housing providing final mechanical strength	Deux ensembles internes mécaniques avec enveloppe commune assurant la résistance mécanique finale
One mechanical unit covered by a housing with an intermediate potential grading element	Un élément mécanique sous enveloppe avec un élément de répartition de potentiel intermédiaire
Two mechanical units covered by individual housings each and assembled afterwards	Deux éléments mécaniques sous enveloppes individuelles assemblées à postériori
Two mechanical units of final mechanical strength, intermediate flanges covered by soft insulating material after assembly	Deux éléments mécaniques de résistance mécanique finale, collerettes intermédiaires recouvertes par un matériau isolant souple après assemblage
Two mechanical units covered by individual housings each and assembled afterwards	Deux éléments mécaniques sous enveloppes individuelles assemblées à postériori
Number of units	Nombre d'éléments
MO elements	Éléments MO

Anglais	Français
Metallic parts	Parties métalliques
Mechanical structure for assembly	Structure mécanique de l'ensemble
Final mechanically supporting part of housing	Partie support mécanique finale de l'enveloppe
Soft outer part of housing	Partie extérieure souple de l'enveloppe

Figure 5 – Exemples d'éléments de parafoudres



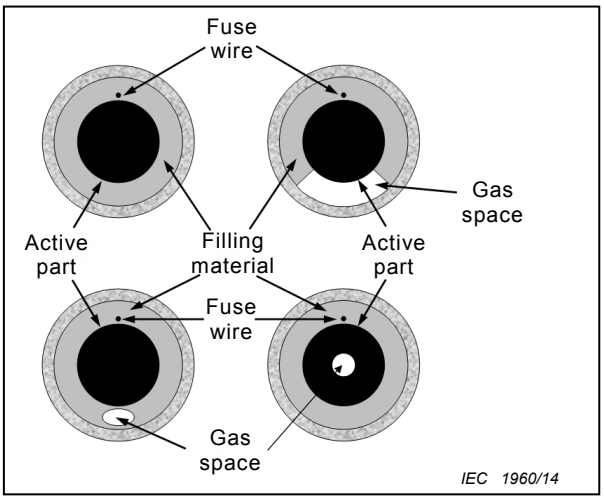
Légende

Anglais	Français
Fuse wire	Fil fusible
Active part	Partie active
Gas space	Espace gazeux
Filling material	Matériau de remplissage

Figure 6 – Exemples d'emplacements du fil fusible pour les parafoudres de "Conception A"

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION



Légende

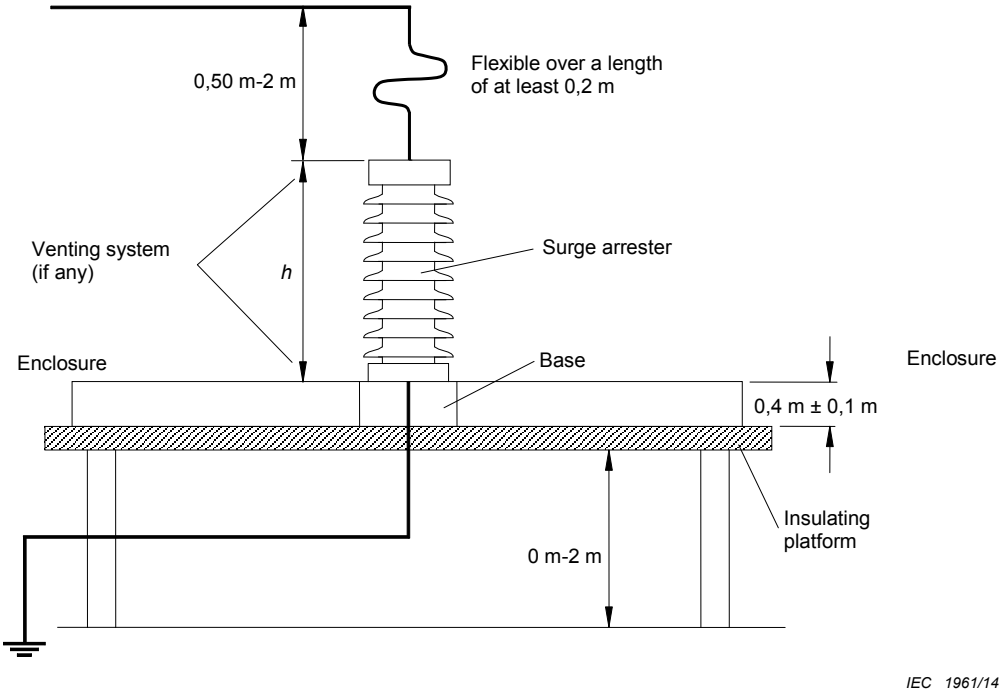
Anglais	Français
Fuse wire	Fil fusible
Active part	Partie active
Gas space	Espace gazeux
Filling material	Matériau de remplissage

Figure 7 – Exemples d'emplacements du fil fusible pour les parafoudres de “Conception B“

8.10.3 Montage de l’échantillon pour essai

Pour un parafoudre monté sur embase, le dispositif de montage est représenté à la Figure 8. La distance entre le sol et la plate-forme isolante et les conducteurs doit être comme illustrée dans cette Figure.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION



Légende

Anglais	Français
Flexible over a length of a least 0,2 m	Souple sur une longueur d'au moins 0,2 m
Venting system (if any)	Évent de soufflage (le cas échéant)
Surge arrester	Parafoudre
Enclosure	Enceinte
Base	Embase
Insulating platform	Plate-forme isolante

NOTE Toutes les connexions et les évents de soufflage sont sur le même plan

Figure 8 – Montage d'essai de court-circuit pour les parafoudres à enveloppe en porcelaine

Pour les parafoudres qui ne sont pas montés sur embase (par exemple, parafoudres montés sur poteau), l'échantillon pour essai doit être monté sur un poteau non métallique en utilisant des consoles de montage et des dispositifs normalement utilisés pour leur installation en service réel. Pour les besoins de l'essai, la console de montage doit être considérée comme faisant partie de l'embase du parafoudre. Dans les cas où cette configuration diffère des instructions du constructeur, le parafoudre doit être monté conformément aux recommandations d'installation du constructeur. La totalité du conducteur entre l'embase et le capteur de courant doit être isolée à au moins 1 000 V. L'extrémité supérieure de l'échantillon pour essai doit être équipée avec l'embase du parafoudre du même type ou d'un capot haut.

Pour les parafoudres montés sur embase, la partie inférieure de l'échantillon pour essai doit être montée sur une embase d'essai de même hauteur qu'une enceinte circulaire ou carrée. L'embase d'essai doit être en matériau isolant ou peut être en matériau conducteur si ses dimensions de surface sont inférieures aux dimensions de surface de la partie inférieure du parafoudre. L'embase d'essai et l'enceinte doivent être placées au sommet d'une plate-forme isolante, comme représenté à la Figure 8. Pour les parafoudres qui ne sont pas montés sur embase, les mêmes exigences s'appliquent à la partie inférieure du parafoudre. La distance d'amorçage d'arc entre le capot d'extrémité supérieure et tout autre objet métallique (relié à la terre ou non), à l'exception de la base du parafoudre, doit être d'au moins 1,6 fois la hauteur du parafoudre échantillon, sans toutefois être inférieure à 0,9 m. L'enceinte doit être en matériau non métallique et elle doit être positionnée de façon symétrique par rapport à l'axe

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

de l'échantillon pour essai. La hauteur de l'enceinte doit être de 40 cm ± 10 cm et son diamètre (ou son côté dans le cas d'une enceinte carrée) doit être égal à la valeur maximale de 1,8 m ou *D* dans l'équation (1) ci-dessous. Il ne doit pas être permis à l'enceinte de s'ouvrir ou de bouger au cours de l'essai.

$$D = 1{,}2 \times (2 \times H + D_{arr}) \quad (1)$$

où

H est la hauteur de l'élément de parafoudre en essai;

D_{arr} est le diamètre de l'élément de parafoudre en essai.

Les échantillons pour essai doivent être montés verticalement sauf accord contraire entre le constructeur et l'utilisateur. Dans le cas où les limites d'espace physique du laboratoire ne permettent pas d'utiliser une enceinte de la taille spécifiée, le constructeur peut choisir d'utiliser une enceinte d'un diamètre inférieur.

Le montage du parafoudre au cours de l'essai de court-circuit et, plus spécifiquement, la disposition des conducteurs doivent représenter la condition la plus défavorable en service.

NOTE La disposition représentée à la Figure 8 est la plus défavorable à utiliser durant la phase initiale de l'essai avant la relaxation de la surpression (en particulier dans le cas d'un parafoudre équipé d'un limiteur de tension). Le positionnement de l'échantillon comme représenté à la Figure 8, avec ses évents côté source d'essai, peut conduire l'arc externe à être envoyé plus près de l'enveloppe du parafoudre que dans d'autres cas. En conséquence, un effet de choc thermique peut causer des fissures et des bris excessifs des ailettes en porcelaine, en comparaison avec les autres orientations possibles des évents.

8.10.4 Essais de court-circuit à courants de forte amplitude

8.10.4.1 Généralités

Un nombre total de trois échantillons doit être soumis à des essais de courants sur la base d'un courant assigné de court-circuit choisi dans le Tableau 7. Les trois échantillons doivent être préparés selon 8.10.2 et montés selon 8.10.3.

Les essais doivent être effectués à l'aide d'un circuit d'essai monophasé, de préférence avec une tension d'essai à vide comprise entre 77 % et 107 % de la tension assignée de l'échantillon pour essai, comme stipulé en 8.10.4.2. Cependant, il est probable que des essais sur des parafoudres à haute tension devront être effectués dans des laboratoires ne disposant pas nécessairement de la puissance de court-circuit suffisante pour réaliser ces essais à 77 % ou plus de la tension assignée des échantillons d'essai. En conséquence, une procédure de rechange pour réaliser les essais de court-circuit à courants de forte amplitude avec une tension réduite est donnée en 8.10.4.3. La durée totale mesurée du courant d'essai circulant dans le circuit doit être ≥ 0,2 s.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

Tableau 7 – Courants exigés pour les essais de court-circuit

Classe de parafoudre = courant nominal de décharge	Courant assigné de court-circuit I_S	Courants de court-circuit réduits ±10 %		Courant de court-circuit de faible amplitude d'une durée de 1 s [a)]
kA	kA	kA		A
20 ou 10	80	50	25	600 ± 200
20 ou 10	63	25	12	600 ± 200
20 ou 10	50	25	12	600 ± 200
20 ou 10	40	25	12	600 ± 200
20 ou 10	31,5	12	6	600 ± 200
20, 10 ou 5	20	12	6	600 ± 200
10 ou 5	16	6	3	600 ± 200
10, 5 ou 2,5	10	6	3	600 ± 200
10, 5 ou 2,5	5	3	1,5	600 ± 200
10, 5 ou 2,5	2,5 kA	–	–	600 ± 200
10, 5 ou 2,5	1 kA	–	–	Amplitude et durée sur accord entre l'utilisateur et le constructeur
10, 5 ou 2,5	< 1 kA[b]	–	–	Amplitude et durée sur accord entre l'utilisateur et le constructeur

a) Pour les parafoudres destinés à être installés dans des réseaux résonants à neutre mis à la terre ou non, l'augmentation de la durée de l'essai au-delà de 1 s, jusqu'à 30 min, peut être autorisée après accord entre le constructeur et l'utilisateur. Dans ce cas, le courant de court-circuit de faible amplitude doit être réduit à 50 A ± 20 A et l'échantillon pour essai et les critères d'acceptation doivent faire l'objet d'un accord entre le constructeur et l'utilisateur.

b) Des essais à courant de forte amplitude ne sont pas exigés dans ce cas.

NOTE Si un parafoudre existant est qualifié pour l'un des courants assignés de court-circuit de ce tableau, il est estimé comme satisfaisant à l'essai pour toute valeur de courant assigné inférieure à cette première valeur.

Si un type existant de parafoudre, déjà qualifié pour l'un des courants assignés du présent Tableau est en cours de qualification pour une valeur de courant assigné supérieure indiquée dans le tableau, il convient qu'il ne soit soumis aux essais qu'à cette nouvelle valeur assignée. Toute extrapolation ne peut être étendue qu'à deux niveaux du courant assigné de court-circuit.

Si un nouveau type de parafoudre est à qualifier pour une valeur de courant assignée supérieure aux valeurs données dans ce tableau, il doit être soumis à essai à la valeur proposée pour ce courant assigné, à 50 % et à 25 % du courant assigné.

8.10.4.2 Essais à courant de forte amplitude à tension pleine (77 % à 107 % de la tension assignée)

La valeur présumée du courant doit être mesurée par un essai préalable avec le parafoudre court-circuité ou remplacé par une connexion rigide d'impédance négligeable.

La durée d'un tel essai peut être limitée au minimum de temps nécessaire pour mesurer la valeur de crête et la composante symétrique de l'onde de courant.

Pour les parafoudres de «conception A» soumis aux essais à la valeur du courant assigné de court-circuit, la valeur de crête de la première demi-alternance du courant présumé doit être d'au moins 2,5 fois la valeur efficace du courant assigné de court-circuit choisi dans le Tableau 7. La valeur efficace suivante de cette composante symétrique doit être égale ou supérieure au courant assigné de court-circuit. La valeur de crête du courant présumé,

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

divisée par 2,5, doit être notée comme courant d'essai, même si la valeur efficace de la composante symétrique du courant présumé peut être plus élevée. En raison de ce courant présumé supérieur, le parafoudre échantillon peut être soumis à des contraintes plus sévères, et par conséquent, les essais à un rapport X/R inférieur à 15 ne doivent être réalisés qu'avec l'accord du constructeur.

Pour les parafoudres de «conception B» soumis aux essais à la valeur du courant assigné de court-circuit, la valeur de crête de la première demi-alternance du courant présumé doit être d'au moins √2 fois la valeur efficace du courant assigné de court-circuit.

Pour tous les courants de court-circuit réduits, la valeur efficace doit être conforme au Tableau 7 et la valeur de crête de la première demi-alternance du courant présumé doit être au moins égale à √2 fois la valeur efficace de ce courant.

La connexion shunt rigide doit être retirée après vérification du courant présumé et le(s) parafoudre(s) échantillon(s) doit/doivent être soumis aux essais avec les mêmes paramètres de circuit.

NOTE La résistance de l'arc restreint à l'intérieur du parafoudre peut réduire la valeur efficace de la composante symétrique et la valeur de crête du courant mesuré. Cela ne remet pas l'essai en cause, puisqu'il est réalisé à au moins la tension de service normale et puisque l'effet sur les courants d'essai est le même que celui qui se produirait lors d'une défaillance en service.

Il convient de préférence que le rapport X/R de l'impédance du circuit d'essai, sans que le parafoudre soit connecté, soit au moins de 15. Dans les cas où le rapport X/R de l'impédance du circuit d'essai est inférieur à 15, la tension d'essai peut être augmentée ou l'impédance peut être réduite, de sorte que,

- pour le courant assigné de court-circuit, la valeur de crête de la première demi-alternance du courant présumé soit égale ou supérieure à 2,5 fois le niveau du courant d'essai exigé;
- pour les essais à niveau de courant réduit, les tolérances du Tableau 7 soient satisfaites.

8.10.4.3 Essai à courants de forte amplitude à une tension assignée inférieure à 77 %

Lorsque les essais sont réalisés avec une tension de circuit d'essai <77 % de la tension assignée des échantillons pour essai, les paramètres du circuit d'essai doivent être ajustés de telle sorte que la valeur efficace de la composante symétrique du courant réel d'essai du parafoudre doit être égale ou supérieure au niveau de courant d'essai exigé choisi dans le Tableau 7.

Pour les parafoudres de «conception A» soumis aux essais à la valeur du courant assigné de court-circuit, la valeur de crête de la première demi-alternance du courant réel d'essai du parafoudre doit être d'au moins 2,5 fois la valeur efficace du courant assigné de court-circuit choisi dans le Tableau 7. La valeur efficace suivante de cette composante symétrique doit être égale ou supérieure au courant assigné de court-circuit. La valeur de crête du courant réel d'essai du parafoudre, divisée par 2,5, doit être notée comme courant d'essai, même si la valeur efficace de la composante symétrique du courant réel d'essai du parafoudre peut être plus élevée.

Pour les parafoudres de «conception B» soumis aux essais à la valeur du courant assigné de court-circuit, la valeur de crête de la première demi-alternance du courant réel d'essai du parafoudre doit être d'au moins √2 fois la valeur efficace du courant assigné de court-circuit.

Pour tous les courants de court-circuit réduits, la valeur efficace doit être conforme au Tableau 7 et la valeur de crête de la première demi-alternance du courant réel d'essai du parafoudre doit être au moins égale à √2 fois la valeur efficace de ce courant.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

Pour les parafoudres de grande taille en particulier, qui sont soumis aux essais à un pourcentage faible de leur tension assignée, le premier courant de crête asymétrique de 2,5 n'est pas facilement obtenu sauf si des possibilités spéciales d'essai sont envisagées. Il est donc possible d'augmenter la valeur efficace de la tension d'essai ou de réduire l'impédance de telle sorte que pour le courant assigné de court-circuit, la valeur de crête de la première demi-alternance du courant d'essai soit égale ou supérieure à 2,5 fois le niveau de courant d'essai exigé. Dans le cas d'un essai avec un générateur, la première valeur de crête de 2,5 fois le courant d'essai exigé peut également être obtenue en faisant varier l'excitation du générateur. Il convient que le courant soit ensuite réduit, pas moins de 2,5 alternances après le début de son passage, à la valeur symétrique exigée. Il convient de noter la valeur de crête réelle du courant d'essai, divisée par 2,5, comme courant d'essai, même si la valeur efficace de la composante symétrique du courant réel d'essai du parafoudre peut être plus élevée. En raison de ce courant d'essai supérieur, le parafoudre échantillon peut être soumis à des contraintes plus sévères, et par conséquent, il convient que les essais à un rapport X/R inférieur à 15 ne soient réalisés qu'avec l'accord du constructeur.

8.10.5 Essai de court-circuit à courants de faible amplitude

L'essai doit être réalisé en utilisant un circuit d'essai quelconque qui produit un courant traversant l'échantillon pour essai de 600 A ± 200 A en valeur efficace, mesuré environ 0,1 s après le début de l'écoulement de courant de court-circuit. Le courant doit s'écouler pendant au moins 1 s après la fusion du fil fusible ou, pour les parafoudres de "Conception A", jusqu'à la relaxation de la surpression.

Voir 8.10.6 concernant la manipulation d'un parafoudre pour lequel la relaxation ne s'est pas produite.

8.10.6 Évaluation des résultats d'essai

L'essai est considéré comme réussi si les trois critères suivants sont satisfaits:

a) Pas de rupture explosive. Une défaillance de structure de l'échantillon est admise tant que les critères b) et c) sont satisfaits.

b) Aucune partie de l'échantillon pour essai ne doit pouvoir être trouvée à l'extérieur de l'enceinte, sauf
   - des fragments de céramique tels que des résistances à oxyde métallique ou de porcelaine pesant moins de 60 g chacun;
   - les opercules d'évents et diaphragmes du limiteur de pression;
   - les parties souples de matériaux polymères.

c) Le parafoudre doit être capable d'autoéteindre les flammes nues dans un délai de 2 min après l'essai. Il faut que toute partie éjectée (dans ou hors de l'enceinte) autoéteigne également les flammes nues dans un délai de 2 min. Une durée plus courte pour l'auto-extinction des flammes nues pour les parties éjectées peut faire l'objet d'un accord entre le constructeur et l'utilisateur.

Si le parafoudre n'a visiblement pas connu de relaxation à la fin de l'essai, il convient de prendre des précautions, car l'enveloppe peut rester sous pression après l'essai. Ceci est applicable à tous les niveaux de courant d'essai, mais ceci est plus particulièrement pertinent pour les essais de court-circuit au courant de faible amplitude.

Pour les parafoudres destinés à être utilisés dans des applications dans lesquelles l'intégrité et une résistance mécaniques sont exigées après une défaillance, différentes procédures d'essai et évaluations peuvent être établies entre le constructeur et l'utilisateur (par exemple, il peut être exigé qu'à l'issue des essais, il convient que le parafoudre puisse encore être levé et retiré par son extrémité supérieure).

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

8.11 Essai de moment de flexion

8.11.1 Généralités

Cet essai s'applique aux parafoudres à enveloppe en porcelaine et en résine moulée pour U_s > 52 kV. Il s'applique également aux parafoudres à enveloppe en porcelaine et en résine moulée pour $U_s \leq 52$ kV pour lesquels le constructeur revendique une résistance à la rupture en flexion. L'essai doit être réalisé sur le parafoudre sans embase isolante ou console de montage.

L'ensemble de la procédure d'essai est présenté sur le logigramme à l'Annexe G.

8.11.2 Vue d'ensemble

Cet essai démontre la capacité du parafoudre à résister aux valeurs des efforts de flexion déclarés par le constructeur. Normalement, un parafoudre n'est pas conçu pour supporter un effort de torsion. Si un parafoudre est soumis à des efforts de torsion, un essai particulier peut être nécessaire après accord entre le constructeur et l'utilisateur.

L'essai doit être réalisé sur le parafoudre sans embase isolante ou console de montage, et sans surpression interne. Pour les parafoudres à un seul élément, l'essai doit être réalisé sur l'élément le plus long du modèle. Lorsqu'un parafoudre comporte plus d'un élément ou lorsqu'il supporte des moments de flexion spécifiés différents à chaque extrémité, l'essai doit être réalisé sur l'élément le plus long pour chacun des moments de flexion spécifiés différents, les charges étant déterminées selon G.1.

L'essai doit être réalisé en deux étapes, qui peuvent être suivies dans n'importe quel ordre:

- un essai de moment de flexion permettant de déterminer la valeur de l'effort moyen à la rupture (MBL);
- un essai de moment de flexion statique avec une charge d'essai égale à l'effort à court terme spécifié (SSL), c'est-à-dire 100 % de la valeur de G.3.

8.11.3 Préparation des échantillons

Une extrémité de l'échantillon doit être solidement fixée à une surface de montage rigide de l'appareillage d'essai et une charge doit être appliquée à l'autre extrémité (libre) de l'échantillon, de manière à produire le moment de flexion exigé à l'extrémité fixe. La direction de la charge doit traverser l'axe longitudinal du parafoudre et lui être perpendiculaire. Si le parafoudre n'est pas axisymétrique par rapport à sa résistance à la flexion, le constructeur doit fournir des informations concernant cette résistance non symétrique et la charge doit être appliquée selon un angle soumettant la partie la plus faible du parafoudre au moment de flexion maximum.

8.11.4 Procédure d'essai

8.11.4.1 Procédure d'essai pour déterminer la valeur de l'effort moyen à la rupture (MBL)

Trois échantillons doivent être soumis aux essais. Si l'essai de vérification du SSL (voir 8.11.4.2) est réalisé en premier, les échantillons de cet essai peuvent alors être utilisés pour la détermination du MBL. Il n'est pas nécessaire que les échantillons pour essai contiennent leurs éléments internes. Pour chaque échantillon, l'effort de flexion doit être augmenté progressivement jusqu'à ce qu'il y ait rupture sur une période de 30 s à 90 s. "Rupture" signifie une fracture de l'enveloppe ainsi que les dommages que peuvent subir le dispositif de fixation ou les embouts d'extrémité.

L'effort moyen à la rupture, MBL, est calculé comme étant la valeur moyenne des efforts à la rupture des échantillons pour essai.

NOTE L'enveloppe d'un parafoudre peut éclater lorsqu'elle est soumise à une charge et peut présenter un danger en cas de manutention.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

8.11.4.2 Procédure d'essai de vérification de l'effort à court terme spécifié (SSL)

Trois échantillons doivent être soumis aux essais. Les échantillons pour essai doivent contenir leurs éléments internes. Avant les essais, chaque échantillon pour essai doit être soumis à un contrôle d'étanchéité (voir point d) de 9.1) et à un essai de décharges partielles internes (voir point c) de 9.1). Si ces essais ont déjà été réalisés comme essais individuels de série, il n'est pas nécessaire de les recommencer cette fois.

L'effort de flexion doit être augmenté progressivement sur chaque échantillon, jusqu'à la valeur du SSL avec une tolérance de $^{+5}_{-0}$%, sur une période de 30 s à 90 s. Une fois atteinte, la charge d'essai doit être maintenue pendant 60 s à 90 s. La déformation doit être mesurée pendant cette durée. Puis, la charge doit être progressivement relâchée et la déformation résiduelle doit être relevée. La déformation résiduelle doit être mesurée au cours de la période de 1 min à 10 min qui suit le relâchement de l'effort.

NOTE L'enveloppe d'un parafoudre peut éclater lorsqu'elle est soumise à une charge et peut présenter un danger en cas de manutention.

8.11.5 Évaluation de l'essai

Le parafoudre doit être considéré comme ayant satisfait à l'essai si

- la valeur de l'effort moyen à la rupture MBL, est ≥ 1,2 × SSL;
- pour l'essai SSL
  - il n'y a aucun dommage mécanique visible;
  - la déformation permanente restante est égale à ≤ 3 mm ou ≤ 10 % de la déformation maximale pendant l'essai, selon la plus grande des deux valeurs;
  - les échantillons pour essai satisfont à l'essai d'étanchéité conformément au point d) de 9.1;
  - le niveau de décharges partielles internes des échantillons pour essai ne dépasse pas la valeur spécifiée au 9.1 c);

8.11.6 Essai sur embase isolante et console de montage

Lorsque le parafoudre est fourni avec une embase isolante et/ou une console de montage, l'embase et/ou la console doivent être soumises à un essai de flexion. Trois échantillons de l'embase et de la console doivent être soumis aux essais. L'effort de flexion doit être augmenté progressivement sur chaque échantillon, jusqu'à la valeur d'un effort équivalent au SSL du parafoudre sur une période de 30 s à 90 s. Une fois atteinte, la charge d'essai doit être maintenue pendant 60 s à 90 s. La charge doit ensuite être relâchée progressivement.

Les échantillons doivent avoir satisfait à l'essai en l'absence de dommage mécanique.

8.12 Essais d'environnement

8.12.1 Généralités

Ces essais s'appliquent aux parafoudres à enveloppe en porcelaine et en résine moulée.

Les essais d'environnement démontrent par des procédures d'essai accélérées que le système d'étanchéité et les combinaisons métalliques exposées du parafoudre ne sont pas affectés par les conditions d'environnement.

L'essai doit être réalisé sur des éléments de parafoudres finis de toute longueur.

Pour les parafoudres avec volume interne de gaz et système d'étanchéité séparé, les éléments internes peuvent être retirés.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

Les parafoudres dont les éléments ne diffèrent qu'en longueur et qui sont par ailleurs de même conception, utilisent les mêmes matériaux et possèdent le même système d'étanchéité dans chaque élément, sont considérés comme étant du même type.

8.12.2 Préparation des échantillons

Avant les essais, l'échantillon pour essai doit être soumis au contrôle d'étanchéité du point d) de 9.1.

8.12.3 Procédure d'essai

Les essais spécifiés ci-après doivent être effectués sur un échantillon dans l'ordre indiqué.

8.12.3.1 Essai de cycles de températures

L'essai doit être réalisé selon l'essai Nb de l'IEC 60068-2-14.

La période chaude doit correspondre à une température d'au moins +40 °C, mais sans toutefois dépasser +70 °C. La période froide doit correspondre à une température inférieure d'au moins 85 K à la température effectivement appliquée en période chaude; toutefois, la température la plus basse en période froide ne doit pas être inférieure à –50 °C:

- gradient de variation de température: 1 K/min;
- durée de chaque palier de température: 3 h;
- nombre de cycles: 10.

8.12.3.2 Essai au brouillard salin

L'essai doit être effectué selon l'Article 4 et 7.6, suivant le cas, de l'IEC 60068-2-11:1981:

- concentration en solution saline: 5 % ± 1 % en masse;
- durée de l'essai: 96 h.

8.12.4 Évaluation de l'essai

Le parafoudre doit avoir satisfait aux essais s'il passe avec succès le contrôle d'étanchéité conformément au point d) de 9.1.

8.13 Essai de mesure du taux de fuite

8.13.1 Généralités

Cet essai s'applique aux parafoudres ayant un volume interne de gaz et un système d'étanchéité séparé. Cet essai démontre l'étanchéité aux gaz/à l'eau de l'assemblage complet du parafoudre.

Lorsqu'un essai individuel de série dédié à la mesure du taux de fuite (voir point d) de 9.1) est réalisé avec des critères de réception au moins aussi stricts que ceux spécifiés dans le présent article, un essai de type n'est alors pas exigé. A défaut, un essai de type doit être réalisé sur un élément de parafoudre fini. 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.

8.13.2 Préparation des échantillons

L'échantillon pour essai doit être neuf et propre.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

8.13.3 Procédure d'essai

Le constructeur peut utiliser toute méthode sensible appropriée à la mesure du taux de fuite spécifié.

NOTE Des procédures d'essai sont spécifiées dans l'IEC 60068-2-17.

8.13.4 Évaluation de l'essai

Le taux de fuite maximal (voir G.4) doit être inférieur à

1×10^{-6} Pa·m^3/s

8.14 Essai aux tensions perturbatrices RF (RIV)

Ces essais s'appliquent aux parafoudres ouverts destinés à être utilisés sur des réseaux avec $U_s \geq 72{,}5$ kV. L'essai doit être effectué sur le parafoudre le plus long, avec la tension assignée la plus forte utilisée pour un type particulier de parafoudre. Si d'autres types de parafoudre dont la tension assignée est réduite sont munis exactement des mêmes fixations (axes et bornes de mise à la terre, anneaux de garde, etc.), ils sont qualifiés par des essais réalisés sur le parafoudre dont la tension assignée est la plus élevée et il n'est pas nécessaire de les soumettre à un autre essai.

NOTE 1 Un essai sur un élément, partie ou unité de parafoudre ne peut être considéré comme suffisant à cause de la non-linéarité de la distribution de potentiel le long d'un parafoudre complet.

NOTE 2 Pour cet essai, «type particulier de parafoudre» signifie aussi qu'il y a des configurations d'anneaux de garde identiques.

Cet essai RIV peut être omis, si le même parafoudre a satisfait à un essai de décharges partielles suivi de la procédure générale de 9.1 c) mais, dans ce cas, avec la mesure des décharges internes et externes (c'est-à-dire sans utiliser d'écrans pour les connexions ou les anneaux de garde ou d'autres parties des parafoudres).

Les parafoudres en cours d'essai doivent être complètement assemblés et munis des fixations (axe et bornes de mise à la terre, anneaux de garde, etc.) que le constructeur offre comme équipement standard du parafoudre.

La tension d'essai doit être appliquée entre les bornes et la base mise à la terre.

Les parties de mise à la terre du parafoudre doivent être reliées à la terre. Il convient de veiller à éviter d'influencer les mesures par la présence d'objets reliés à la terre ou non à proximité des parafoudres et du circuit d'essai et de mesure.

Les connexions d'essai et leurs extrémités ne doivent pas constituer une source de tension de perturbation radioélectrique de valeurs supérieures à celles indiquées ci-dessous.

Le circuit de mesure doit être conforme à la CISPR 18-2 du Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques (CISPR). Il convient que le circuit de mesure soit de préférence accordé sur une fréquence de 0,5 MHz à 10 % près, mais d'autres fréquences dans la gamme de 0,5 MHz à 2 MHz peuvent être utilisées, la fréquence de mesure étant enregistrée. Les résultats doivent être exprimés en microvolts.

Si des impédances de mesure différentes de celles spécifiées par les publications du CISPR sont utilisées, elles ne doivent pas s'en écarter de plus de 600 Ω ou de moins de 30 Ω; dans tous les cas l'angle de phase ne doit pas dépasser 20°. La tension équivalente de perturbation radioélectrique rapportée à 300 Ω peut être calculée, en admettant que la tension mesurée soit directement proportionnelle à la résistance.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

Le filtre F doit avoir une impédance élevée de telle sorte que, lorsqu'elle est observée du parafoudre en essai, l'impédance entre le conducteur à haute tension et la terre ne soit pas sensiblement dérivée. Ce filtre réduit aussi les courants de radiofréquence en circulation dans le circuit d'essai, générés par le transformateur à haute tension ou reçus à partir de sources extérieures. Il a été établi qu'une valeur convenable pour cette impédance était de 10 000 Ω à 20 000 Ω à la fréquence de mesure.

Des moyens doivent être employés pour s'assurer que le niveau de bruit parasite des perturbations radioélectriques (niveau de perturbations radioélectriques occasionné par le champ externe et par le transformateur haute tension lorsqu'il est magnétisé à la tension d'essai maximale) est au moins de 6 dB et de préférence 10 dB au-dessous du niveau de perturbations radioélectriques spécifié du parafoudre à soumettre à essai. Les méthodes d'étalonnage pour les instruments de mesure sont données dans la CISPR 18-2.

Étant donné que le niveau de perturbations radioélectriques peut être affecté par la chute de fibres ou de poussière sur les isolateurs, il est permis d'essuyer les isolateurs avec un chiffon propre avant d'effectuer une mesure. Les conditions atmosphériques en cours d'essai doivent être enregistrées. On ne sait pas quels facteurs de correction appliquer aux fréquences d'essai de perturbations radioélectriques, mais l'on sait que l'essai peut être influencé par une humidité relative élevée et les résultats de l'essai peuvent être douteux si l'humidité relative dépasse 80 %.

La procédure d'essai suivante doit être appliquée.

La tension d'essai est augmentée jusqu'à 1,15 $U_C$puis abaissée à 1,05 U_C, valeur à laquelle elle doit être maintenue pendant 5 min, U_C étant la tension de régime permanent du parafoudre. La tension doit être abaissée par échelons jusqu'à 0,5 fois U_C, puis élevée à nouveau par échelons jusqu'à 1,05 U_C pendant 5 min et finalement abaissée par échelons jusqu'à 0,5 fois U_C. À chaque échelon, une mesure des perturbations radioélectriques doit être effectuée et le niveau de perturbations radioélectriques, tel qu'enregistré au cours de la dernière série de réduction de la tension, doit être relevé en fonction de la tension appliquée; la courbe ainsi obtenue est la caractéristique de perturbation radioélectrique du parafoudre. L'amplitude des échelons de tension doit être d'environ 0,1 U_C.

Le parafoudre doit avoir satisfait à l'essai si le niveau de perturbations radioélectriques à 1,05 fois U_C et à tous les échelons de tension inférieurs ne dépasse pas 2 500 μV.

8.15 Essai de vérification de la tenue diélectrique des composants internes

8.15.1 Généralités

Le but de cet essai est de vérifier la capacité de tenue diélectrique interne d'un parafoudre même avec des courants de choc dont les amplitudes sont supérieures au courant nominal de décharge.

S'il peut être démontré, au moyen de calculs, que le champ électrique d'un parafoudre spécifique à des emplacements critiques est inférieur ou égal au champ électrique d'un parafoudre soumis à l'essai avec succès à une tension supérieure ou égale à la tension existante, aucun essai n'est exigé. De plus, l'essai est exigé uniquement si la partie de l'essai de fonctionnement dédiée au conditionnement (8.7.2.2) n'a pas été effectuée sur une fraction diélectriquement distribuée au prorata.

L'essai doit être réalisé sur un échantillon pour essai.

L'échantillon doit être une fraction diélectriquement distribuée au prorata selon 7.3.2.2. Aucun capteur de température interne ne doit être installé.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

8.15.2 Procédure d'essai

L'échantillon pour essai doit être chauffé dans une étuve pendant une durée suffisante afin d'obtenir un équilibre thermique à une température d'au moins 60 °C. L'essai doit être réalisé dans les 10 minutes qui suivent le retrait de l'échantillon de l'étuve. L'essai comprend l'application d'un choc de courant de grande amplitude avec une amplitude selon le Tableau 4.

Des oscillogrammes de courant et de tension doivent être relevés pour l'application des chocs.

8.15.3 Évaluation de l'essai

L'échantillon a satisfait à l'essai lorsque tous les critères suivants sont satisfaits:

- les oscillogrammes ne présentent aucun signe de claquage diélectrique;
- toute variation de la tension résiduelle à un courant nominal de décharge avant et après l'essai est de ± 5 %;
- les exigences suivantes sont satisfaites:
  - si le constructeur déclare que les résistances peuvent être extraites de l'échantillon pour essai, une inspection visuelle des résistances doit être faite et il doit être vérifié que l'essai n'a pas provoqué de perforation, contournement ou bris des résistances.
  - si le constructeur déclare que les résistances MO ne peuvent pas être extraites de l'échantillon pour essai, l'essai supplémentaire suivant doit être réalisé afin de s'assurer qu'aucun dommage ne s'est produit pendant l'essai:
    - i) après la vérification de la résistance résiduelle à I_n, deux chocs de courant 8/20 d'une amplitude produisant une densité de courant d'au moins 0,5 kA/cm² ou de deux fois la valeur I_n, selon la plus faible de ces deux valeurs, doivent être appliqués à l'échantillon. Le premier choc doit être appliqué à l'issue d'un délai suffisant permettant à l'échantillon de refroidir jusqu'à la température ambiante. Le second choc doit être appliqué entre 50 s et 60 s après le premier choc. Au cours des deux chocs, les oscillogrammes de la tension et du courant ne doivent présenter aucun signe de claquage.

8.16 Essai des éléments de répartition internes

8.16.1 Essai de vérification de la stabilité à long terme sous une tension de régime permanent

Lorsque des éléments de répartition internes tels que des condensateurs ou des résistances (variables) sont utilisés dans le parafoudre, ils doivent être soumis à un essai accéléré de vérification de la stabilité à long terme sous une tension de régime permanent dans les mêmes conditions d'essai que les résistances MO (voir 8.4.1). Les échantillons pour essai peuvent être des composants individuels ou une colonne de composants de cette nature.

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

Pendant l'essai, les échantillons pour essai doivent être placés dans une enceinte thermorégulée dans le même milieu environnant que celui utilisé dans le parafoudre. Le volume de l'enceinte doit correspondre au moins au double du volume de l'échantillon pour essai et la densité du milieu dans l'enceinte ne doit pas être inférieure à la densité du milieu dans le parafoudre.

NOTE Le milieu entourant les éléments de répartition du parafoudre peut subir des modifications durant la vie normale du parafoudre en raison de décharges partielles internes. Une éventuelle modification du milieu entourant les éléments de répartition sur le terrain peut modifier de façon significative leurs propriétés électriques.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

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, les éléments de répartition ne vieillissent 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 peut être effectué à l'air libre.

Trois échantillons doivent être soumis à l'essai pendant 1 000 h, durée au cours de laquelle la température doit être régulée afin de maintenir la surface des échantillons à une température de 115 °C ± 4 K. Pendant l'essai de 1 000 h, les échantillons doivent être mis sous tension à une tension correspondant à la tension de régime maximum corrigée (voir 8.4.1) pour le nombre de résistances MO installées en parallèle aux éléments de répartition dans le parafoudre. L'impédance des éléments de répartition doit être mesurée à une température de 20 °C ± 15 K avant et après l'essai de 1 000 h.

Les échantillons doivent avoir satisfait à la présente partie de l'essai si

- il n'existe aucun signe de claquage diélectrique;
- l'examen après essai ne révèle aucun signe de perforation, contournement ou bris des éléments de répartition.
- un essai de décharges partielles à la tension d'essai révèle des décharges partielles qui ne dépassent pas 10 pC;
- la variation de l'impédance des éléments de répartition due à l'essai de 1 000 h n'est pas supérieure à ±5 %.

Lorsque les échantillons satisfont aux critères d'évaluation ci-dessus, les résistances MO dont le nombre est égal à celui des résistances utilisées en parallèle aux éléments de répartition du parafoudre, doivent alors être connectées parallèlement à l'échantillon pour essai, et deux chocs de foudre de 8/20 d'une densité de courant de crête de 0,5 kA/cm^2 dans les résistances MO ou équivalant à 2 fois I_n, selon la plus faible de ces deux valeurs, doivent être appliqués à l'échantillon. Le premier choc doit être appliqué à l'issue d'un délai suffisant permettant à l'échantillon de refroidir jusqu'à la température ambiante. Le second choc est appliqué entre 50 s et 60 s après le premier choc. L'impédance des éléments de répartition doit être mesurée à une température de 20 °C ± 15 K avant et après les deux chocs. Les échantillons doivent être considérés comme ayant satisfait à l'essai si

- les oscillogrammes de tension et de courant relevés lors de chaque choc ne révèlent aucun claquage électrique.
- la variation de l'impédance des éléments de répartition due aux deux chocs n'est pas supérieure à ± 5 %

8.16.2 Essai cyclique thermique

Trois échantillons doivent être soumis aux variations thermiques sans application de tension. Les variations thermiques sont constituées de cinq cycles de 48 h d'échauffement et de refroidissement à une température de 60 °C et – 40 °C respectivement. Les périodes chaudes et froides doivent être maintenues pendant au moins 16 h. L'essai doit être réalisé à l'air libre. L'impédance des éléments de répartition doit être mesurée à une température de 20 °C ± 15 K avant et après les cycles thermiques.

Les échantillons satisfont à la présente partie de l'essai si

- l'examen après essai ne révèle aucun signe de bris des éléments de répartition;
- un essai de décharges partielles à la tension d'essai correspondant à la tension de régime maximale corrigée (8.4.1) pour le nombre de résistances MO installées en parallèle aux éléments de répartition dans le parafoudre révèle des décharges partielles ne dépassant pas 10 pC;
- la variation de l'impédance des éléments de répartition due aux cycles thermiques n'est pas supérieure à ± 5 %.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

Lorsque les échantillons satisfont aux critères d'évaluation ci-dessus, les résistances MO dont le nombre est égal à celui des résistances utilisées en parallèle aux éléments de répartition du parafoudre, doivent alors être connectées parallèlement à l'échantillon pour essai, et deux chocs de foudre de 8/20 d'une densité de courant de crête d'au moins 0,5 kA/cm^2 dans les résistances MO doivent être appliqués à l'échantillon. Le premier choc doit être appliqué à l'issue d'un délai suffisant permettant à l'échantillon de refroidir jusqu'à la température ambiante. Le second choc est appliqué entre 50 s et 60 s après le premier choc. L'impédance des éléments de répartition doit être mesurée à une température de 20 °C ± 15 K avant et après les deux chocs. Les échantillons doivent être considérés comme ayant satisfait à l'essai si

- les oscillogrammes de tension et de courant relevés lors de chaque choc ne révèlent aucun claquage électrique.
- la variation de l'impédance des éléments de répartition due aux deux chocs n'est pas supérieure à ± 5 %

9 Essais individuels de série et essais de réception

9.1 Essais individuels de série

Les exigences minimales concernant les essais individuels de série à réaliser par le constructeur doivent être les suivantes

a) mesure de la tension de référence, $U_{ref.}$ Les valeurs mesurées doivent être comprises dans une gamme spécifiée par le constructeur;

b) essai de tension résiduelle. Cet essai est obligatoire pour les parafoudres dont la tension assignée est supérieure à 1 kV. L'essai peut être effectué sur des parafoudres complets, des éléments de parafoudre assemblés ou un échantillon constitué d'un ou de plusieurs éléments de résistances MO. 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 résistances MO, 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 Lorsque les parafoudres 5 kA et 2,5 kA 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 l'utilisateur, supprimer des essais individuels de série l'essai de tension résiduelle.

c) essai de décharges partielles internes. Cet essai doit être réalisé sur chaque élément de parafoudre. L'échantillon pour essai peut être protégé contre les décharges partielles externes.

d) 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 régime permanent. À cette tension, le niveau de décharge partielle doit être mesuré selon l'IEC 60270. La valeur mesurée pour la décharge partielle interne ne doit pas dépasser 10 pC. En variante, le constructeur peut réaliser la mesure des décharges partielles à la tension assignée ou à une valeur de tension supérieure, sans réduire la tension d'essai par la suite.

e) Afin de faciliter la réalisation de l'essai en production, des valeurs plus élevées du taux de fuite que celles demandées lors de l'essai d'évalution (voir 8.13.4) peuvent être retenues pour les essais individuels de série effectués pour vérifier l'assemblage correct; pour les éléments de parafoudre avec volume interne de gaz et système d'étanchéité séparé, un contrôle d'étanchéité doit être fait sur chaque élément au moyen de toute méthode sensible adoptée par le constructeur

f) essai de répartition du courant dans les parafoudres à plusieurs colonnes. Cet essai doit être réalisé sur tous les ensembles de résistances MO en parallèle. Un ensemble de résistances MO 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

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

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 mi-valeur peut prendre n'importe quelle valeur

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

g) l'assemblage correct de chaque dispositif de déconnexion doit être démontré par la mesure de la résistance / capacité ou par des décharges partielles. Les valeurs de résistance ou de capacité doivent être comprises entre des limites spécifiées par le constructeur. La valeur mesurée pour la décharge partielle ne doit pas dépasser 10 pC.

9.2 Essais de réception

9.2.1 Essais de réception normaux

Lorsque des essais de réception sont spécifiés par l'utilisateur 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 sous le courant de référence. La valeur mesurée doit être comprise entre des limites spécifiées par le constructeur. Pour un parafoudre à plusieurs éléments, les mesures peuvent être effectuées sur chaque élément du parafoudre. La tension de référence d'un parafoudre complet est prise comme la somme des tensions de référence des différents éléments de parafoudre.

b) Tension résiduelle au choc de foudre sur le parafoudre au courant nominal de décharge, lorsque cela est possible, ou à une valeur de courant choisie selon 8.3. Dans ce cas, la durée conventionnelle jusqu'à mi-valeur sur la queue est moins importante et il n'est pas nécessaire de l'obtenir.

   Pour un parafoudre à plusieurs éléments, les mesures peuvent être effectuées sur chaque élément du parafoudre. La tension résiduelle du parafoudre complet est prise comme la somme des tensions résiduelles des différents éléments de parafoudre.

   Pour les parafoudres blindés, la tension résiduelle peut être déterminée indirectement par la mesure de la tension de référence et par la démonstration (au moyen d'essais réalisés sur des résistances MO représentatives) de la relation entre la tension de référence et la tension résiduelle.

   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 le parafoudre complet ou, pour un parafoudre à plusieurs éléments, sur chaque élément du parafoudre. L'échantillon pour essai peut être protégé contre les 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 régime permanent. À cette tension, le niveau de décharge partielle doit être mesuré selon l'IEC 60270. La valeur mesurée pour la décharge partielle interne ne doit pas dépasser 10 pC.

d) Des essais de moment de flexion et d'effort de traction doivent être effectués sur les dispositifs de déconnexion utilisés avec les parafoudres NGLA. Pour chaque type d'essai (moment de flexion et effort de traction), la charge doit être augmentée progressivement jusqu'à une charge équivalant à 40 % de la résistance assignée spécifiée par le constructeur. La charge doit être maintenue à ce niveau pendant 30 s.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

L'essai doit être considéré comme réussi si la démonstration suivante est effectuée pour chaque échantillon:

– pas d'indication de dommage mécanique;

– la pente de la courbe effort-déformation demeure positive jusqu'à l'amplitude d'essai, sauf pour des creux ne dépassant pas 5 % de ladite amplitude.

– Un essai de vibration peut également être réalisé selon des exigences convenues entre l'utilisateur et le constructeur.

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

9.2.2 Essai spécial de stabilité thermique

L'essai suivant exige un accord supplémentaire au début du montage du parafoudre, entre le constructeur et l'utilisateur (voir 6.7).

Cet essai doit être effectué sur trois fractions utilisant des résistances MO prises dans la fabrication courante et ayant des dimensions et caractéristiques identiques à celles des résistances utilisées dans les parafoudres soumis à l'essai. L'essai constitue la partie de l'essai de fonctionnement dédiée à la récupération thermique (voir 8.7.2.4).

Pendant l'application de la tension à fréquence industrielle, en vue de prouver la stabilité thermique, la température des résistances MO ou la composante résistive de la dissipation de courant ou de la puissance dissipée doivent être surveillées. L'essai est passé avec succès si l'on obtient une stabilité thermique sur l'ensemble des trois échantillons (voir 8.7.2.4). Si un seul échantillon échoue, tout nouvel essai doit faire l'objet d'un accord entre le constructeur et l'utilisateur.

10 Exigences d'essai pour les parafoudres à enveloppe synthétique

Les Articles 1 à 5 et l'Article 7 s'appliquent en intégralité aux parafoudres à enveloppe synthétique. Nombre des exigences de l'Article 6 et nombre des essais spécifiés à l'Article 8 s'appliquent également sans modification des parafoudres à enveloppe synthétique. En cas de variation, quelle qu'elle soit, par rapport aux exigences des Articles 6 et 8, cette variation concerne les parafoudres à enveloppe synthétique.

10.1 Domaine d'application

L'Article 1 s'applique sans modification

10.2 Références normatives

L'Article 2 s'applique sans modification

10.3 Termes et définitions

L'Article 3 s'applique sans modification

10.4 Identification et classification

L'Article 4 s'applique sans modification

10.5 Caractéristiques assignées normalisées et conditions de service

L'Article 5 s'applique sans modification

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

10.6 Exigences

10.6.13 L'article 6 s'applique, sauf pour ce qui suit: **Comportement aux courants de court-circuit**

Remplacement du Paragraphe 6.13:

Le constructeur doit déclarer des caractéristiques assignées de courant de court-circuit pour chaque famille de parafoudres. La valeur assignée "zéro" peut être revendiquée uniquement pour les applications avec des courants de court-circuit prévus inférieurs à 1 kA. Dans ce cas, la valeur "0" doit être indiquée sur la plaque signalétique. Dans tous les cas, le parafoudre doit être soumis à un essai de court-circuit selon 10.8.10 pour montrer qu'il ne connaît pas de défaillance telle qu'elle occasionne une rupture explosive de l'enveloppe et que l'auto-extinction de flammes nues (le cas échéant) se produise dans un délai défini.

10.6.16.2 Moment de flexion

Remplacement du Paragraphe 6.16.1:

Le parafoudre doit être capable de résister aux valeurs des efforts de flexion déclarées par le constructeur (voir 10.8.11).

NOTE 1 Les forces autres que celles appliquées par des connexions physiques peuvent affecter l'effort mécanique d'un parafoudre, par exemple: le vent, la glace et les forces électromagnétiques.

NOTE 2 Contrairement aux parafoudres à enveloppe en porcelaine, les parafoudres à enveloppe synthétique peuvent présenter des déformations mécaniques en service.

Il convient que les parafoudres emballés résistent aux contraintes de transport définies par l'utilisateur conformément à l'IEC 60721-3-2, qui ne soient jamais inférieures à la classe 2M1.

10.6.16.4 Embase isolante

Remplacement du Paragraphe 6.16.4:

Si un parafoudre est fixé sur une embase isolante, elle doit résister sans dommages à l'essai suivant, qui pourrait en affecter le fonctionnement normal:

– essai de moment de flexion (voir 8.11.6).

10.6.16.5

Le Paragraphe 6.16.5 ne s'applique pas.

10.7 Conditions générales d'exécution des essais

L'Article 7 s'applique sans modification.

10.8 Essais de type (essais de conception)

10.8.1 Généralités

Amendement:

Les essais de type doivent être effectués comme défini à l'Article 8, sauf pour les modifications spécifiques indiquées ci-dessous (les numéros de la liste renvoient aux numéros contenus dans les lignes du Tableau 3):

11) Les essais d'environnement ne s'appliquent pas.

16) Les essais sous pollution artificielle de l'Annexe C ne s'appliquent pas.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

De plus, l'essai suivant est à réaliser pour les parafoudres à enveloppe synthétique destinés à un usage extérieur

17) Essai de vieillissement climatique (voir 10.8.17)

10.8.2 Essais de tenue diélectrique

Le paragraphe 8.2 s'applique sans modification.

10.8.3 Essais de tension résiduelle

Le paragraphe 8.3 s'applique sans modification.

10.8.4 Essai de vérification de la stabilité à long terme sous une tension de régime permanent

Le paragraphe 8.4 s'applique sans modification.

10.8.5 Essai de vérification des caractéristiques assignées de transfert de charges répétitives, Q_{rs},

Le paragraphe 8.5 s'applique sans modification.

10.8.6 Capacité de dissipation de chaleur de l'échantillon pour essai

Le paragraphe 8.6 s'applique sans modification.

10.8.7 Essais de fonctionnement des parafoudres

Le paragraphe 8.7 s'applique sauf pour ce qui suit:

10.8.7.2.4 Évaluation de l'essai

Remplacement du Paragraphe 8.7.2.4:

L'essai doit être considéré comme satisfait lorsque tous les critères suivants sont satisfaits:

- la récupération thermique a été démontrée;
- toute variation de la tension résiduelle à un courant nominal de décharge avant et après l'essai est de ± 5 %;
- les exigences suivantes sont satisfaites:
  - si le constructeur déclare que les résistances peuvent être extraites de l'échantillon pour essai, une inspection visuelle des résistances doit être faite et il doit être vérifié que l'essai n'a pas provoqué de perforation, contournement ou bris des résistances.
  - si le constructeur déclare que les résistances MO ne peuvent pas être extraites de l'échantillon pour essai pour effectuer un examen visuel, l'essai supplémentaire suivant doit être réalisé afin de s'assurer qu'aucun dommage ne s'est produit pendant l'essai:

    i) après la vérification de la résistance résiduelle à I_n, deux autres chocs de courant 8/20 avec I_n doivent être appliqués à l'échantillon. Le premier choc doit être appliqué à l'issue d'un délai suffisant permettant à l'échantillon de refroidir jusqu'à la température ambiante. Le second choc doit être appliqué entre 50 s et 60 s après le premier choc. Au cours des deux chocs, les oscillogrammes de la tension et du courant ne doivent présenter aucun signe de claquage. La variation de la tension résiduelle entre la mesure initiale et le dernier choc ne doit pas être supérieure à ± 5 %.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

10.8.8 Essai de la tension à fréquence industrielle en fonction du temps

Le paragraphe 8.8 s'applique, sauf pour ce qui suit:

10.8.8.5 Évaluation de l'essai

Remplacement du Paragraphe 8.8.5:

Un échantillon doit être considéré comme ayant satisfait à l'essai lorsque tous les critères suivants sont satisfaits:

- la récupération thermique a été démontrée;
- toute variation de la tension résiduelle à un courant nominal de décharge avant et après l'essai est de ± 5 %;
- les exigences suivantes sont satisfaites:
  - si le constructeur déclare que les résistances peuvent être extraites de l'échantillon pour essai, une inspection visuelle des résistances doit être faite et il doit être vérifié que l'essai n'a pas provoqué de perforation, contournement ou bris des résistances.
  - si le constructeur déclare que les résistances MO ne peuvent pas être extraites de l'échantillon pour essai pour effectuer un examen visuel, l'essai supplémentaire suivant doit être réalisé afin de s'assurer qu'aucun dommage ne s'est produit pendant l'essai:
    - i) après la vérification de la résistance résiduelle à I_n, deux chocs de courant 8/20 d'une amplitude produisant une densité de courant d'au moins 0,5 kA/cm² ou de deux fois la valeur I_n, selon la plus faible de ces deux valeurs, doivent être appliqués à l'échantillon. Le premier choc doit être appliqué à l'issue d'un délai suffisant permettant à l'échantillon de refroidir jusqu'à la température ambiante. Le second choc doit être appliqué entre 50 s et 60 s après le premier choc. Au cours des deux chocs, les oscillogrammes de la tension et du courant ne doivent présenter aucun signe de claquage.

La courbe publiée par le constructeur a été vérifiée lorsque l'ensemble des six échantillons a été soumis à l'essai à des tensions TOV et avec des durées correspondantes supérieures ou égales aux valeurs indiquées sur la courbe, et lorsque tous les échantillons ont satisfait aux critères d'évaluation. Tous les points d'essai doivent figurer sur la courbe.

10.8.9 Essais du dispositif de déconnexion des parafoudres

Le paragraphe 8.9 s'applique sans modification.

10.8.10 Essais de court-circuit

Le paragraphe 8.10 s'applique sauf pour ce qui suit:

10.8.10.2 Préparation des échantillons pour essai

Remplacement du Paragraphe 8.10.2:

En fonction du type de parafoudre et de la tension d'essai, des exigences différentes s'appliquent concernant le nombre d'échantillons pour essai, le début du passage du courant de court-circuit et l'amplitude de la première valeur de crête du courant de court-circuit. Le Tableau 8 donne un résumé de ces exigences qui sont expliquées plus en détail dans les paragraphes suivants.

Pour les essais à courant de forte amplitude, les échantillons pour essai doivent être constitués par l'élément de parafoudre le plus long utilisé pour la conception avec la tension

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

assignée la plus élevée de cet élément utilisée pour chaque conception de parafoudre différente.

Pour l'essai à courant de faible amplitude, l'échantillon pour essai doit être constitué par un élément de parafoudre avec la tension assignée la plus élevée de cet élément utilisée pour chaque conception de parafoudre différente.

La Figure 5 montre différents exemples d'éléments de parafoudre.

10.8.10.2.3 Parafoudres de «Conception B»

Remplacement du Paragraphe 8.10.2.3:

Aucune préparation spéciale n'est nécessaire. Des éléments de parafoudres normaux doivent être utilisés. Les éléments de parafoudre doivent être électriquement prédégradés par l'application d'une surtension à fréquence industrielle. La surtension doit être appliquée à des éléments d'essai complètement assemblés. Aucune modification physique ne doit être apportée aux éléments entre la prédégradation et l'essai au courant de court-circuit réel.

La surtension donnée par le constructeur doit être une tension supérieure à 1,15 fois U_C. La tension doit entraîner la défaillance du parafoudre en l'espace de (5 ± 3) min. Les résistances MO sont considérées comme ayant subi une dégradation lorsque la tension qui les traverse tombe en dessous de 10 % de la tension appliquée au départ. Le courant de court-circuit du circuit d'essai de prédégradation ne doit pas être supérieur à 30 A.

Le délai entre la prédégradation et l'essai de court-circuit assigné ne doit pas dépasser 15 min.

La prédégradation peut être obtenue en appliquant soit une source de tension soit une source de courant aux échantillons.

- Méthode avec la source de tension: Il convient que le courant initial soit normalement compris entre 5 mA/cm^2 et 10 mA/cm^2. Il convient que le courant de court-circuit soit normalement compris entre 1 A et 30 A. La source de tension n'a pas besoin d'être ajustée après son réglage initial, bien que de petits réglages puissent être nécessaires pour dégrader les résistances MO dans le délai imparti.
- Méthode avec la source de courant: Normalement, une densité de courant d'environ 15 mA/cm^2 avec une variation de ± 50 %, provoque une défaillance des résistances MO dans le délai imparti. Il convient que le courant de court-circuit soit normalement compris entre 10 A et 30 A. La source de courant n'a pas besoin d'être ajustée après son réglage initial, bien que de petits réglages puissent être nécessaires pour dégrader les résistances MO dans le délai imparti.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

Tableau 8 – Exigences d'essai concernant les parafoudres à enveloppe synthétique

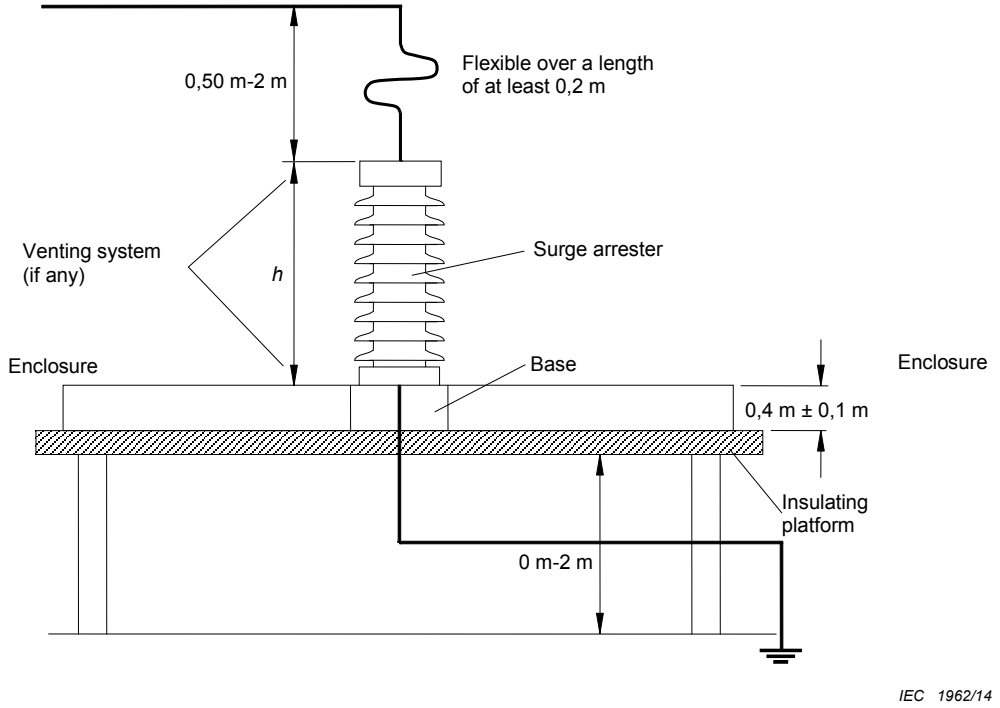
	Nombre d'échantillons pour essai exigé	Début du passage du courant de court-circuit	Rapport de la première valeur de crête de courant sur la valeur efficace du courant de court-circuit exigé selon le Tableau 7					
			Tension d'essai: 77 % à 107 % de U_r			Tension d'essai: < 77 % de U_r		
			Courant assigné de court-circuit	Courant de court-circuit réduit	Courant de court-circuit de faible amplitude	Courant assigné de court-circuit	Courant de court-circuit réduit	Courant de court-circuit de faible amplitude
«Conception A»	4 ou 5	Fil fusible le long de la surface des résistances MO, à l'intérieur ou le plus près possible du canal utilisé par le gaz	Présumé: ≥ 2,5 Réel: aucune exigence	Présumé: ≥ √2 Réel: aucune exigence	Réel: ≥ √2	Réel: ≥ 2,5 *ou*: Réel: ≥ √2 sur l'élément le plus long et Réel: ≥ 2,5 sur un élément avec U_r ≥ 150 kV	Réel: ≥ √2	Réel: ≥ $\sqrt{2}$
«Conception B»	4	Prédégradation par une source de courant ou de tension constante	Présumé: ≥ √2 Réel: aucune exigence	Présumé: ≥ √2 Réel: aucune exigence	Réel: ≥ √2	Réel: ≥ √2	Réel: ≥ √2	Réel: ≥ $\sqrt{2}$

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

10.8.10.3 Montage de l'échantillon pour essai

Remplacement du Paragraphe 8.10.3:

Pour un parafoudre monté sur embase, le dispositif de montage est représenté à la Figure 9. La distance entre le sol et la plate-forme isolante et les conducteurs doit être comme illustrée dans cette Figure.



Légende

Anglais	Français
Flexible over a length of a least 0,2 m	Souple sur une longueur d'au moins 0,2 m
Venting system (if any)	Évent de soufflage (le cas échéant)
Surge arrester	Parafoudre
Enclosure	Enceinte
Base	Embase
Insulating platform	Plate-forme isolante

NOTE Toutes les connexions et les évents de soufflage sont sur le même plan.

Figure 9 – Montage d'essai de court-circuit pour les parafoudres à enveloppe synthétique

Pour les parafoudres qui ne sont pas montés sur embase (par exemple, parafoudres montés sur poteau), l'échantillon pour essai doit être monté sur un poteau non métallique en utilisant des consoles de montage et des dispositifs normalement utilisés pour leur installation en service réel. Pour les besoins de l'essai, la console de montage doit être considérée comme faisant partie de l'embase du parafoudre. Dans les cas où cette configuration diffère des instructions du constructeur, le parafoudre doit être monté conformément aux recommandations d'installation du constructeur. La totalité du conducteur entre l'embase et le capteur de courant doit être isolée à au moins 1 000 V. L'extrémité supérieure de l'échantillon pour essai doit être équipée avec l'embase du parafoudre du même type ou d'un capot haut.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

Pour les parafoudres montés sur embase, la partie inférieure de l'échantillon pour essai doit être montée sur une embase d'essai de même hauteur qu'une enceinte circulaire ou carrée. L'embase d'essai doit être en matériau isolant ou peut être en matériau conducteur si ses dimensions de surface sont inférieures aux dimensions de surface de la partie inférieure du parafoudre. L'embase d'essai et l'enceinte doivent être placées au sommet d'une plate-forme isolante, comme représenté à la Figure 9. Pour les parafoudres qui ne sont pas montés sur embase, les mêmes exigences s'appliquent à la partie inférieure du parafoudre. La distance d'amorçage d'arc entre le capot d'extrémité supérieure et tout autre objet métallique (relié à la terre ou non), à l'exception de la base du parafoudre, doit être d'au moins 1,6 fois la hauteur du parafoudre échantillon, sans toutefois être inférieure à 0,9 m. L'enceinte doit être en matériau non métallique et elle doit être positionnée de façon symétrique par rapport à l'axe de l'échantillon pour essai. La hauteur de l'enceinte doit être de 40 cm ± 10 cm et son diamètre (ou son côté dans le cas d'une enceinte carrée) doit être égal à la valeur maximale de 1,8 m ou D dans l'équation (1) ci-dessous. Il ne doit pas être permis à l'enceinte de s'ouvrir ou de bouger au cours de l'essai.

$$D = 1{,}2 \times (2 \times H + D_{arr}) \qquad (1)$$

où

H est la hauteur de l'élément de parafoudre en essai;

D_{arr} est le diamètre de l'élément de parafoudre en essai.

Si les limites d'espace physique du laboratoire ne permettent pas une enceinte de la taille spécifiée, le constructeur peut choisir d'utiliser une enceinte d'un diamètre inférieur.

Les échantillons pour essai doivent être montés verticalement sauf accord contraire entre le constructeur et l'utilisateur.

Le montage du parafoudre au cours de l'essai de court-circuit et, plus spécifiquement, la disposition des conducteurs doivent représenter la condition la plus défavorable en service. Pour tous les parafoudres à enveloppe polymère, le conducteur de terre doit être dirigé dans le sens opposé du conducteur d'arrivée, comme décrit à la Figure 9. De cette manière, l'arc reste près du parafoudre pendant toute la durée du court-circuit, créant ainsi les conditions les plus défavorables en ce qui concerne le danger de feu.

10.8.10.4.3 Essai à courants de forte amplitude à une tension assignée inférieure à 77 %

Remplacement du Paragraphe 8.10.4.3:

Lorsque les essais sont réalisés avec une tension de circuit d'essai < 77 % de la tension assignée des échantillons pour essai, les paramètres du circuit d'essai doivent être ajustés de telle sorte que la valeur efficace de la composante symétrique du courant réel d'essai du parafoudre doit être égale ou supérieure au niveau de courant d'essai exigé choisi dans le Tableau 7.

Pour les parafoudres de «conception A» soumis aux essais à la valeur du courant assigné de court-circuit, la valeur de crête de la première demi-alternance du courant réel d'essai du parafoudre doit être d'au moins 2,5 fois la valeur efficace du courant assigné de court-circuit choisi dans le Tableau 7. La valeur efficace suivante de cette composante symétrique doit être égale ou supérieure au courant assigné de court-circuit. La valeur de crête du courant réel d'essai du parafoudre, divisée par 2,5, doit être notée comme courant d'essai, même si la valeur efficace de la composante symétrique du courant réel d'essai du parafoudre peut être plus élevée.

L'exception suivante concernant l'essai au courant assigné de court-circuit est valable pour les parafoudres de "Conception A" à enveloppe synthétique si la tension assignée de l'échantillon pour essai est supérieure à 150 kV et si une première valeur de crête égale à

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

≥2,5 fois le courant assigné de court-circuit ne peut pas être obtenue, un échantillon pour essai supplémentaire doit être soumis aux essais. Cet échantillon pour essai supplémentaire doit être soumis aux essais selon 8.10.4.2 ou 8.10.4.3. Il doit avoir une tension assignée de ≥150 kV et il ne doit également pas être plus court que l'élément de parafoudre le plus court utilisé pour la conception réelle du parafoudre. La valeur du courant assigné de court-circuit doit être la valeur la plus faible du courant efficace de l'essai sur l'élément le plus long et le courant efficace défini à partir des essais selon 8.10.2.2 ou 10.8.10.2.2 à partir de l'essai sur l'élément de tension assignée minimale de 150 kV. Les deux essais doivent être consignés.

Pour les parafoudres de «conception B» soumis aux essais à la valeur du courant assigné de court-circuit, la valeur de crête de la première demi-alternance du courant réel d'essai du parafoudre doit être d'au moins √2 fois la valeur efficace du courant assigné de court-circuit.

Pour tous les courants de court-circuit réduits, la valeur efficace doit être conforme au Tableau 7 et la valeur de crête de la première demi-alternance du courant réel d'essai du parafoudre doit être au moins égale à √2 fois la valeur efficace de ce courant.

Pour les parafoudres de grande taille en particulier, qui sont soumis aux essais à un pourcentage faible de leur tension assignée, le premier courant de crête asymétrique de 2,5 n'est pas facilement obtenu sauf si des possibilités spéciales d'essai sont envisagées. Il est donc possible d'augmenter la valeur efficace de la tension d'essai ou de réduire l'impédance de telle sorte que pour le courant assigné de court-circuit, la valeur de crête de la première demi-alternance du courant d'essai soit égale ou supérieure à 2,5 fois le niveau de courant d'essai exigé. Dans le cas d'un essai avec un générateur, la première valeur de crête de 2,5 fois le courant d'essai exigé peut également être obtenue en faisant varier l'excitation du générateur. Il convient que le courant soit ensuite réduit, pas moins de 2,5 alternances après le début de son passage, à la valeur symétrique exigée. Il convient de noter la valeur de crête réelle du courant d'essai, divisée par 2,5, comme courant d'essai, même si la valeur efficace de la composante symétrique du courant réel d'essai du parafoudre peut être plus élevée. En raison de ce courant d'essai supérieur, le parafoudre échantillon peut être soumis à des contraintes plus sévères, et par conséquent, il convient que les essais à un rapport X/R inférieur à 15 ne soient réalisés qu'avec l'accord du constructeur.

Pour les parafoudres de «conception B» à enveloppe polymère, même la première de crête du courant de√2 peut ne pas être facilement obtenue sauf si des installations spéciales d'essai particulières sont envisagées. Les parafoudres prédégradés peuvent produire une résistance d'arc considérable, ce qui limite le courant symétrique qui traverse le parafoudre. Il est par conséquent recommandé de réaliser les essais de court-circuit aussi tôt que possible après la prédégradation, de préférence avant refroidissement des échantillons pour essai.

Pour les parafoudres prédégradés, il est donc recommandé de s'assurer que le parafoudre présente une impédance suffisamment faible avant d'appliquer le courant de court-circuit en appliquant à nouveau la prédégradation ou de manière analogue, le circuit pendant une durée maximale de 2 s immédiatement avant l'application du courant de court-circuit d'essai (voir Figure 10). Il est acceptable d'augmenter le courant de court-circuit du circuit préappliqué jusqu'à 300 A (valeur efficace). S'il en est ainsi, sa durée maximale, qui dépend de l'amplitude de courant, ne doit pas dépasser la valeur suivante:

$$t_{rpf} \leq Q_{rpf} / I_{rpf}$$

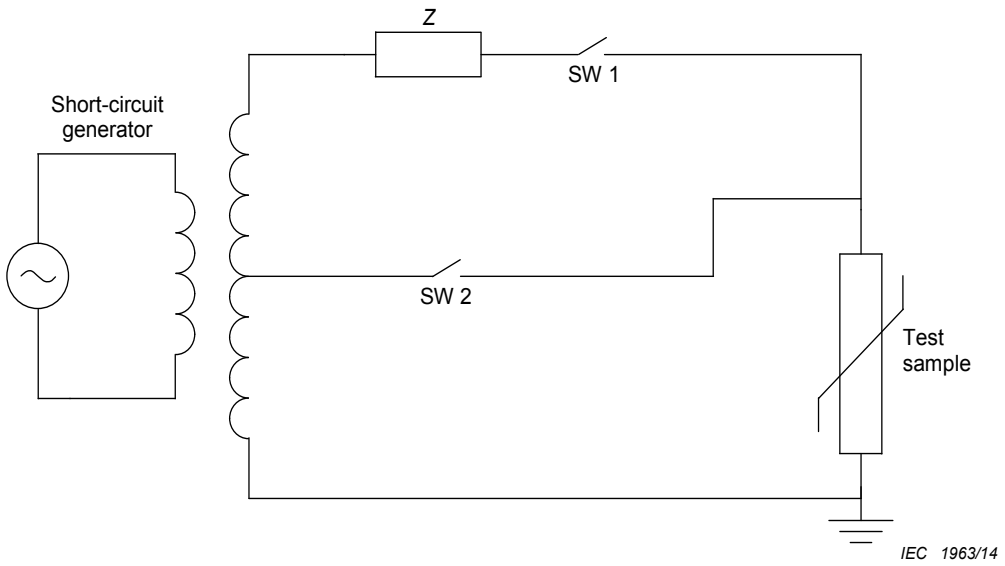
où

t_{rpf} est le temps de re-prédégradation, en s;

Q_{rpf} est la charge de re-prédégradation égale à 60 As;

I_{rpf} est le courant de re-prédégradation en A (valeur efficace).

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION



NOTE SW 1 est fermé et SW 2 est ouvert pour appliquer le niveau de prédégradation du courant (maximum de 30 A, limité par l'impédance *Z*). Après une durée maximale de 2 s, SW 2 est fermé pour que le courant de court-circuit spécifié traverse l'échantillon pour essai.

Légende

Anglais	Français
Short-circuit generator	Générateur de court-circuit
Test sample	Échantillon pour essai

Figure 10 – Exemple de circuit d'essai pour réappliquer le circuit prédégradé immédiatement avant l'application du courant d'essai de court-circuit

10.8.11 Essai de moment de flexion

Remplacement du Paragraphe 8.11:

Cet essai s'applique aux parafoudres à enveloppe synthétique (sauf les enveloppes en résine moulée) (avec et sans volume interne de gaz) pour U_s > 52 kV. Il s'applique également aux parafoudres à enveloppe synthétique (sauf les enveloppes en résine moulée) pour $U_s \leq$ 52 kV pour lesquels le constructeur revendique une résistance à la rupture en flexion. L'essai doit être réalisé sur le parafoudre sans embase isolante ou console de montage.

Les parafoudres à enveloppe en résine moulée doivent être soumis aux essais selon 8.11. Les parafoudres sans valeur déclarée de résistance à la rupture en flexion doivent être soumis au préconditionnement en torsion selon 10.8.12.3.1.1, au préconditionnement thermique selon 10.8.11.3.1.3 et à l'essai d'immersion dans l'eau selon 10.8.11.3.2.

L'ensemble de la procédure d'essai est présenté sur le logigramme à l'Annexe G.

10.8.11.1 Généralités

Cet essai démontre la capacité du parafoudre à résister aux valeurs des efforts de flexion déclarés par le constructeur. Normalement, un parafoudre n'est pas conçu pour supporter un effort de torsion. Si un parafoudre est soumis à des efforts de torsion, un essai particulier peut être nécessaire après accord entre le constructeur et l'utilisateur.

L'essai doit être réalisé sur des éléments de parafoudres finis avec la tension assignée la plus élevée de l'élément. Pour les parafoudres à un seul élément, l'essai doit être réalisé sur

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

l'élément le plus long de la gamme avec la tension assignée la plus élevée de cet élément de la gamme. Si un parafoudre comporte plus d'un élément ou s'il supporte des moments de flexion différents à chaque extrémité, l'essai doit être réalisé sur l'élément le plus long pour chacun des moments de flexion spécifiés, les charges étant déterminées selon M.1. Cependant, si la longueur de l'élément le plus long est supérieure à 800 mm, un élément plus court peut être utilisé, à condition de satisfaire aux exigences suivantes:

- la longueur est au moins égale à la valeur la plus grande de:
  - 800 mm
  - trois fois le diamètre extérieur de l'enveloppe (à l'exclusion des ailettes) à l'endroit où il pénètre les embouts d'extrémité;
- l'élément fait partie de la combinaison normale d'éléments utilisée dans la conception et n'est pas spécialement conçu pour l'essai;
- l'élément a la tension assignée la plus élevée de cet élément du modèle.

Un essai en trois étapes successives (deux étapes dans le cas des parafoudres dont la valeur $U_s \leq 52$ kV) doit être réalisé sur trois échantillons comme suit:

- sur les trois échantillons pour essai, un essai cyclique de 1 000 cycles avec une charge d'essai égale à l'effort à long terme spécifié (SLL);
- sur deux des échantillons, un essai de moment de flexion statique avec une charge d'essai égale à l'effort à court terme spécifié (SSL), c'est-à-dire 100 % de la valeur de G.3 et sur le 3ème échantillon, un essai de préconditionnement mécanique selon 10.8.11.3.1;
- sur l'ensemble des trois échantillons, un essai d'immersion dans l'eau selon 10.8.11.3.2.

La tolérance sur les charges spécifiées doit être de $^{+5}_{-0}$%.

NOTE L'essai cyclique n'est pas exigé pour les parafoudres d'une valeur $U_s \leq 52$ kV.

10.8.11.2 Préparation des échantillons

Les échantillons pour essai doivent contenir leurs éléments internes.

Avant l'essai, chaque échantillon pour essai doit être soumis aux essais suivants:

– des essais électriques réalisés dans l'ordre suivant:
  - des pertes de puissance mesurées à la valeur U_c et à une température ambiante de 20 °C ± 15 K;
  - un essai de décharges partielles internes selon le point c) de 9.1;
  - un essai de tension résiduelle à (0,01 à 1) fois le courant nominal de décharge; la forme d'onde du courant doit être dans la gamme de T_1/T_2 = (4 à 10)/(10 à 25) µs;
– des essais d'étanchéité conformément au point d) de 9.1 pour les parafoudres avec volume interne de gaz et système d'étanchéité séparé.

Si l'essai de décharge partielle selon le point c) de 9.1 et l'essai d'étanchéité selon le point d) de 9.1 ont été exécutés en tant qu'essais individuels de série, il n'est pas nécessaire de les recommencer cette fois.

Une extrémité de l'échantillon doit être solidement fixée à une surface de montage rigide de l'appareillage d'essai et une charge doit être appliquée à l'autre extrémité (libre) de l'échantillon, de manière à produire le moment de flexion exigé à l'extrémité fixe. La direction de la charge doit traverser l'axe longitudinal du parafoudre et lui être perpendiculaire. Si le parafoudre n'est pas axisymétrique par rapport à sa résistance à la flexion, le constructeur doit fournir des informations concernant cette résistance non symétrique et la charge doit être

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

appliquée selon un angle soumettant la partie la plus faible du parafoudre au moment de flexion maximum.

10.8.11.3 Procédure d'essai

L'essai doit être réalisé sur trois échantillons. Pour les parafoudres pour une valeur de U_s > 52 kV, l'essai est réalisé en trois étapes. Pour les parafoudres pour une valeur de $U_s \leq 52$ kV, l'essai est réalisé en deux étapes.

a) Parafoudres pour Us > 52 kV

Étape 1:

Soumettre les trois échantillons à 1 000 cycles de moment de flexion, chaque cycle comprenant une application de charge partant de zéro pour atteindre l'effort à long terme spécifié (SLL) dans une direction, suivie d'une application de charge pour atteindre le SLL dans la direction opposée, suivie d'un retour à une charge nulle. Le mouvement cyclique doit être de forme approximativement sinusoïdale et avoir une plage de fréquences de 0,01 Hz – 0,5 Hz.

Du fait de la commande de la machine d'essai, un certain nombre de cycles peut être nécessaire avant d'obtenir le SLL. Le nombre maximal de ces cycles doit être spécifié par le constructeur. Ces cycles ne doivent pas être comptabilisés dans les 1 000 cycles spécifiés.

La déformation maximale au cours de l'essai, ainsi que toute déformation résiduelle doivent être relevées. La déformation résiduelle doit être mesurée au cours de la période de 1 min à 10 min qui suit le relâchement de l'effort.

Étape 2.1:

Soumettre deux des échantillons de l'étape 1 à un essai de moment de flexion. L'effort de flexion doit être augmenté progressivement jusqu'à atteindre l'effort à court terme spécifié (SSL) sur une période de 30 s à 90 s. Lorsque la charge d'essai est atteinte, elle doit être maintenue pendant 60 s à 90 s. La déformation doit être mesurée pendant cette durée. La charge doit ensuite être relâchée progressivement.

La déformation maximale au cours de l'essai, ainsi que la déformation résiduelle doivent être relevées. La déformation résiduelle doit être mesurée au cours de la période de 1 min à 10 min qui suit le relâchement de l'effort.

Étape 2.2:

Soumettre le troisième échantillon de l'étape 1 au préconditionnement mécanique/thermique selon 10.8.11.3.1.

Étape 3:

Soumettre les trois échantillons à l'essai d'immersion dans l'eau selon 10.8.11.3.2.

b) Parafoudres pour $U_s \leq 52$ kV

Étape 1.1:

Soumettre deux échantillons à un essai de moment de flexion. L'effort de flexion doit être augmenté progressivement jusqu'à atteindre l'effort à court terme spécifié (SSL) sur une période de 30 s à 90 s. Lorsque la charge d'essai est atteinte, elle doit être maintenue pendant 60 s à 90 s. La déformation doit être mesurée pendant cette durée. La charge doit ensuite être relâchée progressivement.

La déformation maximale au cours de l'essai, ainsi que toute déformation résiduelle doivent être relevées. La déformation résiduelle doit être mesurée au cours de la période de 1 min à 10 min qui suit le relâchement de l'effort.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

Étape 1.2:

Soumettre un troisième échantillon au préconditionnement mécanique/thermique selon 10.8.11.3.1.

Étape 2:

Soumettre les trois échantillons à l'essai d'immersion dans l'eau selon 10.8.11.3.2.

10.8.11.3.1 Préconditionnement mécanique/thermique

Ce préconditionnement fait partie de la procédure d'essai de 10.8.11.3 et doit être réalisé sur l'un des échantillons pour essai définis en 10.8.11.3.

10.8.11.3.1.1 Préconditionnement en torsion

La torsion du parafoudre spécifiée par le constructeur doit être appliquée à l'échantillon pour essai pendant une durée de 30 s.

10.8.11.3.1.2 Préconditionnement thermomécanique

Cette partie de l'essai s'applique seulement aux parafoudres pour lesquels une résistance à la rupture en flexion est déclarée.

L'échantillon est soumis à l'effort à long terme spécifié (SLL) dans quatre directions et aux variations de température comme décrit à la Figure 11 et à la Figure 12.

Si, dans des applications particulières, d'autres charges sont essentielles, les charges correspondantes doivent être appliquées en lieu et place des précédentes. La durée totale d'essai et le cycle de température doivent rester inchangés.

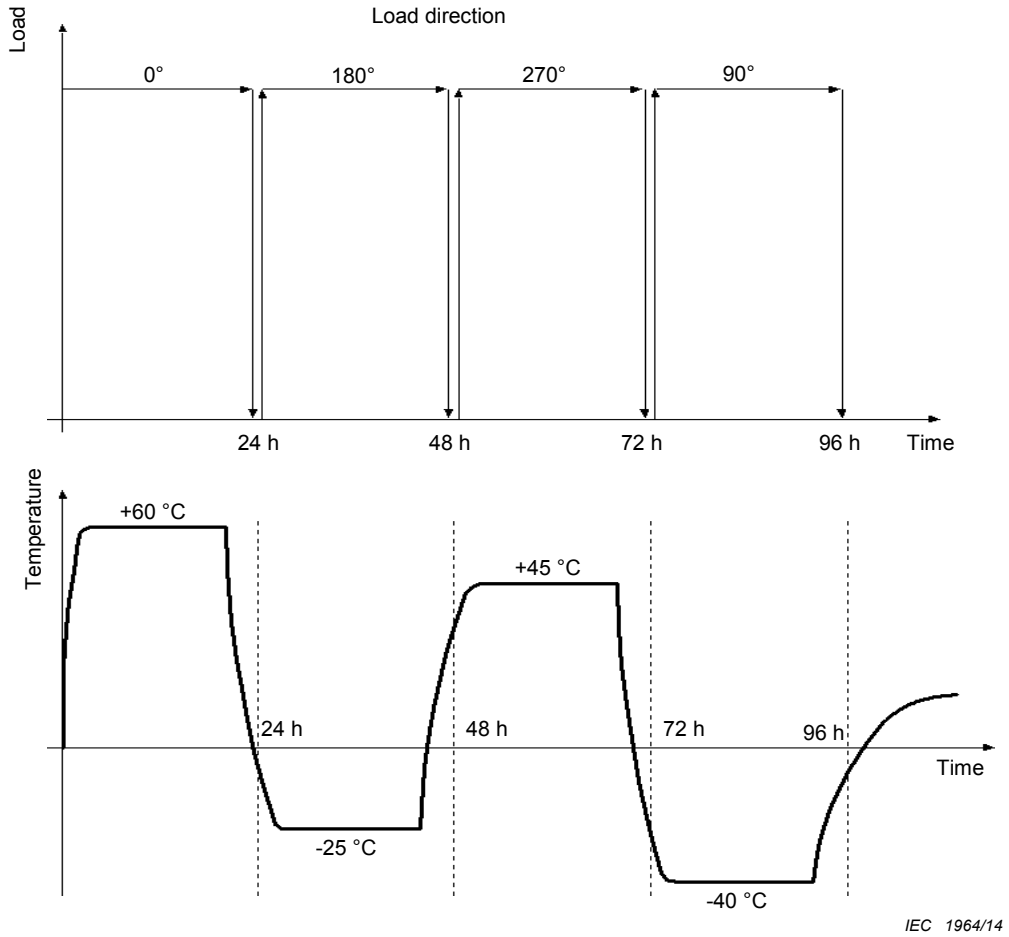
Les variations thermiques sont constituées de deux cycles de 48 h d'échauffement et de refroidissement comme cela est décrit à la Figure 11. La température doit être mesurée dans l'air environnant le parafoudre à l'intérieur de l'enceinte d'essai. La température des périodes chaudes et froides doit être maintenue pendant au moins 16 h. L'essai doit être réalisé à l'air libre.

L'effort mécanique statique appliqué doit être égal au SLL défini par le constructeur. Son orientation change toutes les 24 h à chacune des températures de transition du chaud au froid ou du froid au chaud, comme cela est décrit à la Figure 12.

L'essai peut être interrompu pour la maintenance pendant une durée totale de 4 h et être relancé après l'interruption. Le cycle reste valide.

Toute déformation résiduelle mesurée à partir de la position initiale au repos doit être relevée. La déformation résiduelle doit être mesurée au cours de la période de 1 min à 10 min qui suit le relâchement de l'effort.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

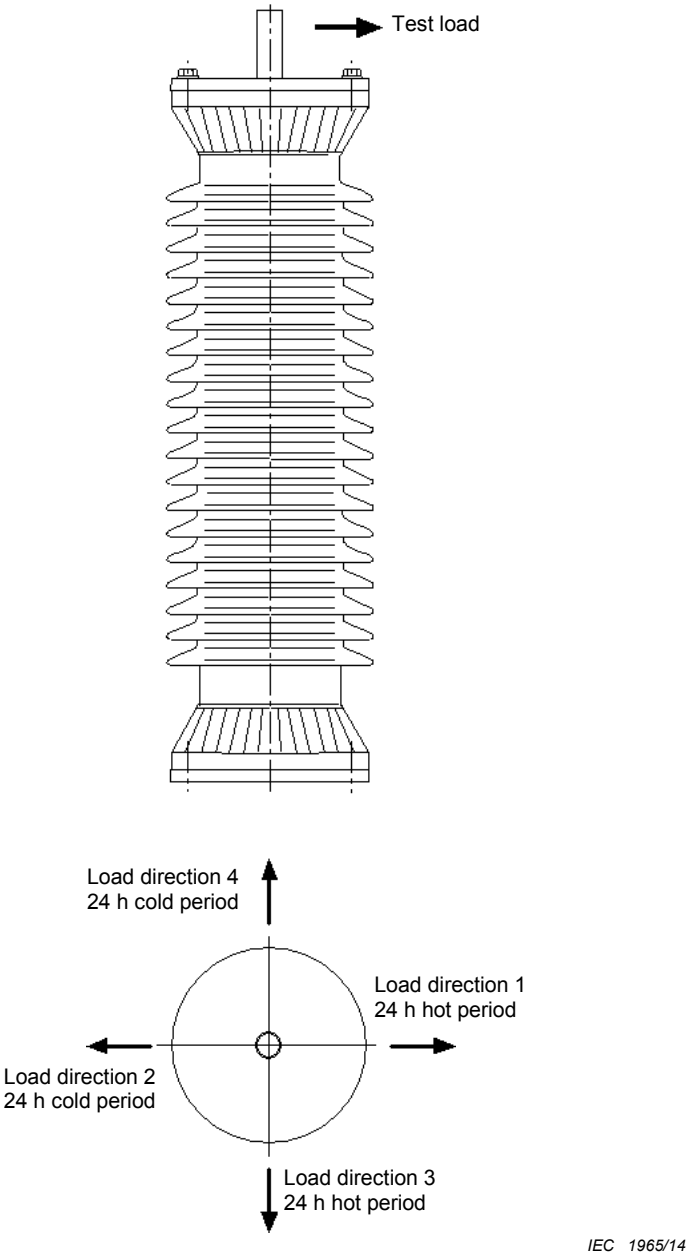


Légende

Anglais	Français
Load direction	Orientation de l'effort
Load	Effort
Temperature	Température
Time	Temps

Figure 11 – Essai thermomécanique

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION



Légende

Anglais	Français
Test load	Charge d'essai
Load direction	Orientation de l'effort
24 h cold period	Période froide de 24 h
24 h hot period	Période chaude de 24 h

Figure 12 – Exemple de configuration pour l'essai thermomécanique et orientation de l'effort de flexion

10.8.11.3.1.3 Préconditionnement thermique

Cette partie de l'essai s'applique seulement aux parafoudres pour lesquels aucune résistance à la rupture en flexion n'est déclarée.

L'essai est soumis aux variations thermiques décrites à la Figure 11 sans aucune charge appliquée.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

Les variations thermiques sont constituées de deux cycles de 48 h d'échauffement et de refroidissement comme cela est décrit à la Figure 11. La température des périodes chaudes et froides doit être maintenue pendant au moins 16 h. L'essai doit être réalisé à l'air libre.

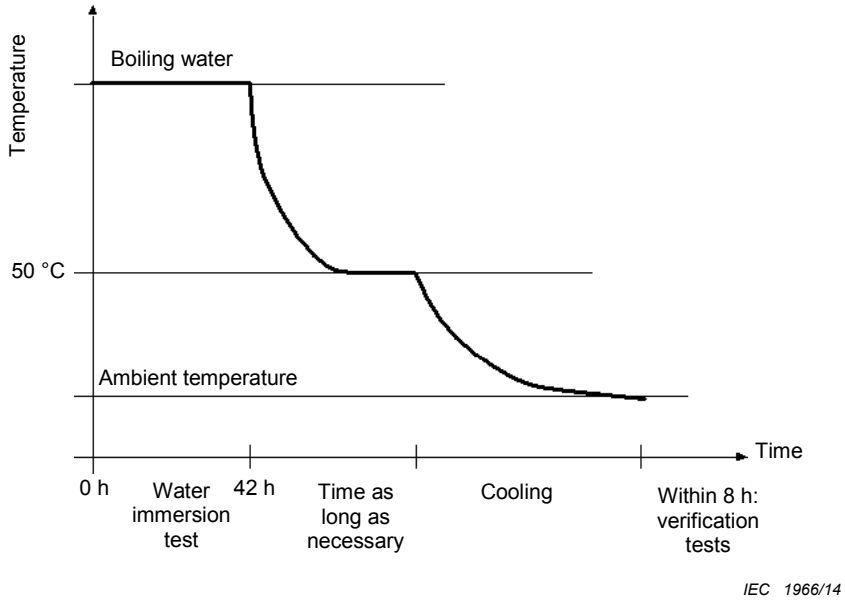
10.8.11.3.2 Essai d'immersion dans l'eau

Les échantillons pour essai doivent rester immergés pendant 42 h dans un récipient contenant de l'eau déminéralisée en ébullition, additionnée de 1 kg/m^3 de NaCl.

NOTE 1 Les caractéristiques de l'eau décrites ci-dessus sont celles mesurées en début d'essai.

NOTE 2 Cette température (eau en ébullition) peut être réduite à 80 °C (avec une durée minimale de 52 h) par accord entre l'utilisateur et le constructeur, si ce dernier indique que le matériau d'étanchéité utilisé n'est pas capable de résister à la température d'ébullition pendant 42 h. Cette valeur de 52 h peut être prolongée jusqu'à 168 h (c'est-à-dire une semaine) après accord entre le constructeur et l'utilisateur.

A la fin de l'ébullition, le parafoudre doit rester dans le récipient jusqu'à ce que l'eau refroidisse jusqu'à environ 50 °C et il doit être maintenu dans l'eau à cette température jusqu'à ce que les essais de vérification puissent être réalisés. On doit retirer le parafoudre de l'eau et le refroidir à la température ambiante en une durée maximale de trois constantes de temps thermiques de l'échantillon (issues des courbes de refroidissement de 10.8.6). La température de maintien de 50 °C n'est nécessaire que s'il y a lieu de reporter les essais de vérification à l'issue de l'essai d'immersion dans l'eau comme représenté à la Figure 13. Les essais d'évaluation doivent être réalisés dans le temps spécifié en 10.8.11.4. Après son retrait de l'eau, l'échantillon peut être lavé à l'eau du robinet.



Légende

Anglais	Français
Temperature	Température
Boiling water	Eau en ébullition
Ambient temperature	Température ambiante
Water immersion test	Essai d'immersion dans l'eau
Time as long as necessary	Durée aussi longue que nécessaire
Cooling	Refroidissement
Within 8 h	Dans un délai de 8 h
Verification tests	Essais de vérification
Time	Temps

Figure 13 – Immersion dans l'eau

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

10.8.11.4 Évaluation de l'essai

Les essais selon 10.8.12.2 doivent être répétés sur chaque échantillon pour essai.

Le parafoudre doit être considéré comme ayant satisfait à l'essai si les critères suivants sont satisfaits:

a) Parafoudres pour U_s > 52 kV

À l'issue de l'étape 2:

- il n'y a aucun dommage visible;
- la pente de la courbe effort-déformation demeure positive jusqu'à la valeur SSL, sauf pour des creux ne dépassant pas 5 % de l'amplitude du SSL. La fréquence d'échantillonnage des appareils de mesure numériques doit être d'au moins 10 s^{-1}. La fréquence de coupure des appareils de mesure ne doit pas être inférieure à 5 Hz.

La déformation maximale au cours des étapes 1 et 2, ainsi que toute déformation permanente résiduelle à l'issue de l'essai doivent être relevées.

À l'issue de l'étape 3:

- dans les 8 h qui suivent le refroidissement comme cela est décrit à la Figure 13:
  - l'augmentation des pertes de puissance, mesurée à U_c et à une température ambiante qui ne s'éloigne pas de plus de 3 K des mesures initiales, n'est pas supérieure à la valeur la plus élevée de 20 mW/kV de l'U_c (mesurée à la valeur U_c) ou 20 %;
  - la décharge partielle interne mesurée à 1,05 fois U_c ne dépasse pas 10 pC;
- à tout moment, à l'issue des mesures des pertes de puissance et des décharges partielles:
  - pour les parafoudres avec volume interne de gaz et système d'étanchéité séparé, les échantillons satisfont à l'essai d'étanchéité conformément au point d) de 9.1;
  - la tension résiduelle mesurée sur l'échantillon complet, à la même valeur de courant et de forme d'onde que la mesure initiale, ne s'écarte pas de plus de 5 % de la valeur initialement mesurée;
  - la différence de tension entre deux chocs successifs au courant nominal de décharge ne dépasse pas 2 %, et les oscillogrammes de la tension et du courant ne révèlent aucun claquage partiel ou total de l'échantillon pour essai. La forme de l'onde de courant doit être comprise entre T_1/T_2 = (4 à 10)/(10 à 25) µs, et les chocs doivent être administrés de 50 s à 60 s d'intervalle.
  - la variation de la tension de référence mesurée avant et après les deux essais de tension résiduelle ne dépasse pas 2 %.

NOTE 1 Dans le cas de parafoudres de très grande longueur dans lesquels les résistances peuvent être démontées, cette partie de l'essai d'évaluation peut être réalisée sur les résistances individuelles ou sur les colonnes de résistances. Si les résistances ne peuvent pas être démontées, une procédure possible consisterait à percer un trou dans l'isolation du parafoudre pour établir un contact avec la colonne interne au niveau d'une entretoise métallique et de cette manière être en mesure de soumettre des fractions plus courtes de parafoudres aux essais.

b) Parafoudres pour U_s ≤ 52 kV

À l'issue de l'étape 1:

- il n'y a aucun dommage visible;
- pour l'étape 1.1, la pente de la courbe effort-déformation demeure positive jusqu'à la valeur du SLL, sauf pour des creux ne dépassant pas 5 % de l'amplitude du SSL. La fréquence d'échantillonnage des appareils de mesure numériques doit être d'au moins

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

10 s^{-1}. La fréquence de coupure des appareils de mesure ne doit pas être inférieure à 5 Hz.

La déformation maximale au cours de l'étape 1 ainsi que toute déformation permanente résiduelle à l'issue de l'essai doivent être relevées.

À l'issue de l'étape 2:

- dans les 8 h qui suivent le refroidissement comme cela est décrit à la Figure 13:
  - l'augmentation des pertes de puissance, mesurée à U_c et à une température ambiante qui ne s'éloigne pas de plus de 3 K des mesures initiales, n'est pas supérieure à la valeur la plus élevée de 20 mW/kV de l'U_c (mesurée à la valeur U_c) ou 20 %;
  - la décharge partielle interne mesurée à 1,05 fois U_c ne dépasse pas 10 pC;
- à tout moment, à l'issue des mesures des pertes de puissance et des décharges partielles:
  - pour les parafoudres avec volume interne de gaz et système d'étanchéité séparé, les échantillons satisfont à l'essai d'étanchéité conformément au point d) de 9.1;
  - la tension résiduelle mesurée à la même valeur de courant et de forme d'onde que la mesure initiale, ne s'écarte pas de plus de 5 % de la valeur initialement mesurée;
  - la différence de tension entre deux chocs successifs au courant nominal de décharge ne dépasse pas 2 %, et les oscillogrammes de la tension et du courant ne révèlent aucun claquage partiel ou total de l'échantillon pour essai. La forme de l'onde de courant doit être comprise entre T_1/T_2 = (4 à 10)/(10 à 25) µs et les chocs doivent être administrés de 50 s à 60 s d'intervalle.
  - la variation de la tension de référence mesurée avant et après les deux essais de tension résiduelle ne dépasse pas 2 %.

NOTE 2 Dans le cas de parafoudres de très grande longueur dans lesquels les résistances peuvent être démontées, l'essai de tension résiduelle peut être réalisé sur les résistances individuelles ou sur les colonnes de résistances. Si les résistances ne peuvent pas être démontées, une procédure possible consisterait à percer un trou dans l'isolation du parafoudre pour établir un contact avec la colonne interne au niveau d'une entretoise métallique et de cette manière pour être en mesure de soumettre des sections plus courtes de parafoudres aux essais.

10.8.12 Essais d'environnement

Le paragraphe 8.12 ne s'applique pas.

10.8.13 Essai de mesure du taux de fuite

Le paragraphe 8.13 s'applique sauf pour ce qui suit:

10.8.13.1 Généralités

Remplacement du Paragraphe 8.13.1:

Cet essai s'applique aux parafoudres ayant un volume interne de gaz et un système d'étanchéité séparé. Cet essai démontre l'étanchéité aux gaz/à l'eau de l'assemblage complet du parafoudre. Il s'applique 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).

L'essai doit être réalisé sur un élément de parafoudre fini. 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.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

10.8.14 Essai aux tensions perturbatrices RF (RIV)

Le paragraphe 8.14 s'applique sans modification.

10.8.15 Essai de vérification de la tenue diélectrique des composants internes

Le paragraphe 8.15 s'applique sans modification.

10.8.16 Essai des éléments de répartition internes

Le paragraphe 8.16 s'applique sans modification.

Addition:

10.8.17 Essai de vieillissement climatique

10.8.17.1 Généralités

Cet essai comprend deux parties. Une partie consiste à évaluer l'effet de l'exposition du parafoudre au brouillard salin. L'autre partie consiste à évaluer l'effet de l'exposition du matériau de l'enveloppe à la lumière ultraviolette (UV).

10.8.17.2 Essai au brouillard salin

10.8.17.2.1 Éprouvettes

Cet essai 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.

10.8.17.2.2 Procédure d'essai

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 cm^2 doit être ménagée pour l'évacuation naturelle de l'air. Un turbodiffuseur ou un humidificateur d'ambiance de capacité constante doit être utilisé en guise d'atomiseur d'eau.

Le brouillard doit remplir l'enceinte et ne pas être dirigé directement sur l'éprouvette. Le diffuseur est 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.) pendant 1 s 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'éprouvette doit être nettoyée avec de l'eau déminéralisée avant le début de l'essai.

Elle doit être soumise à l'essai en position verticale. Un espace suffisant doit être ménagé entre le plafond, les parois de l'enceinte et l'éprouvette pour éviter toute perturbation du champ électrique. Ces informations doivent figurer dans les instructions d'installation publiées par le constructeur.

- Durée de l'essai 1 000 h
- Débit d'eau 0,4 l/h/m^3 ± 0,1 l/h/m^3
- Taille des gouttelettes 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

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

Le constructeur doit recommander une valeur initiale pour le taux de salinité de l'eau. Le débit d'eau est défini en litres par heure et par mètre cube du volume de l'enceinte d'essai. La recirculation de l'eau n'est pas admise. Des interruptions de l'essai dues à des contournements sont admises. Si plus d'un contournement se produit, la tension d'essai est coupée. Toutefois, la pulvérisation du brouillard salin doit être poursuivie jusqu'à rinçage du parafoudre à l'eau du robinet. Chaque interruption du brouillard salin ne doit pas dépasser 15 min. L'essai doit ensuite être repris avec une valeur plus faible du taux de salinité de l'eau. Si 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. Le nombre de contournements doit être noté et pris en compte dans l'évaluation de la durée de l'essai.

NOTE Dans cette plage de salinité, un taux de salinité plus faible peut augmenter la sévérité de l'essai. Un taux de salinité plus élevé augmente la probabilité de contournement, ce qui rend difficile la réalisation de l'essai sur des enveloppes de diamètre plus grand.

10.8.17.2.3 Évaluation de l'essai

L'essai est considéré comme positif si aucun cheminement ne se produit (voir l'IEC 62217), si les ailettes ou toute autre partie du revêtement externe ne sont pas entièrement transpercées par l'érosion, c'est-à-dire jusqu'au niveau du matériau suivant, si les ailettes et l'enveloppe ne sont pas perforées, si la tension de référence mesurée avant et après l'essai à la même température ambiante ± 3 K n'a pas baissé de plus de 5 % et si la mesure de décharges partielles réalisée avant et après l'essai est satisfaisante, c'est-à-dire que leur niveau ne doit pas dépasser 10 pC, comme cela est mesuré selon la procédure définie en 9.1 c).

10.8.17.3 Essai de résistance à la lumière ultraviolette

10.8.17.3.1 Procédure d'essai

Choisir trois éprouvettes de matériaux d'ailettes et d'enveloppes pour cet essai (marquage inclus, le cas échéant). Le matériau de l'enveloppe de l'isolateur doit être soumis à un essai de résistance à la lumière UV de 1 000 h en utilisant l'une des méthodes suivantes. Les marquages éventuels de l'enveloppe doivent être directement exposés à la lumière ultraviolette:

- Méthodes de la lampe à arc au xénon: Selon l'ISO 4892-1 et l'ISO 4892-2, en utilisant la méthode A sans périodes sombres, avec un cycle d'aspersion normalisé, des températures de corps noir normalisé/tableau noir de 65 °C et un éclairement énergétique d'environ 550 W/m^2
- Méthode à la lampe fluorescente UV: Selon l'ISO 4892-1 et l'ISO 4892-3, en utilisant une lampe fluorescente UV de type I, méthode d'exposition 1 ou 2.

NOTE Une révision de l'essai de résistance aux UV est actuellement à l'étude par le GT D1.14 du Cigré.

10.8.17.3.2 Évaluation de l'essai

Après l'essai, les marquages sur le matériau des ailettes ou de l'enveloppe doivent être lisibles; il n'est pas admis de dégradations de surface telles que fissures et zones bombées. En cas de doute concernant ces dégradations, il doit être effectué deux mesures de rugosité de la surface sur chacune des trois éprouvettes. La rugosité, R_z telle que définie dans l'ISO 4287, doit être mesurée sur une longueur d'échantillonnage d'au moins 2,5 mm. R_z ne doit pas dépasser 0,1 mm.

NOTE Les détails relatifs aux instruments de mesure de la rugosité de surface sont fournis dans l'ISO 3274.

10.9 Essais individuels de série

L'Article 9.1s'applique sans modification.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

11 Exigences d'essai pour les parafoudres sous enveloppe métallique à isolation gazeuse (parafoudres blindés)

Les Articles 1, 2, 5 et 7 s'appliquent en intégralité aux parafoudres sous enveloppe métallique à isolation gazeuse (parafoudres blindés). Nombre des exigences des Articles 3, 4 et 6 et nombre des essais spécifiés aux Articles 8 et 9 s'appliquent également sans modification aux parafoudres sous enveloppe métallique à isolation gazeuse (parafoudres blindés). En cas de variation, quelle qu'elle soit, par rapport aux exigences des Articles 3, 4, 6, 8 et 9, cette variation concerne les parafoudres sous enveloppe métallique à isolation gazeuse (parafoudres blindés).

11.1 Domaine d'application

L'Article 1 s'applique sans modification

11.2 Références normatives

L'Article 2 s'applique sans modification

11.3 Termes et définitions

L'article 3 s'applique, sauf pour ce qui suit.

11.3.26

Remplacement du Paragraphe 3.26:

3.26 enveloppe d'un parafoudre blindé
enceinte métallique externe du parafoudre qui est reliée à la terre et qui protège les éléments internes contre le milieu environnant

11.4 Identification et classification

L'article 4 s'applique, sauf pour ce qui suit.

11.4.1

Remplacement du Paragraphe 4.1:

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

- la tension de régime permanent;
- la tension assignée;
- la fréquence assignée, si elle diffère des fréquences normales (voir 5.2);
- le courant nominal de décharge;
- le courant assigné de court-circuit en kiloampères (kA). Pour les parafoudres pour lesquels aucune tenue en court-circuit n'est revendiquée, la marque «–» doit être indiquée;
- le nom du constructeur ou la marque de fabrique, le type et les repères d'identification du parafoudre complet;
- les repères d'identification de l'emplacement de l'élément dans l'assemblage (pour les parafoudres à plusieurs éléments uniquement);
- l'année de construction;

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

- le numéro de série (au moins pour les parafoudres dont les tensions assignées sont supérieures à 60 kV).
- la pression de gaz assignée pour l'isolation à 20 °C.
- Si la dimension de la plaque signalétique est suffisante, il convient d'y faire figurer également:
- les caractéristiques assignées de transfert de charges répétitives, Q_{rs}
- le niveau de tenue sous pollution de l'enceinte (voir l'IEC TS 60815-1).

11.5 Caractéristiques assignées normalisées et conditions de service

L'Article 5 s'applique sans modification.

11.6 Exigences

L'article 6 s'applique, sauf pour ce qui suit.

11.6.1 Tensions de tenue

Remplacement du Paragraphe 6.1:

a) Parafoudre monophasé

L'isolation entre les éléments internes et l'enveloppe métallique doit supporter les tensions suivantes lors des essais réalisés selon 11.8.2.

– la tension de tenue au choc de foudre du matériel à protéger ou le niveau de protection contre les chocs de foudre du parafoudre multipliés par 1,3, en retenant la plus faible de ces deux valeurs.

NOTE 1 Le facteur 1,3 couvre les courants de décharge dont la valeur est supérieure à celle du courant nominal. Les variations de conditions atmosphériques, telles que stipulées pour les parafoudres à enveloppe en porcelaine, ne sont pas applicables aux parafoudres blindés. Néanmoins, le facteur 1,3 est retenu afin d'assurer une sécurité supplémentaire.

– Pour les parafoudres sous 10 kA et 20 kA, destinés à être utilisés sur des réseaux de Us > 245 kV, la tension de tenue au choc de manœuvre du matériel à protéger ou le niveau de protection contre les chocs de manœuvre du parafoudre multipliés par 1,25, en retenant la plus faible de ces deux valeurs.

NOTE 2 Le facteur 1,25 couvre les courants de décharge dont la valeur est supérieure à celle du courant nominal. Les variations de conditions atmosphériques, telles que stipulées pour les parafoudres à enveloppe en porcelaine, ne sont pas applicables aux parafoudres blindés. Néanmoins, le facteur 1,25 est retenu afin d'assurer une sécurité supplémentaire.

– Pour les parafoudres sous 10 kA et 20 kA destinés à être utilisés sur des réseaux de $U_s \leq 245$ kV, la tension de tenue à fréquence industrielle du matériel à protéger ou la tension à fréquence industrielle ayant une valeur de crête égale au niveau de protection contre les chocs de manœuvre multipliée par 1,2, appliquée pendant 1 min, en retenant la plus faible de ces deux valeurs.

– Pour les parafoudres sous 2,5 kA et 5 kA, la tension de tenue à fréquence industrielle du matériel à protéger ou la tension de tenue à fréquence industrielle avec une valeur de crête égale au niveau de protection contre les chocs de foudre, appliquée pendant 1 min, en retenant la plus faible de ces deux valeurs.

b) Parafoudre triphasé

La tension de tenue diélectrique des parafoudres triphasés est donnée dans le Tableau 9 et le Tableau 10.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

Tableau 9 – Parafoudres blindés triphasés 10 kA et 20 kA – Tensions de tenue exigées

Tension kV	Type de tension de tenue	Essai	Commentaire
$U_s \leq 245$	Tension de tenue au choc de foudre	Phase-terre et entre phases: – tension de tenue du matériel à protéger (voir l'IEC 60071-1) ou – phase-terre: 1,3 × niveau de protection contre les chocs de foudre – entre phases: 1,3 × niveau de protection contre les chocs de foudre + $U_c \times \sqrt{2}$	en retenant la plus faible de ces deux valeurs.
	Tension de tenue à fréquence industrielle	Phase-terre et entre phases: – tension de tenue du matériel à protéger (voir l'IEC 60071-1) ou – phase-terre: $\hat{u}_{ac}$ = 1,2 × niveau de protection contre les chocs de manœuvre – entre phases: $\hat{u}_{ac}$ = 1,2 × niveau de protection contre les chocs de manœuvre + $U_c \times \sqrt{2}$	en retenant la plus faible de ces deux valeurs.
$U_s > 245$	Tension de tenue au choc de foudre	Phase-terre et entre phases: – tension de tenue du matériel à protéger (voir l'IEC 60071-1) ou – phase-terre: 1,3 × niveau de protection contre les chocs de foudre – entre phases: 1,3 × niveau de protection contre les chocs de foudre + $U_c \times \sqrt{2}$	en retenant la plus faible de ces deux valeurs.
	Tension de tenue au choc de manœuvre	Phase-terre et entre phases: – tension de tenue du matériel à protéger (voir l'IEC 60071-1) ou – phase-terre: 1,25 × niveau de protection contre les chocs de manœuvre – entre phases: 2,5 × niveau de protection contre les chocs de manœuvre	en retenant la plus faible de ces deux valeurs.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

Tableau 10 – Parafoudres blindés triphasés 2,5 kA et 5 kA – Tensions de tenue exigées

Type de tension de tenue	Essai	Commentaire
Tension de tenue au choc de foudre	Phase-terre et entre phases: – tension de tenue du matériel à protéger (voir l'IEC 60071-1) ou – phase-terre: 1,3 × niveau de protection contre les chocs de foudre – entre phases: 1,3 × niveau de protection contre les chocs de foudre + $U_c \times \sqrt{2}$	en retenant la plus faible de ces deux valeurs.
Tension de tenue à fréquence industrielle	Phase-terre et entre phases: – tension de tenue du matériel à protéger (voir l'IEC 60071-1) ou – phase-terre: $\hat{u}_{ac}$ = niveau de protection contre les chocs de foudre – entre phases: $\hat{u}_{ac}$ = niveau de protection contre les chocs de foudre + $U_c \times \sqrt{2}$	en retenant la plus faible de ces deux valeurs.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

11.6.13 Comportement aux courants de court-circuit

Remplacement du Paragraphe 6.13:

La conception des enceintes métalliques des parafoudres blindés doit répondre aux exigences des paragraphes 5.103 de l'IEC 62271-203:2011 ou 5.102 de l'IEC 62271-200:2011. Lorsque ces exigences sont satisfaites et lorsque l'enceinte du parafoudre est équipée du même limiteur de pression que l'appareillage connecté, aucun essai de court-circuit selon 8.10 n'est exigé.

Si le parafoudre comporte une enceinte interne séparée avec un limiteur de pression autre que celui de l'enveloppe métallique, 8.10 s'applique. Dans ce cas, il est nécessaire de réaliser un essai uniquement avec le courant assigné de court-circuit.

11.6.14 Dispositif de déconnexion

Le Paragraphe 6.14 ne s'applique pas.

11.6.15 Exigences pour les éléments de répartition internes

Le Paragraphe 6.15 ne s'applique pas.

11.7 Conditions générales des procédures d'essai

L'Article 7 s'applique sans modification

11.8 Essais de type (essais de conception)

11.8.1 Généralités

Amendement:

Les essais de type doivent être effectués comme défini à l'Article 8, sauf pour les modifications spécifiques indiquées ci-dessous (les numéros de la liste renvoient aux numéros contenus dans les lignes du Tableau 3):

1) essais de tenue diélectrique – voir 11.8.2.
6) essai de fonctionnement – voir 11.8.7.
8) Essais du dispositif de déconnexion des parafoudres – ne s'applique pas.
9) Essais de court-circuit – voir 11.8.10.
10) Essai de moment de flexion – ne s'applique pas.
11) Essais d'environnement – ne s'applique pas.
12) Essai de mesure du taux de fuite – ne s'applique pas
16) Essai des enveloppes sous pollution – ne s'applique pas

11.8.2 Essais de tenue diélectrique

Remplacement du Paragraphe 8.2:

11.8.2.1 Généralités

Ces essais démontrent la capacité de l'isolation à supporter les contraintes de tension exigées entre les éléments internes et l'enveloppe métallique, ainsi qu'entre phases dans le cas d'un parafoudre triphasé.

Les essais de tenue diélectrique doivent également assurer que tous les éléments internes sont soumis à l'essai au moins de la même façon par rapport aux contraintes les plus sévères

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

rencontrées en service. Un autre essai portant sur les éléments individuels peut donc s'avérer nécessaire pour vérifier la tension de tenue exigée (voir 11.8.2.5).

Pour les parafoudres monophasés, l'essai doit être réalisé sur le parafoudre complet dans lequel les résistances MO ont été remplacées par des pièces isolantes. Afin de maîtriser la répartition de tension dans le parafoudre, des éléments de répartition peuvent être utilisés en lieu et place 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 MO doivent être remplacées par des pièces isolantes. Afin de maîtriser la répartition de tension dans le parafoudre, des éléments de répartition peuvent être utilisés en lieu et place de pièces isolantes.

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 cas le plus défavorable et les résultats d'essai procurent une marge de sécurité.

Pendant les essais, le gaz isolant doit avoir la densité minimale spécifiée pour le parafoudre.

11.8.2.2 Essai de tension de tenue au choc de foudre

Les parafoudres doivent être soumis à une tension de choc de foudre normalisée selon l'IEC 60060-1.

a) Parafoudres monophasés

La tension d'essai doit être conforme à ce qui est spécifié en 11.6.1.

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 décharges disruptives, les critères d'acceptation du 6.2.4 et de l'IEC 62271-1:2007 doivent être remplis.

b) Parafoudres triphasés

La tension d'essai doit être conforme à ce qui est spécifié en 11.6.1.

Les essais doivent débuter sur l'isolation phase-terre. La tension d'essai est appliquée sur une seule phase, tandis que les 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 être effectué 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 que, pendant l'application de la tension de choc sur la deuxième phase, la tension à fréquence industrielle atteigne sa valeur de 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 décharges disruptives, les critères d'acceptation du 6.2.4 et de l'IEC 62271-1:2013 Éd. 1.0 doivent être remplis.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

11.8.2.3 Essai de tension de tenue au choc de manœuvre

Les parafoudres doivent être soumis à une tension de choc de manœuvre normalisée selon l'IEC 60060-1.

a) Parafoudres monophasés

La tension d'essai doit être conforme à ce qui est spécifié en 11.6.1.

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 décharges disruptives, les critères d'acceptation du 6.2.4 et de l'IEC 62271-1:2013 doivent être remplis.

b) Parafoudres triphasés

La tension d'essai doit être conforme à ce qui est spécifié en 11.6.1.

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 exigé.

Si un contournement se produit, ou est pressenti, 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 de crête au même instant. L'amplitude de chaque choc doit être égale à la moitié de la tension de tenue au choc de manœuvre exigée entre phases (essai entre phases selon l'IEC 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 que la valeur de crête du choc de manœuvre soit atteinte à la valeur de crête de la tension à fréquence industrielle en polarité opposée. La différence entre les tensions à l'instant où la valeur de crête du choc de manœuvre est atteinte doit être égale à la tension de tenue au choc de manœuvre exigée entre phases (essai sur isolation longitudinale selon l'IEC 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, 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 décharges disruptives, les critères d'acceptation de l'IEC 62271-203 et de l'IEC 62271-200 doivent être remplis.

11.8.2.4 Essai de tension de tenue à fréquence industrielle

a) Parafoudres monophasés

La tension d'essai doit être conforme à ce qui est spécifié en 11.6.1.

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 11.6.1.

Les essais doivent débuter sur l'isolation phase-terre. La tension d'essai est appliquée sur une seule phase, tandis que les 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. 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.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

En variante, 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 contre les chocs de manœuvre est appliquée à la seconde phase, tandis que la tension à fréquence industrielle à la tension U_c est appliquée à la troisième phase. Ceci est réalisé de manière à ce que, lors de l'application de la tension de choc à la seconde phase, la tension à fréquence industrielle atteigne sa valeur de 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.

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 décharges disruptives, les critères d'acceptation de l'IEC 62271-203 et de l'IEC 62271-200 doivent être remplis.

11.8.2.5 Essai de tenue de la partie active des parafoudres blindés

Pour un parafoudre blindé doté d'une partie active comprenant des éléments de résistances MO reliés électriquement en série mais disposés géométriquement en parallèle au moyen d'un matériau isolant, la capacité de tenue en tension du matériau isolant, la résistance de la structure de maintien, ainsi que l'isolation entre les colonnes de résistances MO doivent être soumises à essai.

L'essai doit être réalisé de façon que toutes les contraintes de tension possibles 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.

11.8.3 Essais de tension résiduelle

Le paragraphe 8.3 s'applique sans modification.

11.8.4 Essai de vérification de la stabilité à long terme sous une tension de régime permanent

Le paragraphe 8.4 s'applique sans modification.

11.8.5 Essai de vérification des caractéristiques assignées de transfert de charges répétitives, Q_{rs},

Le paragraphe 8.5 s'applique sans modification.

11.8.6 Capacité de dissipation de chaleur de l'échantillon pour essai

Le paragraphe 8.6 s'applique sans modification.

11.8.7 Essais de fonctionnement des parafoudres

Le paragraphe 8.7 s'applique sans modification.

11.8.8 Essai de la tension à fréquence industrielle en fonction du temps

Le paragraphe 8.8 s'applique sans modification.

11.8.9 Essais du dispositif de déconnexion des parafoudres

Le paragraphe 8.9 ne s'applique pas.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

11.8.10 Essais de court-circuit

Addition:

Le Paragraphe 8.10 s'applique si le parafoudre comporte une enceinte interne séparée avec un limiteur de pression autre que celui de l'enveloppe métallique. Dans le cas contraire, voir 11.6.13 pour les exigences d'essai.

11.8.11 Essai de moment de flexion

Le paragraphe 8.11 ne s'applique pas.

11.8.12 Essais d'environnement

Le paragraphe 8.12 ne s'applique pas.

11.8.13 Essai de mesure du taux de fuite

Le paragraphe 8.13 ne s'applique pas.

11.8.14 Essai aux tensions perturbatrices RF (RIV)

Le paragraphe 8.14 s'applique sans modification.

11.8.15 Essai de vérification de la tenue diélectrique des composants internes

Le paragraphe 8.15 s'applique sans modification.

11.8.16 Essai des éléments de répartition internes

Le paragraphe 8.16 s'applique sans modification.

11.9 Essais individuels de série

Addition:

Les essais individuels de série sur les parafoudres blindés doivent être réalisés selon 9.1.

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, comprenant la structure de maintien et les éléments de répartition.

Addition:

11.10 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 au choc ou à fréquence industrielle d'un appareillage à isolation gazeuse équipé de parafoudres, les parafoudres doivent être retirés ou rendus inopérants afin de permettre la réalisation de ces essais.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

12 Parafoudres débrochables et parafoudres pour prise

Les Articles 2, 4, 7 et 9 s'appliquent en intégralité aux parafoudres débrochables et aux parafoudres pour prise. Nombre des exigences des Articles 3, 5 et 6 et nombre des essais spécifiés à l'Article 8 s'appliquent également sans modification des parafoudres débrochables et des parafoudres pour prise. En cas de variation, quelle qu'elle soit, par rapport aux exigences des Articles 3, 5, 6 et 8, cette variation concerne les parafoudres débrochables et les parafoudres pour prise.

12.1 Domaine d'application

Remplacement de l'Article 1:

Cet article 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.

12.2 Références normatives

L'Article 2 s'applique sans modification

12.3 Termes et définitions

L'article 3 s'applique, sauf pour ce qui suit:

Remplacement du Paragraphe 3.26:

12.3.26 enveloppe d'un parafoudre débrochable ou d'un parafoudre pour prise

a) dans le cas d'un parafoudre débrochable: enceinte extérieure du parafoudre, isolée ou blindée par un matériau conducteur électrique, qui protège les éléments internes contre le milieu environnant

b) dans le cas d'un parafoudre pour prise: enceinte extérieure du parafoudre, isolée ou blindée par un matériau métallique ou synthétique conducteur électrique, qui est reliée à la terre et qui protège les éléments internes contre le milieu environnant

12.4 Identification et classification

L'Article 4 s'applique sans modification

12.5 Caractéristiques assignées normalisées et conditions de service

L'Article 5 s'applique sauf pour ce qui suit:

12.5.4 Conditions normales de service

Remplacement du Paragraphe 5.4:

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

a) La température ambiante de l'air dans l'environnement proche des parafoudres pour prise doit être comprise entre –40 °C et +65 °C.

b) La température maximale des parafoudres pour prise résultant de sources de chaleur à autoéchauffement et de sources de chaleur extérieures dans l'environnement proche du parafoudre ne doit pas dépasser +85 °C.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

NOTE Les effets d'un rayonnement solaire maximal (1,1 kW/m^2) sont pris en compte en préchauffant l'éprouvette lors des essais de type. D'autres sources de chaleur qui peuvent affecter l'utilisation du parafoudre ne sont pas prises en compte dans les conditions normales de service.

c) Altitude ne dépassant pas 1 000 m.

d) Fréquence de la source d'alimentation en courant alternatif comprise entre 48 Hz et 62 Hz au plus.

e) Tension à fréquence industrielle appliquée de façon continue entre les bornes du parafoudre ne dépassant pas sa tension de régime permanent.

f) Conditions mécaniques (à l'étude).

g) Conditions de pollution (aucune exigence actuellement).

12.6 Exigences

L'article 6 s'applique, sauf pour ce qui suit:

12.6.4 Décharges partielles internes

Dans des conditions normales de fonctionnement en environnement sec, les décharges partielles internes doivent être inférieures à un niveau susceptible de provoquer l'endommagement des parties internes. Ceci doit être démontré par des essais selon 12.8.17.

12.6.13 Comportement aux courants de court-circuit

Remplacement du Paragraphe 6.13:

Un parafoudre ne doit pas présenter de défaillance qui provoque une rupture explosive (voir 12.8.10). Le constructeur doit déclarer des caractéristiques assignées de courant de court-circuit pour chaque famille de parafoudres. La valeur assignée "zéro" peut être revendiquée uniquement pour les applications avec des courants de court-circuit prévus inférieurs à 1 kA. Dans ce cas, la valeur “0” doit être indiquée sur la plaque signalétique.

Tous les parafoudres débrochables ou pour prise doivent pouvoir résister à la défaillance de leurs résistances MO sans projection de pièces du parafoudre à travers leur enveloppe, sauf en des points spécifiquement prévus à cet effet.

12.7 Conditions générales d'exécution des essais

L'Article 7 s'applique sans modification

12.8 Essais de type (essais de conception)

12.8.1 Généralités

Amendement:

Les essais de type doivent être effectués comme défini à l'Article 8, sauf pour les modifications spécifiques indiquées ci-dessous (les numéros de la liste renvoient aux numéros contenus dans les lignes du Tableau 3):

1) Essais de tenue diélectrique – voir 12.8.2.

8) Essais du dispositif de déconnexion des parafoudres – ne s'applique pas.

9) Essais de court-circuit – voir 12.8.10.

10) Essai de moment de flexion – ne s'applique pas.

11) Essais d'environnement – ne s'applique pas.

12) Essai de mesure du taux de fuite – ne s'applique pas

16) Essai des enveloppes sous pollution – ne s'applique pas

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

De plus, l'essai suivant est à réaliser:

17) Essai de décharges partielles internes (voir 12.8.17)

12.8.2 Essais de tenue diélectrique

Le Paragraphe 8.2 s'applique avec les additions suivantes:

Addition:

12.8.2.9 Essais de tenue diélectrique des parafoudres débrochables non blindés

Pour les parafoudres débrochables non blindés où les distances d'isolement sont inférieures à celles spécifiées dans l'IEC 60071-2, trois échantillons doivent être montés dans une enceinte d'essai mise à la terre, comme cela est représenté à la Figure 14. L'essai doit être effectué sur les parafoudres 1 et 2 à condition que l'enceinte d'essai soit symétrique. Lorsque l'enceinte n'est pas symétrique, les trois parafoudres doivent tous être soumis à essai. Les dimensions minimales *a*, *b*, *c*, *d*, et *e* à respecter doivent être précisées dans la documentation d'accompagnement du parafoudre. Pour les parafoudres débrochables blindés, un essai monophasé est suffisant.

Les essais de tenue diélectrique peuvent être effectués sur des parafoudres comprenant les résistances MO. Dans ce cas, l'échantillon en essai doit être isolé de la terre. Au cours de l'essai de choc, le parafoudre situé à côté du parafoudre soumis aux essais doit être relié à la terre.

Les valeurs de tenue diélectrique doivent être conformes au Tableau 11.

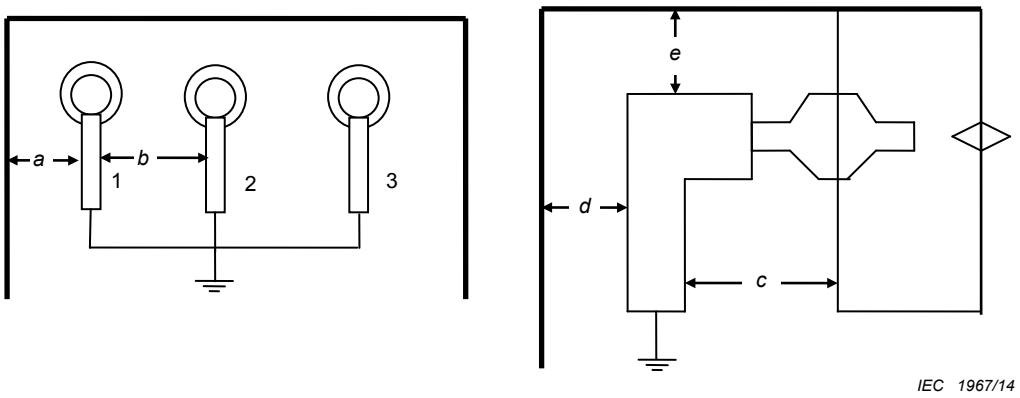


Figure 14 – Montage d'essai de tenue diélectrique des parafoudres débrochables non blindés

Tableau 11 – Tensions d'essai de tenue diélectrique des parafoudres débrochables non blindés

U_s kV	Essai de choc 1,2/50 en onde pleine kV (valeur de crête)	tension d'essai 50 Hz/60 Hz kV efficace
12	75	28
17,5	95	38
24	125	50
36	170	70
NOTE Les valeurs d'essai sont conformes à l'IEC 62271-1 et à l'IEC 60071-1 et, pour les autres valeurs de "tension maximale d'exploitation du matériel", utiliser les tensions d'essai de l'IEC 60071-1.		

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

12.8.2.10 Essais de tenue diélectrique de l'enveloppe blindée des parafoudres débrochables ou pour prise

Pour les parafoudres débrochables ou pour prise avec une enveloppe blindée, les résistances MO doivent être retirées et remplacées par un cylindre de métal de même diamètre extérieur que les résistances MO. La longueur du cylindre de métal ne doit pas être inférieure aux deux tiers de la longueur totale de la colonne de résistances MO. 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 valeurs de tenue diélectrique doivent être conformes au Tableau 11 ou au Tableau 12, selon l'application retenue.

Tableau 12 – Tensions d'essai de tenue diélectrique de l'enveloppe blindée des parafoudres débrochables ou pour prise

Classe d'isolement du réseau kV	Essai de choc 1,2/50 en onde pleine kV (valeur de crête)	tension d'essai 50 Hz/60 Hz kV (valeur efficace) appliquée pendant 1 min	tension d'essai continue kV appliquée 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.			

12.8.3 Essais de tension résiduelle

Le paragraphe 8.3 s'applique sans modification.

12.8.4 Essai de vérification de la stabilité à long terme sous une tension de régime permanent

Le paragraphe 8.4 s'applique sauf pour ce qui suit:

12.8.4.1 Procédure d'essai

Remplacement du Paragraphe 8.4.1:

Cet essai doit être réalisé sur trois échantillons typiques d'éléments de résistances MO avec une tension de référence satisfaisant aux exigences de 7.3. La tension à fréquence industrielle doit satisfaire aux exigences indiquées pour l'essai de fonctionnement (voir 8.7.1).

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

Pendant l'essai, les résistances MO doivent être placées dans une enceinte thermorégulée dans le même milieu environnant que celui utilisé dans le parafoudre. Le volume de l'enceinte doit correspondre au moins au double du volume de la résistance MO et la densité du milieu dans l'enceinte ne doit pas être inférieure à la densité du milieu dans le parafoudre.

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

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

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 vieillit 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 peut être effectué à l'air libre.

Les résistances MO doivent être chauffées à 115 °C ± 4 K et la puissance absorbée de ces dernières $P_{début}$ doit être mesurée à la tension de régime permanent maximale corrigée de U_{ct} (voir ci-dessous), dans un délai de 3 h ± 5 min après application de la tension. Les échantillons doivent être maintenus à cette tension pendant 1 000 h pour les parafoudres débrochables et pendant 2 000 h pour les parafoudres pour prise, périodes au cours desquelles la température de l'enceinte doit être régulée afin de maintenir la température de la surface de la résistance MO à 115 °C ± 4 K.

La puissance absorbée des résistances MO doit être mesurée à U_{ct} une fois toutes les 100 h après la première mesure et une mesure finale, P_{fin}, doit être effectuée après $1\,000^{+100}_{0}$ h de vieillissement pour les parafoudres débrochables ou après $2\,000^{+100}_{0}$ h de vieillissement pour les parafoudres pour prise.

Une mise hors tension intermédiaire accidentelle des échantillons pour essai est acceptable, à condition qu'elle ne dépasse pas une durée totale de 24 h pour toute la période d'essai. Cette interruption de l'essai n'est pas comptée dans le temps d'essai. Il convient d'effectuer la mesure finale après application d'une tension continue d'une durée au moins égale à 100 h. Dans la gamme de températures admise, toutes les mesures doivent être effectuées à la même température à ± 1 K.

La tension appropriée pour cet essai est la tension de service permanent maximale corrigée (U_{ct}), à laquelle sont soumises les résistances dans le parafoudre, en tenant compte des effets de déséquilibre de tension. Cette tension doit être déterminée par des calculs ou des mesures de répartition de la tension.

NOTE 2 Des informations sur les procédures utilisées pour les calculs de la répartition de tension sont données à l'Annexe F.

Pour les seuls parafoudres débrochables non blindés de longueur H inférieure à 1 m, 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).

12.8.5 Essai de vérification des caractéristiques assignées de transfert de charges répétitives, Q_{rs},

Le paragraphe 8.5 s'applique sans modification.

12.8.6 Capacité de dissipation de chaleur de l'échantillon pour essai

Le paragraphe 8.6 s'applique sans modification.

12.8.7 Essais de fonctionnement des parafoudres

Le paragraphe 8.7 s'applique sauf pour ce qui suit:

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

12.8.7.2.3 Essai de récupération thermique

Remplacement du Paragraphe 8.7.2.3:

La procédure suivante doit être appliquée pour la partie de l'essai dédiée à la récupération thermique:

- Les échantillons pour essai complets doivent être préchauffés à une température au moins égale à la température initiale, comme suit:
  - pour les parafoudres débrochables non blindés: température initiale = 60 °C
- pour les parafoudres débrochables blindés: température initiale = 85 °C

  Le préchauffage ne doit pas durer plus de vingt heures.
- La température des résistances MO doit correspondre au moins à la température initiale immédiatement avant l'injection de l'énergie ou le transfert de charge.
- Chaque échantillon doit être soumis à une injection d'énergie ou un transfert de charge, administrés sous la forme de deux chocs de courant de foudre 8/20 dans un délai de une minute, dont l'amplitude est suffisante de façon à ce que la charge cumulée soit au moins égale aux caractéristiques assignées revendiquées de transfert de charges thermiques sélectionnées dans la liste donnée dans le Tableau 5.
- Dans un délai de 100 ms suivant l'application de l'énergie ou de la charge, une tension égale à la tension assignée U_r doit être appliquée pendant 10 s et par la suite une tension égale à la tension de régime permanent U_c (si nécessaire ajustée ultérieurement selon 7.3) doit être appliquée pendant 30 minutes au minimum afin de démontrer la stabilité thermique. La composante résistive de la dissipation de courant ou de la puissance absorbée, la température ou toute combinaison de ces éléments doivent être surveillées jusqu'à la réduction conséquente de la valeur mesurée (réussite), mais pendant au moins 30 minutes, ou jusqu'à la présence évidente d'un emballement thermique (échec).

12.8.8 Essai de tension à fréquence industrielle en fonction du temps

Le paragraphe 8.8 s'applique sans modification.

12.8.9 Essais du dispositif de déconnexion

Le paragraphe 8.9 ne s'applique pas.

12.8.10 Essai de court-circuit

Amendement:

Tous les parafoudres doivent être soumis à un essai de court-circuit selon 8.10 pour montrer que le parafoudre ne connaît pas de défaillance telle qu'elle occasionne une rupture explosive de l'enveloppe. Les modifications de 8.10 qui sont applicables aux parafoudres débrochables ou pour prise sont les suivantes.

NOTE Des procédures d'essai de court-circuit revues destinées aux parafoudres débrochables et pour prise sont à l'étude.

12.8.10.1 Généralités

Remplacement du Paragraphe 8.10.1:

Tous les parafoudres doivent être soumis à essai. Le but de l'essai est de montrer qu'une défaillance du parafoudre n'est pas susceptible d'en provoquer la rupture explosive.

Chaque conception de parafoudre est soumise à essai avec deux ensembles de valeurs du courant de court-circuit selon le Tableau 7:

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

- les courants de court-circuit de forte amplitude, comprenant le courant assigné de court-circuit et deux courants réduits de court-circuit, le cas échéant;
- le courant de court-circuit de faible amplitude.

NOTE Il existe deux principaux types de conception de parafoudre différents eu égard à leur comportement aux courants de court-circuit.

Un premier type de parafoudres utilise la surpression interne qui est générée par l'arc interne dû au court-circuit des éléments du parafoudre. Cette surpression est créée par l'échauffement d'un volume interne de gaz ou de liquide qui se dilate et provoque ainsi l'éclatement ou l'ouverture d'un limiteur de pression (dans ce cas, les essais sont parfois appelés «essais du limiteur de pression»). L'enveloppe du parafoudre n'est pas censée se rompre avant la relaxation de la surpression.

Un autre type de parafoudres, habituellement de nature compacte et sans aucun volume interne de gaz ou de liquide, ne possède pas de limiteur de pression. Le comportement aux courants de court-circuit de ce modèle dépend alors de la façon dont l'arc parvient à brûler ou à déchirer l'enveloppe du parafoudre.

Si le parafoudre est équipé d'un dispositif se substituant à un limiteur de pression conventionnel, il convient que ce dispositif soit utilisé pour les essais.

Pour les essais de court-circuit aux courants assignés et réduits, les méthodes de préparation des échantillons pour essai dépendent de la conception du parafoudre. Dans le cas d'un parafoudre équipé d'un limiteur de pression, les résistances MO actives sont court-circuitées par un fil fusible externe. Dans le cas d'un parafoudre sans limiteur de pression, les résistances MO actives peuvent être soit prédégradées par l'application d'une surtension, soit court-circuitées par un fil fusible interne placé dans un trou agencé à cet effet.

Pour l'essai de court-circuit au courant de faible amplitude, les résistances MO actives sont prédégradées par l'application d'une surtension.

Il convient que la fréquence de la source délivrant les courants de court-circuit ne soit pas inférieure à 48 Hz ni supérieure à 62 Hz.

Après accord entre le constructeur et l'utilisateur, des cycles de réenclenchement peuvent être appliqués en utilisant une procédure et des critères d'essais mutuellement acceptés.

Tous les parafoudres débrochables ou pour prise doivent pouvoir résister à la défaillance de leurs résistances MO sans projection de pièces du 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 selon 8.10.2 ou 10.8.10.2 selon ce qui est approprié au modèle.

12.8.10.3 Montage de l'échantillon pour essai

Remplacement du Paragraphe 8.10.3:

Les éprouvettes de parafoudres pour prise doivent être montées 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 au 10.2.3 de l'IEC 62271:2006.

12.8.10.6 Évaluation des résultats d'essai

Remplacement du Paragraphe 8.10.6:

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

On doit considérer que le parafoudre n'a pas satisfait à cet essai s'il se produit une rupture explosive de l'enveloppe avec projection de parties du parafoudre à travers son enveloppe. La projection de parties du parafoudre, y compris les résistances MO par le fond avec dégagement du capot inférieur ou par d'autres points spécifiquement prévus à cet effet est acceptable.

Le parafoudre doit être capable d'autoéteindre les flammes nues dans un délai de 2 min après l'essai. Il faut que toute partie éjectée (dans ou hors de l'enceinte) autoéteigne également les flammes nues dans un délai de 2 min.

NOTE Ce comportement peut être très différent de celui des parafoudres AIS. On peut consulter les constructeurs concernant les recommandations spéciales d'installation.

12.8.11 Essai de moment de flexion

Le paragraphe 8.11 ne s'applique pas.

12.8.12 Essais d'environnement

Le paragraphe 8.12 ne s'applique pas.

12.8.13 Essai de mesure du taux de fuite

Le paragraphe 8.13 ne s'applique pas.

12.8.14 Essai aux tensions perturbatrices RF (RIV)

Le paragraphe 8.14 s'applique sans modification.

12.8.15 Essai de vérification de la tenue diélectrique des composants internes

Le paragraphe 8.15 s'applique sans modification.

12.8.16 Essai des éléments de répartition internes

Le paragraphe 8.16 s'applique sans modification.

12.8.17 Essai 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 pour essai peut être protégé contre les décharges partielles externes.

NOTE Il convient que la protection contre les décharges partielles externes ait des effets négligeables sur la répartition de tension.

Les tensions d'essai et les niveaux d'extinction doivent être conformes au Tableau 13.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

Tableau 13 – Valeurs de l'essai de décharges partielles pour les parafoudres débrochables et les parafoudres pour prise

Parafoudres débrochables		Parafoudres pour prise	
U_s kV	Tension d'essai de décharges partielles (niveau d'extinction) kV (efficace)[a]	Classe d'isolement du réseau kV	Tension d'essai de décharges partielles (niveau d'extinction) kV (efficace)
12	12	15	11
17,5	17,5	25	19
24	24	35	26
36	36	-	-

[a] Si U_c est inférieure à la tension maximale d'exploitation du matériel, la tension d'essai doit être 1,05 fois U_c.

12.9 Essais individuels de série et essais de réception

L'Article 9 s'applique sans modification

13 Parafoudres immergés

Les Articles 2, 4, 7 et 9 s'appliquent en intégralité aux parafoudres immergés. Nombre des exigences des Articles 3, 5 et 6 et nombre des essais spécifiés à l'Article 8 s'appliquent également sans modification des parafoudres immergés. En cas de variation, quelle qu'elle soit, par rapport aux exigences des Articles 3, 5, 6 et 8, cette variation concerne les parafoudres immergés.

13.1 Domaine d'application

Remplacement:

Cet article s'applique aux parafoudres conçus pour être immergés dans un liquide isolant. Il ne s'applique pas à des appareils non soumis à la tension de régime du système (par exemple, les dispositifs montés sur des changeurs de prises). Ces appareils ne sont pas des parafoudres.

13.2 Références normatives

L'Article 2 s'applique sans modification.

13.3 Termes et définitions

L'article 3 s'applique, sauf pour ce qui suit:

13.3.26

Remplacement du Paragraphe 3.26:

3.26 enveloppe d'un parafoudre immergé
enceinte à isolation électrique extérieure du parafoudre, qui protège les éléments internes contre le milieu environnant

13.4 Identification et classification

L'Article 4 s'applique sans modification.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

13.5 Caractéristiques assignées normalisées et conditions de service

L'Article 5 s'applique sauf pour ce qui suit:

13.5.4.1 Conditions normales de service

Remplacement du Paragraphe 5.4.1:

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

a) La température du liquide ambiant à proximité immédiate des parafoudres immergés doit être comprise entre –40 °C et +95 °C.

b) La valeur moyenne journalière de la température maximale du liquide isolant ambiant ne doit pas dépasser +120 °C.

c) Fréquence de la source d'alimentation en courant alternatif comprise entre 48 Hz et 62 Hz au plus.

d) Tension à fréquence industrielle appliquée de façon continue entre les bornes du parafoudre ne dépassant pas sa tension de régime permanent.

e) Conditions mécaniques (aucune exigence actuellement).

13.6 Exigences

L'Article 6 s'applique, sauf pour ce qui suit:

13.6.13 Comportement aux courants de court-circuit

Remplacement du Paragraphe 6.13:

Un parafoudre ne doit pas présenter de défaillance qui provoque une rupture explosive (voir 13.8.10). Le constructeur doit déclarer des caractéristiques assignées de courant de court-circuit pour chaque famille de parafoudres. La valeur assignée "zéro" peut être revendiquée uniquement pour les applications avec des courants de court-circuit prévus inférieurs à 1 kA. Dans ce cas, la valeur "0" doit être indiquée sur la plaque signalétique.

Si un courant assigné de défaillance en circuit ouvert est revendiqué, les essais doivent être effectués au plus bas niveau de courant revendiqué.

Si un courant assigné de défaillance en court-circuit est revendiqué, les essais doivent prendre en compte le plus haut niveau de courant revendiqué.

13.7 Conditions générales d'exécution des essais

L'Article 7 s'applique sans modification.

13.8 Essais de type (essais de conception)

13.8.1 Généralités

Amendement:

Les essais de type doivent être effectués comme défini à l'article 8, sauf pour les modifications spécifiques indiquées ci-dessous (les numéros de la liste renvoient aux numéros contenus dans les lignes du Tableau 3):

1) Essais de tenue diélectrique – voir 13.8.2.

8) Essais du dispositif de déconnexion des parafoudres – ne s'applique pas.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

9) Essais de court-circuit – voir 13.8.10.

10) Essai de moment de flexion – ne s'applique pas.

11) Essai d'environnement – ne s'applique pas.

12) Essai de mesure du taux de fuite – ne s'applique pas

16) Essais sous pollution artificielle de l'Annexe C – ne s'applique pas.

Lorsque les essais sur parafoudres immergés sont à réaliser dans un liquide isolant, ce liquide doit être celui qui est utilisé dans le matériel protégé.

13.8.2 Essais de tenue diélectrique

Le paragraphe 8.2 s'applique, sauf pour ce qui suit:

13.8.2.1 Généralités

Remplacement du Paragraphe 8.2.1:

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

Les essais doivent être effectués dans les conditions et sous les tensions d'essai spécifiées au 6.1 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.

Les essais de tenue diélectrique des parafoudres immergés doivent être effectués avec le liquide isolant à température ambiante.

13.8.2.5 Procédure d'essai de résistance à l'humidité

Remplacement du Paragraphe 8.2.5:

Les essais de résistance à l'humidité selon la procédure donnée dans l'IEC 60060-1 ne s'appliquent pas aux parafoudres immergés

13.8.3 Essais de tension résiduelle

Le paragraphe 8.3 s'applique sans modification.

13.8.4 Essai de vérification de la stabilité à long terme sous une tension de régime permanent

Le paragraphe 8.4 s'applique sauf pour ce qui suit:

13.8.4.1 Procédure d'essai

Remplacement du Paragraphe 8.4.1:

Cet essai doit être réalisé sur trois échantillons typiques d'éléments de résistances MO avec une tension de référence satisfaisant aux exigences de 7.3. La tension à fréquence industrielle doit satisfaire aux exigences indiquées pour l'essai de fonctionnement (voir 8.7.1).

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

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

Pendant l'essai, les résistances MO doivent être placées dans une enceinte thermorégulée dans le même milieu environnant que celui utilisé dans le parafoudre. Le volume de l'enceinte doit correspondre au moins au double du volume de la résistance MO et la densité du milieu dans l'enceinte ne doit pas être inférieure à la densité du milieu dans le parafoudre.

Si le constructeur peut prouver que l'essai effectué à l'air libre est équivalent à celui effectué dans le milieu réel, l'essai de vieillissement peut être effectué à l'air libre.

Les résistances MO doivent être chauffées à 115 °C ± 4 K et la puissance absorbée de ces dernières $P_{\text{début}}$ doit être mesurée à la tension de régime permanent maximale corrigée de U_{ct} (voir ci-dessous), dans un délai de 3 h ± 5 min après application de la tension. Les échantillons doivent être maintenus à cette tension pendant 7 000 h, période au cours de laquelle la température de l'enceinte doit être régulée afin de maintenir la température de la surface de la résistance MO à 115 °C ± 4 K. Le temps d'essai peut être réduit à 2 000 h au maximum selon un accord entre le constructeur et l'utilisateur. Cela peut être réalisé en mesurant la puissance absorbée par la résistance MO 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.

La puissance absorbée des résistances MO doit être mesurée à la tension U_{ct} à des intervalles de 100 h au plus après la première mesure, et une mesure finale, P_{finale}, doit être effectuée après une période de 1 000 $^{+100}_{0}$ h de vieillissement. Lorsqu'un temps d'essai réduit est utilisé, la valeur finale, P_{fin}, doit être déterminée par extrapolation pour 7000 h comme cela est décrit dans l'alinéa précédent. La puissance absorbée la plus faible obtenue pendant la période d'essai doit être désignée comme période P_{min} (voir Figure 1).

Une mise hors tension intermédiaire accidentelle des échantillons pour essai est acceptable, à condition qu'elle ne dépasse pas une durée totale de 24 h pour toute la période d'essai. Cette interruption de l'essai n'est pas comptée dans le temps d'essai. Il convient d'effectuer la mesure finale après application d'une tension continue d'une durée au moins égale à 100 h. Dans la gamme de températures admise, toutes les mesures doivent être effectuées à la même température à ± 1 K.

La tension appropriée pour cet essai est la tension de service permanent maximale corrigée (U_{ct}), à laquelle sont soumises les résistances dans le parafoudre, en tenant compte des effets de déséquilibre de tension. Cette tension doit être déterminée par des calculs ou des mesures de répartition de la tension.

NOTE Des informations sur les procédures utilisées pour les calculs de la répartition de tension sont données à l'Annexe F.

13.8.5 Essai de vérification des caractéristiques assignées de transfert de charges répétitives, Q_{rs},

Le paragraphe 8.5 s'applique sans modification.

13.8.6 Capacité de dissipation de chaleur de l'échantillon pour essai

Le paragraphe 8.6 s'applique sans modification.

13.8.7 Essais de fonctionnement des parafoudres

Le paragraphe 8.7 s'applique sauf pour ce qui suit

13.8.7.2.3 Essai de récupération thermique

Remplacement du Paragraphe 8.7.2.3:

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

La procédure suivante doit être appliquée pour la partie de l'essai dédiée à la récupération thermique:

- Les échantillons pour essai complets doivent être préchauffés à une température au moins égale à 120 °C;

  Le préchauffage ne doit pas durer plus de vingt heures.
- La température des résistances MO doit correspondre au moins à la température initiale immédiatement avant l'injection de l'énergie ou le transfert de charge.
- Chaque échantillon doit être soumis à une injection d'énergie ou un transfert de charge, administrés sous la forme de deux chocs de courant de foudre 8/20 dans un délai de une minute, dont l'amplitude est suffisante de façon à ce que la charge cumulée soit au moins égale aux caractéristiques assignées revendiquées de transfert de charges thermiques sélectionnées dans la liste donnée dans le Tableau 5.
- Dans un délai de 100 ms suivant l'application de l'énergie ou de la charge, une tension égale à la tension assignée U_r doit être appliquée pendant 10 s et par la suite une tension égale à la tension de régime permanent U_c (si nécessaire ajustée ultérieurement selon 7.3) doit être appliquée pendant 30 minutes au minimum afin de démontrer la stabilité thermique. La composante résistive de la dissipation de courant ou de la puissance absorbée, la température ou toute combinaison de ces éléments doivent être surveillées jusqu'à la réduction conséquente de la valeur mesurée (réussite), mais pendant au moins 30 minutes, ou jusqu'à la présence évidente d'un emballement thermique (échec).

13.8.8 Essai de la tension à fréquence industrielle en fonction du temps

Le paragraphe 8.8 s'applique sans modification.

13.8.9 Essais du dispositif de déconnexion des parafoudres

Le paragraphe 8.9 ne s'applique pas.

13.8.10 Essais de court-circuit

Amendement:

Tous les parafoudres doivent être soumis à un essai de court-circuit selon 8.10 pour montrer que le parafoudre ne connaît pas de défaillance telle qu'elle occasionne une rupture explosive de l'enveloppe. Les modifications de 8.10 qui sont applicables aux parafoudres immergés sont celles qui suivent.

NOTE Des procédures d'essai de court-circuit revues destinées aux parafoudres immergés sont à l'étude.

13.8.10.1 Généralités

Remplacement du Paragraphe 8.10.1:

Tous les parafoudres, pour lesquels des caractéristiques assignées de court-circuit autres que la valeur "zéro" sont revendiquées, doivent être soumis aux essais conformément à ce paragraphe. Le but de l'essai est de montrer qu'une défaillance du parafoudre n'est pas susceptible d'en provoquer la rupture explosive.

Chaque conception de parafoudre est soumise à essai avec deux ensembles de valeurs du courant de court-circuit selon le Tableau 7:

- les courants de court-circuit de forte amplitude, comprenant le courant assigné de court-circuit et deux courants réduits de court-circuit;
- le courant de court-circuit de faible amplitude.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

NOTE 1 Il existe deux principaux types de conception de parafoudre différents eu égard à leur comportement aux courants de court-circuit.

Un premier type de parafoudres utilise la surpression interne qui est générée par l'arc interne dû au court-circuit des éléments du parafoudre. Cette surpression est créée par l'échauffement d'un volume interne de gaz ou de liquide qui se dilate et provoque ainsi l'éclatement ou l'ouverture d'un limiteur de pression (dans ce cas, les essais sont parfois appelés «essais du limiteur de pression»). L'enveloppe du parafoudre n'est pas censée se rompre avant la relaxation de la surpression.

Un autre type de parafoudres, habituellement de nature compacte et sans aucun volume interne de gaz ou de liquide, ne possède pas de limiteur de pression. Le comportement aux courants de court-circuit de ce modèle dépend alors de la façon dont l'arc parvient à brûler ou à déchirer l'enveloppe du parafoudre.

Si le parafoudre est équipé d'un dispositif se substituant à un limiteur de pression conventionnel, il convient que ce dispositif soit utilisé pour les essais.

Pour les essais de court-circuit aux courants assignés et réduits, les méthodes de préparation des échantillons pour essai dépendent de la conception du parafoudre. Dans le cas d'un parafoudre équipé d'un limiteur de pression, les résistances MO actives sont court-circuitées par un fil fusible externe. Dans le cas d'un parafoudre sans limiteur de pression, les résistances MO actives peuvent être soit prédégradées par l'application d'une surtension, soit court-circuitées par un fil fusible interne placé dans un trou agencé à cet effet.

Pour l'essai de court-circuit au courant de faible amplitude, les résistances MO actives sont prédégradées par l'application d'une surtension.

Il convient que la fréquence de la source délivrant les courants de court-circuit ne soit pas inférieure à 48 Hz ni supérieure à 62 Hz.

Après accord entre le constructeur et l'utilisateur, des cycles de réenclenchement peuvent être appliqués en utilisant une procédure et des critères d'essais mutuellement acceptés.

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 solde 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 solde 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 2 Le mode «défaillance en circuit ouvert» n'implique pas que le parafoudre coupe le circuit. La défaillance d'un parafoudre initie un courant de court-circuit qui est généralement coupé 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 du matériel protégé, évidemment sans protection contre les surtensions.

Les essais doivent être effectués sur trois échantillons de parafoudres complets de tension assignée la plus faible et trois échantillons de la tension assignée la 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 revendiquée. 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 à défaillance en circuit ouvert, toutes les éprouvettes sont soumises à essai à la plus faible valeur revendiquée pour le courant de «défaillance en circuit ouvert». Aucun échantillon n'est soumis à l'essai de courant de court-circuit de faible amplitude qui peut être inférieur au courant assigné de défaillance en circuit ouvert.

Pour les parafoudres à défaillance en court-circuit, un échantillon doit être soumis à l'essai avec chacun des trois niveaux de courant selon 8.10.2. Le niveau de court-circuit nominal peut être différent de celui énuméré dans le Tableau 7 et doit être choisi par le constructeur. Les deux niveaux de courant de court-circuit réduits doivent être choisis dans le Tableau 10. Un échantillon supplémentaire doit être soumis à l'essai selon 8.10.3.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

13.8.10.3 Montage des échantillons pour essai

Remplacement du Paragraphe 8.10.3:

Les échantillons pour essai doivent être montés dans la position correspondant à celle prévue en service, y compris l'orientation et la distance par rapport aux parties mises à la terre. Le parafoudre doit être immergé dans le liquide isolant dans un conteneur suffisamment grand pour ne pas influencer le comportement de l'arc.

13.8.10.4 Essais de court-circuit à courants de forte amplitude

Remplacement du Paragraphe 8.10.4:

Un échantillon doit être soumis à l'essai à un courant assigné de court-circuit choisi dans le Tableau 7. Un deuxième et un troisième échantillons doivent être soumis à l'essai, chaque échantillon étant soumis aux deux courants de court-circuit correspondant au courant assigné de court-circuit choisi. Les trois échantillons doivent tous être préparés selon 8.7.2 et montés selon 8.7.3.

Les essais doivent être effectués en circuit d'essai monophasé avec une tension d'essai en circuit ouvert de 107 % à 77 % de la tension assignée du parafoudre échantillon pour essai, tel que souligné au 8.7.2.1. Toutefois, il est probable que des essais sur des parafoudres haute tension soient à effectuer dans un laboratoire d'essai susceptible de ne pas disposer de la capacité suffisante de puissance en court-circuit pour effectuer ces essais à 77 % ou plus de la tension assignée de l'échantillon pour essai. De ce fait, une procédure alternative de réalisation des essais de court-circuit à courants de forte amplitude avec une tension réduite est donnée au 8.7.2.2. La durée totale mesurée du courant d'essai circulant dans le circuit doit être égale ou supérieure à 0,2 s.

Pour les parafoudres à 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 qui peut être revendiquée correspond au courant symétrique efficace le plus élevé mesuré pour toutes les éprouvettes au cours de l'essai.

Pour les parafoudres à 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 qui peut être revendiquée correspond au courant symétrique efficace le plus faible mesuré pour toutes les éprouvettes au cours de l'essai de courant nominal.

13.8.10.5 Évaluation des résultats d'essai

Remplacement du Paragraphe 8.10.5:

La conformité des éprouvettes à la présente norme doit être établie de la manière suivante:

- d'après les enregistrements oscillographiques portant sur l'amplitude et la durée du passage de courant au cours des essais;
- d'après les résultats de l'essai de tenue en tension suivant effectué à tout moment après le court-circuit. Les éprouvettes doivent être alimentées sous la tension U_c par un circuit qui limite le courant disponible 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 à défaillance en circuit ouvert;
  2) soit le passage d'un courant important est constaté dans le cas d'un parafoudre à défaillance en court-circuit;

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

- d'après l'aspect physique des éprouvettes après l'essai.

Toutes les éprouvettes soumises à essai doivent satisfaire à ces exigences.

13.8.11 Essai de moment de flexion

Le paragraphe 8.11 ne s'applique pas.

13.8.12 Essais d'environnement

Le paragraphe 8.12 ne s'applique pas.

13.8.13 Essai de mesure du taux de fuite

Le paragraphe 8.13 ne s'applique pas.

13.8.14 Essai aux tensions perturbatrices RF (RIV)

Le paragraphe 8.14 s'applique sans modification.

13.8.15 Essai de vérification de la tenue diélectrique des composants internes

Le paragraphe 8.15 s'applique sans modification.

13.8.16 Essai des éléments de répartition internes

Le paragraphe 8.16 s'applique sans modification.

13.9 Essais individuels de série et essais de réception

L'Article 9 s'applique sans modification.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

Annexe A
(normative)

Conditions anormales de service

Les conditions anormales de service typiques suivantes peuvent exiger une considération spéciale pour la fabrication ou l'utilisation des parafoudres, et il convient de les signaler 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 qui peuvent 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 fumées.
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 5.4 b).
12) Vitesse du vent > 34 m/s.
13) Montage non vertical et montage suspendu.
14) Tremblement de terre (voir G.2)
15) Effort de torsion appliqué au parafoudre
16) Effort de traction appliqué au parafoudre
17) Utilisation du parafoudre comme support mécanique.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

Annexe B
(normative)

Essai de vérification de l'équivalence thermique entre un parafoudre complet et une fraction de parafoudre

Pour les essais qui impliquent une récupération thermique qui utilise des fractions de parafoudre distribuées au prorata, l'équivalence thermique des fractions avec le parafoudre complet est exigée. La procédure suivante doit être suivie afin de démontrer cette équivalence. Elle implique de réaliser des essais tout d'abord sur le parafoudre complet ou, dans le cas d'un parafoudre à plusieurs éléments, l'élément contenant le plus grand nombre de résistances MO par unité de longueur, suivis par un essai sur la fraction distribuée au prorata.

a) Essai réalisé sur le parafoudre complet ou sur un élément de parafoudre:

Le parafoudre complet ou l'élément contenant le plus grand nombre de résistances MO par unité de longueur d'un parafoudre à plusieurs éléments doit être placé en air calme à une température ambiante de 20 °C ± 15 K. La température ambiante ne doit pas varier de ± 3 K pendant l'essai. Des thermocouples et/ou certains capteurs, par exemple, des capteurs qui utilisent une technique par fibres optiques pour mesurer la température, doivent être fixés sur les résistances. Des mesures doivent être effectuées sur un nombre suffisant de points pour calculer la température moyenne, ou 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. Ceci ajoute une marge de sécurité, justifiant par là la méthode simplifiée.

Les résistances MO doivent être chauffées pendant une période maximale de 1 heure à une température d'au moins 140 °C, par l'application d'une tension à fréquence industrielle avec une amplitude supérieure à la tension de référence. Cette température doit être déterminée par la valeur moyenne si la température est mesurée sur plusieurs résistances MO ou par la valeur unique si seul le point situé entre 1/2 et 1/3 est contrôlé.

Dans le cas d'un parafoudre interne à plusieurs colonnes, il peut se révéler nécessaire de prendre des mesures pour obtenir des températures équivalentes pour toutes les colonnes de résistances MO, par exemple, par l'ajout d'une ou de plusieurs résistances linéaires à chaque colonne de chaque élément de parafoudre. La masse de ces résistances ne doit pas être supérieure à 5 % de la masse des résistances MO dans les colonnes connexes, et ces mêmes résistances doivent être positionnées directement sur le sommet ou la base de la colonne. Lorsque l'on ne peut pas prendre cette mesure, une solution alternative consiste à utiliser des traversées de petite dimension dans les collerettes métalliques et à placer les résistances linéaires à l'extérieur de l'enveloppe.

La température doit être mesurée sur chaque colonne des résistances MO et la température moyenne doit être utilisée comme température des colonnes. La différence entre les températures maximale et minimale des différentes colonnes mesurée à la même hauteur ne doit pas être supérieure à 20 K à une température moyenne de 140 °C.

Lorsque cette température prédéterminée est atteinte, la source de tension doit être déconnectée et la courbe de temps de refroidissement doit être établie sur une durée au moins égale à 2 h. La température doit être mesurée au moins toutes les minutes. Dans le cas de plusieurs points de mesure, une courbe de température moyenne doit être établie.

b) Essai sur la fraction thermiquement distribuée au prorata:

La fraction thermiquement distribuée au prorata doit être soumise à l'essai en air calme de la même façon que le parafoudre complet ou l'élément de parafoudre.

La température ambiante doit être équivalente à la température ambiante à ± 10 K près pendant l'essai réalisé sur le parafoudre complet ou l'élément de parafoudre et doit conserver cette valeur à ± 3 K près. La fraction doit être chauffée par l'application d'une tension à fréquence industrielle avec une montée en température au-delà de la température ambiante, ce qui correspond à une température équivalant à ± 10 K près à la

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

montée en température qui s'est produite pour le parafoudre complet ou l'élément de parafoudre. L'amplitude de la tension est choisie de manière à donner un temps de montée en température approximativement égal à celui utilisé pour le parafoudre complet ou l'élément de parafoudre.

Lorsque la fraction distribuée au prorata contient une seule colonne avec plusieurs résistances MO montées en série, la température de toutes les résistances MO doit être mesurée et une valeur moyenne doit être calculée à des fins de comparaison avec le parafoudre complet.

Si, dans le cas de types de parafoudre avec deux colonnes de résistances MO ou plus montées en parallèle, il n'est pas possible d'obtenir une différence entre les températures maximale et minimale des différentes colonnes qui ne soit pas supérieure à 20 K à la température d'échauffement maximale par un échauffement sous courant alternatif, l'une des deux méthodes suivantes doit être appliquée:

1) Des résistances linéaires externes doivent être utilisées pour équilibre la répartition du courant entre les colonnes. Chaque colonne doit être connectée à la source de tension alternative par l'intermédiaire d'une traversée individuelle de petite dimension. L'application de résistances en série linéaires internes pour obtenir des températures équivalentes n'est pas admise.

ou

2) L'échauffement doit être réalisé par l'application de chocs de courant de longue durée à des intervalles de temps tels que l'on obtient le même temps de chauffe global que précédemment pour le parafoudre complet ou l'élément de parafoudre.

On doit déterminer une température moyenne en mesurant la température de plusieurs résistances MO dans chaque colonne. En variante, la température peut être mesurée sur une résistance MO située entre 1/2 et 1/3 de la longueur de la fraction à partir du sommet. Lorsque la fraction a atteint la température prédéterminée, la source de tension doit être déconnectée et la courbe de temps de refroidissement doit être établie sur une durée au moins égale à 2 h.

On doit tracer les courbes de refroidissement qui affichent la surchauffe relative du parafoudre complet, de l'élément de parafoudre et de la fraction, la surchauffe relative, T_{rel}, étant donnée par

$$T_{rel} = (T - T_A)/(T_0 - T_A) \qquad \text{(B.1)}$$

où

T est la température mesurée pendant le temps de refroidissement;

T_A est la température ambiante moyenne pendant l'essai;

T_0 est la température d'échauffement maximale.

Afin de démontrer l'équivalence thermique, la courbe de refroidissement doit de manière constante avoir une valeur de surchauffe relative supérieure ou égale à celle du parafoudre complet ou de l'élément de parafoudre.

Lorsque, à tout moment, la courbe de refroidissement mesurée de la fraction se situe en dessous de la courbe de refroidissement mesurée du parafoudre complet ou de l'élément de parafoudre, une compensation peut être réalisée par l'ajout d'un facteur, k, à la surchauffe relative T_{rel}, de sorte que la courbe de refroidissement de la fraction se situe au niveau ou au-dessus de la courbe de refroidissement du parafoudre complet ou de l'élément de parafoudre sur toute la période de refroidissement. La température correspondante qui doit être ajoutée à la température initiale pour les essais de récupération thermique est calculée comme: $k*(T_0 - T_A)$ où $(T_0 - T_A)$ est la différence maximale de température pour soit la fraction soit le parafoudre complet ou l'élément de parafoudre.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

Annexe C
(normative)

Essai sous pollution artificielle relatif à la contrainte thermique des parafoudres à oxyde métallique à enveloppe en porcelaine comportant plusieurs éléments

C.1 Glossaire

C.1.1 Paramètres mesurés

q_z (en 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 (en h) Durée d'un épisode de pollution en service.

Q_e (en C) Charge s'écoulant à la surface des éléments du parafoudre pendant l'essai sous pollution.

Q_i (en C) Charge s'écoulant dans les parties internes des éléments du parafoudre pendant l'essai sous pollution.

ΔT_k (en K) Montée en température appropriée à l'unité k.

β (en K/C) Rapport entre la montée en température des parties internes du parafoudre et la charge interne correspondante mesurée conformément à l'essai préliminaire d'échauffement.

τ (en h) Constante de temps thermique équivalente du parafoudre déterminée pendant l'essai préliminaire d'échauffement.

C.1.2 Paramètres calculés

D_m (en m) Diamètre moyen de l'enveloppe du parafoudre: il est calculé selon la méthode consignée dans l'IEC TS 60815-2.

Q_{tot} (en C) Charge totale du parafoudre: il s'agit de la somme de Q_i et Q_e et elle est mesurée sur la connexion de terre du parafoudre.

$\Delta T_{z\,max}$ (en K) Montée en température maximale théorique 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 à soumettre à l'essai sous pollution.

K_{ie} Rapport entre la charge externe maximale et la charge interne maximale s'écoulant dans les éléments du parafoudre pendant l'essai sous pollution.

ΔT_z (en K) Montée en température prévue en service calculée en fonction de β, q_z, t_z, D_m, K_{ie} et τ.

T_{OD} (in °C) Température initiale à utiliser pour l'essai de fonctionnement des parafoudres.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

C.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) la montée en 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. Un calcul préliminaire de la montée en température maximale théorique doit être effectué selon C.5. Si le résultat du calcul est inférieur à 40 K, aucun essai n'est exigé. Si le résultat du calcul est supérieur ou égal à 40 K, un essai selon la présente Annexe doit être effectué, à moins que ledit essai, sur accord entre l'utilisateur et le constructeur (par exemple, sur la base d'un retour d'expérience dans des environnements spécifiés) puisse être omis.

Des essais en laboratoire et le retour d'expérience ont montré que l'échauffement des parties actives internes du parafoudre dans des conditions de pollution est lié à la charge absorbée: ce paramètre est considéré par conséquent comme essentiel pour l'évaluation de la performance sous pollution des parafoudres.

Une classification de la sévérité de la pollution des 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 en 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 pour essai avant l'essai de fonctionnement des parafoudres, de façon à prendre en compte l'effet de l'échauffement dû à la pollution; cette procédure est synthétisée dans le logigramme de la Figure C.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 C.1;

– les caractéristiques thermiques du parafoudre sont déterminées selon une procédure dérivée de celle décrite au 8.6. Cette procédure permet la détermination de la constante de temps thermique équivalente τ et le calcul du paramètre β grâce aux critères décrits dans C.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 la montée en température maximale pour les conditions les plus modérées selon lesquelles toute la charge due à l'épisode de pollution s'écoulerait par l'intérieur du parafoudre;

– si le calcul de la montée en température maximale $\Delta T_{z\ max}$ conduit à des valeurs inférieures à 40 K, les essais sous pollution ne sont pas nécessaires et la température initiale de l'essai de fonctionnement des parafoudres doit être de 60 °C. Si le calcul de la montée en température maximale $\Delta T_{z\ max}$ conduit à des valeurs supérieures ou égales à 40 K, un essai sous pollution selon la procédure décrite dans cette annexe doit être effectué, à moins que ledit essai, sur accord entre l'utilisateur et le constructeur (par exemple, sur la base d'un retour d'expérience dans des environnements spécifiés) puisse être omis. 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 sous pollution peut être évité en utilisant une

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

température initiale pour l'essai de fonctionnement des parafoudres égale à (20 + $\Delta T_{z\,max}$) °C;

– les essais sous pollution en laboratoire, lorsqu'ils sont jugés nécessaires, sont effectués sur un parafoudre représentatif d'un certain type et d'une certaine conception. Pendant l'essai sous pollution, les charges externe et interne Q_e et Q_i doivent être mesurées pour chaque élément de parafoudre. En variante, la charge totale Q_{tot} et la montée en 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 parties actives. Ce facteur est une valeur caractéristique d'un type et d'une conception de parafoudre donnés;

– la montée en température prévue ΔT_z en service est calculée en fonction de q_z, K_{ie}, D_m, t_z, β et τ;

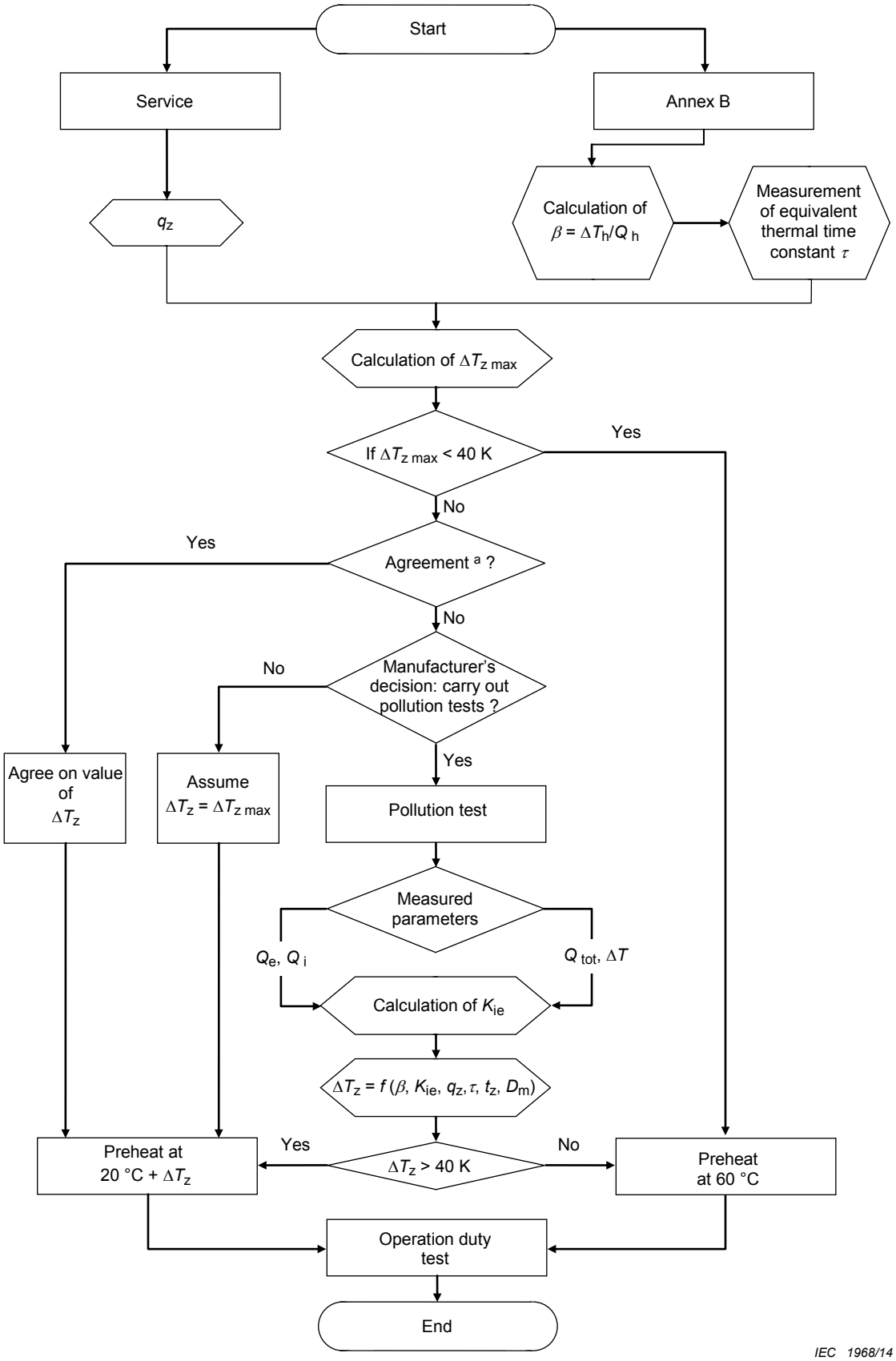
– la température initiale T_{OD} de l'essai de fonctionnement des parafoudres est calculée sur la base des critères suivants:

– si ΔT_z est supérieure à 40 K, T_{OD} = 20 °C + ΔT_z;

– si ΔT_z est inférieure ou égale à 40 K, T_{OD} = 60 °C;

– l'essai de fonctionnement des parafoudres est réalisé selon la procédure décrite en 8.7 avec une température initiale égale à T_{OD}.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION



IEC 1968/14

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

Légende

Anglais	Français
Start	Début
Annex	Annexe
calculation of	calcul de
measurement of equivalent thermal time constant	mesure de la constante de temps thermique équivalente
If	Si
Yes	Oui
Agreement	Accord
No	Non
manufacturer's decision: carry out pollution tests	décision du constructeur: réaliser des essais sous pollution
agree on value of	accord sur la valeur de
Assume	Supposer que
pollution test	essai sous pollution
measured parameters	paramètres mesurés
preheat at	préchauffer à
operation duty test	essai de fonctionnement des parafoudres
end	fin

[a] Accord entre le constructeur et l'utilisateur (par exemple, sur la base d'un retour d'expérience dans un environnement spécifié).

Figure C.1 – Logigramme montrant la procédure permettant de déterminer le préchauffage d'un échantillon pour essai

C.3 Classification de la sévérité du site

La classification de la sévérité de pollution 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 des épisodes 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 ultérieurs est celle qui correspond à la situation la plus sévère (2 h ou 6 h), d'après l'équation (C.2), pour le niveau de pollution du site d'installation du parafoudre.

Les valeurs de q_Z pour les différentes zones de pollution sont indiquées dans le Tableau C.1.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

Tableau C.1 – Charge moyenne externe pour différentes sévérités de la pollution

Niveau de pollution (zone[a])	Ligne de fuite spécifique unifiée de référence minimale (RUSCD) mm/kV	q_z: charge externe moyenne C/h·m	
		t_z = 2 h	t_z = 6 h
b – Faible	28	0,5	0,24
c – Moyen	35	3,3	2,4
d – Fort	44	24,0	14,0
e – Très fort	55	55,0	36,0

a Les niveaux de pollution (zones) correspondent à la définition des niveaux de pollution donnés au 8.3 de l'IEC TS 60815-2:2008. Il n'existe aucune valeur pour la nouvelle classe de pollution "a" selon l'IEC TS 60815-1 et la valeur RUSCD associée, selon l'IEC TS 60815-2, respectivement.

NOTE Les valeurs de q_z ont été obtenues en utilisant une valeur de seuil de 2 mA (voir F.6.3.1).

C.4 Essai préliminaire d'échauffement: mesure de la constante de temps thermique τ et calcul de β

Une procédure semblable à celle décrite au 8.6, 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 l'équation suivante:

$$\beta = \frac{\Delta T_h}{Q_h} \tag{C.1}$$

où

ΔT_h est la montée en température pendant l'essai d'échauffement;

Q_h est la charge appliquée pendant l'essai d'échauffement.

Après l'essai d'échauffement, on doit vérifier que le temps de chauffage (th) est inférieur à 0,1 × τ; sinon l'essai d'échauffement doit être répété avec un temps th plus court.

C.5 Vérification de la nécessité de réaliser les essais sous pollution

De façon à vérifier le besoin réel de réaliser l'essai sous pollution, un calcul préliminaire de la montée en température maximale théorique en service ($\Delta T_{z\,max}$) doit être effectué. Ce calcul suppose que toute la charge prévue en service (q_z) s'écoule à l'intérieur. Dans ce contexte, $\Delta T_{z\,max}$ peut être calculée comme suit:

$$\Delta T_{z\,max} = \beta\, q_z\, D_m\, \tau \left(1 - e^{\left(-\frac{t_z}{\tau}\right)}\right) \left(\frac{U_r - U_{r\,min}}{U_r}\right) \tag{C.2}$$

où

U_r est la tension assignée du parafoudre;

$U_{r\,min}$ est la tension assignée minimale des éléments du parafoudre.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

Si le calcul de la montée en température maximale$\Delta T_{z\ max}$ conduit à des valeurs inférieures à 40 K, les essais sous pollution ne sont pas nécessaires et la température initiale de l'essai de fonctionnement des parafoudres doit être de 60 °C. Si le calcul de la montée en température maximale $\Delta T_{z\ max}$ conduit à des valeurs supérieures ou égales à 40 K, un essai sous pollution selon la procédure décrite dans cette annexe doit être effectué, à moins que ledit essai, sur accord entre l'utilisateur et le constructeur (par exemple, sur la base d'un retour d'expérience dans des environnements spécifiés) puisse être omis. 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 sous pollution peut être évité en utilisant une température initiale pour l'essai de fonctionnement des parafoudres égale à (20 + $\Delta T_{z\ max}$) °C.

C.6 Exigences générales pour l'essai sous pollution

C.6.1 Échantillon pour essai

L'échantillon pour essai doit être représentatif de la conception la plus critique correspondant à un certain type de parafoudre.

Les caractéristiques de l'échantillon pour essai doivent être choisies selon les critères du Tableau C.2.

Tableau C.2 – Caractéristiques de l'échantillon utilisé lors de l'essai sous pollution

Paramètres	Critères de sélection (caractéristique de l'échantillon à soumettre à l'essai en rapport avec son type de conception)
U_C/U_R	Maximum
Déséquilibre pondéré (WU)[a]	Maximum
Ligne de fuite spécifique [mm/kV]	Minimum
Section des résistances	Minimum
Diamètre équivalent de la porcelaine	Maximum

Le déséquilibre pondéré (WU) doit être calculé comme suit:

$$WU = \max\left(\frac{U_{rk}^2 CD}{CD_k U_r^2}\right) \quad \text{(C.3)}$$

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'élément k;

k = 1, 2 … n;

n est le nombre d'éléments du parafoudre.

C.6.2 Installation d'essai

L'installation d'essai doit remplir les exigences de 6.2 de l'IEC 60507:2013.

C.6.3 Appareils de mesure et procédures de mesure

C.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 du courant capacitif sur la mesure de la charge doit être éliminée. Des

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

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 Tableau C.1).

Les exigences minimales pour l'appareil de mesure sont décrites dans le Tableau C.3.

Tableau C.3 – Exigences relatives à l'appareil de mesure de la charge

Caractéristiques	Exigences
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 éléments, 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 éléments intermédiaires;

– la charge interne est évaluée à l'aide de l'équation suivante:

$$Q_i = \frac{(Q_{iT} + Q_{eT}) + (Q_{iB} + Q_{eB})}{2} - Q_e \qquad \text{(C.4)}$$

où

Q_i est la charge interne de l'élément intermédiaire;

Q_{iT} est la charge interne de l'élément supérieur;

Q_{iB} est la charge interne de l'élément inférieur;

Q_e est la charge externe de l'élément intermédiaire;

Q_{eT} est la charge externe de l'élément supérieur;

Q_{eB} est la charge externe de l'élément inférieur.

C.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 de manière égale 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 C.4.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

Tableau C.4 – Exigences relatives à l'appareil de mesure de la température

Caractéristiques	Exigences
Plage de mesure de la température	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 montées en température typiques mesurées lors de l'essai sont inférieures 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.

C.6.4 Préparation de l'essai

C.6.4.1 Nettoyage de l'échantillon pour 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 trisodique ou d'un détergent équivalent, doit être utilisée, après quoi l'isolateur doit être bien rincé avec de l'eau du robinet.

La surface de l'isolateur est supposée être suffisamment propre et débarrassée de toute graisse si de larges zones humides sont observées.

C.6.4.2 Installation de l'échantillon

Le parafoudre doit être soumis à l'essai 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.

C.7 Procédures d'essai

Une des deux procédures d'essai décrites en C.7.1 et C.7.2 peut être utilisée.

C.7.1 Méthode de pollution boueuse

C.7.1.1 Généralités

C.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 par litre d'eau;

– d'un détergent non dilué et non ionisé composé d'un éther-glycol-polyéthylène-phénol-nonyl ou d'autres esters à longue chaîne non ionisés comparables, 1 g par litre d'eau;

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

– de chlorure de sodium.

La résistivité volumique du mélange boueux doit être ajustée par addition de chlorure de sodium dans une fourchette de 400 Ω.cm à 500 Ω.cm.

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.

C.7.1.1.2 Conditions ambiantes

Au début de l'essai, le parafoudre doit être en équilibre thermique avec l'air dans l'enceinte d'essai. La température ambiante ne doit pas être inférieure à 5 °C ni supérieure à 40 °C.

C.7.1.2 Préconditionnement de la surface du parafoudre

Avant de commencer le préconditionnement, la tension de référence du parafoudre doit être déterminée selon la procédure spécifiée au 7.2.

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 C.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.

À la fin du préconditionnement, le parafoudre doit être laissé se refroidir à la température ambiante.

Pour vérifier qu'aucun dommage n'a affecté le parafoudre pendant le préconditionnement, la tension de référence du parafoudre doit être mesurée et comparée avec la mesure effectuée avant le préconditionnement. 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 préconditionnement.

C.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 commencer 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 parties internes du parafoudre doivent refroidir jusqu'à une température proche de ±2 K de la moyenne ambiante au maximum. Si la température des parties internes n'est pas mesurée, une durée minimale de 2τ doit séparer deux essais consécutifs pour s'assurer que le parafoudre s'est refroidi à une température proche de la température ambiante. Tout moyen destiné à refroidir les parafoudres à une température proche de la température ambiante, accepté par le

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

constructeur, est permis. Plusieurs parafoudres peuvent être soumis à essai en parallèle de façon à réduire le temps d'attente.

d) Les étapes a), b) et c) doivent être répétées cinq fois.

e) La montée en température prévue ΔT_Z doit être calculée selon la procédure spécifiée en C.8.

f) Si la valeur de ΔT_Z est inférieure à 40 K, aucun autre essai sous pollution n'est nécessaire, et la température initiale T_{OD} de l'essai de fonctionnement des parafoudres doit être de 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 la montée en température prévue ΔT_Z doit être calculée selon la procédure spécifiée en C.8.

NOTE 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'essai.

Dans les cas où la tension de régime permanent, pour d'autres raisons, a été choisie très supérieure à la tension de régime phase-terre du système, l'essai peut être réalisé à la tension phase-terre sur accord entre le constructeur et l'utilisateur.

C.7.2 Méthode du brouillard salin

C.7.2.1 Généralités

C.7.2.1.1 Préparation du polluant

La solution salée doit être préparée selon l'Article 7 de l'IEC 60507:2013: 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 de tenue spécifiée du parafoudre. Les tolérances sur la valeur de la salinité doivent être conformes à l'Article 7 de l'IEC 60507:2013. La mesure de la salinité doit être effectuée en mesurant la conductivité avec une correction de température en accord avec les indications de l'IEC 60507.

C.7.2.1.2 Système de pulvérisation

Le système de production du brouillard salin doit être conforme aux spécifications de l'Article 8 de l'IEC 60507:2013.

C.7.2.1.3 Préconditionnement de la surface du parafoudre

Avant de commencer le préconditionnement, la tension de référence du parafoudre doit être déterminée selon la procédure spécifiée au 7.2.

Le préconditionnement doit être effectué sur un seul élément du parafoudre à la fois. Si le préconditionnement 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 préconditionnement doit être effectué à une valeur de salinité de préférence plus élevée que le niveau de tenue maximal prévu de l'élément.

En accord entre le constructeur et l'utilisateur, le préconditionnement peut également être réalisé sur l'enveloppe du parafoudre sans les éléments internes.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

Après le préconditionnement de chaque élément, le brouillard doit se dissiper et le parafoudre doit être nettoyé avec de l'eau du robinet.

À la fin de la procédure de préconditionnement, 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 préconditionnement, la tension de référence du parafoudre doit être mesurée et comparée avec la mesure effectuée avant le préconditionnement. Des limites acceptables de variation de la tension de référence doivent être indiquées par le constructeur.

L'essai au brouillard salin doit démarrer aussi vite que possible après la fin de la procédure de préconditionnement.

Au début de l'essai, le parafoudre doit être en équilibre thermique avec l'air dans l'enceinte 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.

C.7.2.2 Procédure d'essai

Les étapes suivantes doivent être effectuées.

a) Le parafoudre doit être uniformément rincé avec de l'eau du robinet. La tension d'essai U_C doit être appliquée pendant que le parafoudre est encore entièrement humide. Dans les cas où la tension de régime permanent, pour d'autres raisons, a été choisie très supérieure à la tension de régime phase-terre du système, l'essai peut être réalisé à la tension phase-terre sur accord entre le constructeur et l'utilisateur.

b) 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 sous tension. L'essai est supposé avoir débuté aussitôt que l'air comprimé a atteint la pression normale de service aux gicleurs. Ce temps d'amorçage s'applique aussi pour le système de mesure de la charge.

c) La production de brouillard doit être stoppée après 15 min et le parafoudre doit être maintenu sous tension pendant 15 min de plus.

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. Tout moyen destiné à refroidir les parafoudres à une température proche de la température ambiante, accepté par le constructeur, est permis. Plusieurs parafoudres peuvent être soumis à essai en parallèle de façon à réduire le temps d'attente.

e) Les étapes a), b), c) et d) doivent être répétées cinq fois.

f) La montée en température prévue ΔT_Z doit être calculée selon la procédure spécifiée en F.8.

g) Si la valeur de ΔT_Z st inférieure à 40 K, aucun autre essai sous pollution n'est nécessaire, et la température initiale T_{OD} de l'essai de fonctionnement des parafoudres doit être de 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 la montée en température prévue ΔT_Z doit être calculée selon la procédure spécifiée en C.8.

NOTE 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'essai.

C.8 Évaluation des résultats d'essai

C.8.1 Calcul de K_{ie}

Pour chaque répétition du cycle d'essai, la valeur de K_n est calculée comme suit:

$$K_n = \frac{\sum\left(\frac{Q_{ik}\ U_{rk}}{U_r}\right)}{Q_{e\,max}} \tag{C.5}$$

où

$Q_{e\,max}$ est la valeur maximale 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 … 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 (C.5) est remplacée par l'équation (C.6):

$$K_n = \frac{\sum\left(\frac{\Delta T_k\ U_{rk}}{\beta\ U_r}\right)}{Q_{e\,max}} \tag{C.6}$$

où ΔT_k est la montée en température correspondant à l'élément k calculée comme la moyenne arithmétique des températures maximales mesurées dans les différents points de l'élément.

NOTE Si la montée en température interne ΔT_k est directement mesurée pendant l'essai, $Q_{e\ max}$ peut être calculée selon l'équation suivante:

$$Q_{emax} = \max\left(Q_{tot} - \frac{\Delta T_k}{\beta}\right) \tag{C.7}$$

La valeur moyenne K_{ieM} est calculée comme la moyenne arithmétique des valeurs de K_n, σ est calculé comme l'écart-type des valeurs de K_n, et le rapport statistique K_{ie} est calculé selon la formule suivante:

$$K_{ie} = K_{ieM} + c\,\sigma \tag{C.8}$$

où

c = 2 dans le cas où le calcul est conduit sur la base des mesures obtenues avec 10 cycles d'essai;

c = 2,9 dans le cas où le calcul est conduit sur la base de mesures obtenues avec cinq cycles d'essai.

C.8.2 Calcul de la montée en température en service ΔT_z prévue

La montée en température prévue ΔT_z est calculée selon l'équation suivante:

$$\Delta T_z = \beta K_{ie}\, q_z\, D_m\, \tau \left(1 - e^{\left(-\frac{t_z}{\tau}\right)}\right) \tag{C.9}$$

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

C.8.3 Préparation pour l'essai de fonctionnement des parafoudres

La température initiale T_{OD} de l'essai de fonctionnement des parafoudres est calculée sur la base des critères suivants:

1) si ΔT_z est supérieure à 40 K, T_{OD} = 20 °C + ΔT_z;
2) si ΔT_z est inférieure ou égale à 40 K, T_{OD} = 60 °C.

L'essai de fonctionnement des parafoudres est réalisé selon la procédure décrite en 8.7 avec une température initiale égale à T_{OD}.

C.9 Exemple

L'exemple suivant présente l'application de la procédure d'essai à un parafoudre qui a les caractéristiques assignées suivantes:

U_r	198 kV
$U_{r\ min}$	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 C.7.2.2.

C.9.1 Essai préliminaire d'échauffement

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).

C.9.2 Vérification de la nécessité de réaliser l'essai sous pollution

Le calcul de $\Delta T_{z\ max}$, à l'aide de l'équation (C.2) donne les résultats reportés dans le Tableau C.5.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

Tableau C.5 – Valeurs calculées 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 sous pollution
b	2	1,1	Non
	6	0,7	
c	2	7,5	Non
	6	7,3	
d	2	54,4	Oui
	6	42,3	
e	2	124,7	Oui
	6	108,8	
NOTE Les zones de pollution correspondent à la définition des niveaux de pollution donnés au 8.3 de l'IEC TS 60815-1:2008. Il n'existe aucune valeur pour la nouvelle classe de pollution "a" selon l'IEC TS 60815-1 et la valeur RUSCD associée, selon l'IEC TS 60815-2, respectivement.			

L'utilisation du parafoudre dans les zones de pollution b et c ne nécessite donc pas d'essais sous pollution, et la température initiale de l'essai de fonctionnement des parafoudres doit être de 60 °C.

C.9.3 Essais au brouillard salin

Les résultats des essais au brouillard salin, avec une salinité de 14 kg/m^3 sont indiqués dans le Tableau C.6.

Tableau C.6 – Résultats de l'essai au brouillard salin pour l'exemple choisi

Essai n°	Q_{ebot} [a] C	Q_{etop} [c] C	Q_{itop} [d] C	Q_{ibot} [b] 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

[a] Q_{ebot} est la charge de surface mesurée à l'extrémité terre de l'élément inférieur.
[b] Q_{ibot} est la charge interne mesurée à l'extrémité terre de l'élément inférieur.
[c] Q_{etop} est la charge de surface mesurée à l'extrémité ligne de l'élément supérieur.
[d] Q_{itop} est la charge interne mesurée à l'extrémité ligne de l'élément supérieur.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

C.9.4 Calculs effectués après cinq cycles d'essai

C.9.4.1 Calcul de K_{ie}

Le traitement des données obtenues lors des cinq premiers cycles d'essai sous pollution donne les résultats suivants:

K_{ieM} = 0,166 (c'est-à-dire la moyenne arithmétique des valeurs K_n)

σ = 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:

$$K_{ie} = 0,166 + 2,9 \times 0,031 = 0,256 \qquad (C.10)$$

C.9.4.2 Calcul de ΔT_z et de T_{OD}

Les résultats des calculs de la montée en température prévue en service ΔT_z (voir C.8.2) correspondant aux différentes zones de pollution sont indiqués dans le Tableau C.7.

Tableau C.7 – Valeurs calculées de ΔT_z et de 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
d	2	26	60
	6	20	60
e	2	59	79
	6	51	71
NOTE Les zones de pollution correspondent à la définition des niveaux de pollution donnés au 8.3 de l'IEC TS 60815:2008. Il n'existe aucune valeur pour la nouvelle classe de pollution "a" selon l'IEC TS 60815-1:2008 et la valeur RUSCD associée, selon l'IEC TS 60815-2:2008, respectivement.			

Par conséquent, en cas d'utilisation du parafoudre en zone de pollution d, aucun essai sous pollution supplémentaire n'est exigé et la température initiale de l'essai de fonctionnement des parafoudres doit être de 60 °C, alors que pour la zone de pollution e, cinq cycles supplémentaires d'essai sous pollution doivent être effectués.

C.9.5 Calculs effectués après 10 cycles d'essai

C.9.5.1 Calcul de K_{ie}

Le traitement des données obtenues lors des 10 premiers cycles d'essai de pollution donne les résultats suivants:

K_{ieM} = 0,182 (c'est-à-dire la moyenne arithmétique des valeurs K_n)

σ = 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:

$$K_{ie} = 0,182 + 2 \times 0,028 = 0,238 \qquad (C.11)$$

C.9.5.2 Calcul de ΔT_z et de T_{OD}

Les résultats des calculs de la montée en température prévue en service ΔT_z (voir C.8.2) et de la température initiale de l'essai de fonctionnement des parafoudres T_{OD} (voir C.8.3) correspondant aux différentes zones de pollution (dans ce cas, le calcul est à effectuer seulement pour la zone de pollution e) sont reportés dans le Tableau C.8.

Tableau C.8 – Valeurs calculées de ΔT_z et de 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
e	2	54	74
	6	47	67
NOTE Les zones de pollution correspondent à la définition des niveaux de pollution donnés au 8.3 de l'IEC TS 60815:2008. Il n'existe aucune valeur pour la nouvelle classe de pollution "a" selon l'IEC TS 60815-1:2008 et la valeur RUSCD associée, selon l'IEC TS 60815-2:2008, respectivement.			

Par conséquent, en cas d'utilisation du parafoudre en zone de pollution e, l'essai de fonctionnement des parafoudres doit être réalisé à une température initiale de 74 °C.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

Annexe D
(informative)

Renseignements caractéristiques fournis dans les appels d'offres et les offres

D.1 Renseignements fournis dans les appels d'offres

D.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.

D.1.2 Conditions de service

Pour les conditions normales, voir 5.4.1.

Conditions anormales:

a) Conditions ambiantes, voir 5.4.2 et Annexe A:
   – pour le niveau de pollution naturelle, voir l'IEC 60071-2.
b) Réseau:
   – éventualité d'un fonctionnement en survitesse des alternateurs (caractéristique de tension en fonction du temps);
   – fréquence industrielle nominale non comprise entre 48 Hz et 62 Hz;
   – perte de charge et défauts 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.
c) Les autres exigences spéciales éventuelles concernant les conditions de fonctionnement doivent être spécifiées et quantifiées dans toute la mesure du possible

D.1.3 Rôle du parafoudre

a) Raccordement au réseau:
   – phase-terre;
   – neutre-terre;
   – entre phases.
b) Types de matériels protégés:
   – 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);
   – inductances;
   – inductances HF;

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

– autres matériels de postes;
– postes à isolation gazeuse (GIS);
– 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).

D.1.4 Caractéristiques du parafoudre

a) Tension de régime permanent.

b) Tension assignée;

c) Tension résiduelle au choc de courant à front raide.

d) Valeur normale du courant nominal de décharge et tensions résiduelles.

e) Chocs de courant de manœuvre et tensions résiduelles.

f) Pour les parafoudres sous 10 kA et 20 kA, caractéristiques assignées de transfert de charges répétitives et caractéristiques assignées d'énergie thermique.

g) Tension assignée de court-circuit.

h) 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.

D.1.5 Matériels et installations supplémentaires

a) Parafoudre blindé.

b) Type de montage: sur socle, console, suspendu (indiquer dans quelle position), etc. Préciser si une embase isolante est exigée pour connecter les compteurs de décharges. Pour les parafoudres montés sur console, indiquer si celle-ci est à mettre à la terre ou non.

c) Orientation du montage si elle n'est pas verticale.

d) Dispositif de déconnexion/indicateur de défaut du conducteur de mise à la terre, si nécessaire.

e) Section transversale du conducteur de connexion.

D.1.6 Conditions anormales particulières

Les autres exigences spéciales éventuelles concernant les conditions de fonctionnement doivent être spécifiées et quantifiées dans toute la mesure du possible

D.2 Renseignements fournis dans les offres

a) Tous les points de D.1.4 et D.1.5.

b) En plus:

– courant et tension de référence à la température ambiante;
– caractéristique de tension à fréquence industrielle en fonction du temps (voir 8.8);
– tension résiduelle au choc 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 6.3 et 8.3;
– fonction du limiteur de pression;
– distances;
– spécifications de montage;
– possibilités de montage, plans de perçage, embase isolante, console;

- type des bornes du parafoudre et taille des conducteurs admissible;
- 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 rupture en flexion.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

Annexe E
(informative)

Procédure d'essai de vieillissement – Loi d'Arrhenius – Problèmes liés aux températures plus élevées

La loi d'Arrhenius permet d'établir de manière relativement fiable la durée de vie prévisible des résistances à oxyde métallique. Elle constitue la base de l'essai de vieillissement accéléré actuel (voir 8.4). Selon la présente norme, la limite supérieure de la température ambiante normale de l'air pour les parafoudres à oxyde métallique est 40 °C. Pour certains parafoudres, tels les parafoudres pour prise ou les parafoudres immergés, la limite supérieure de la température ambiante du milieu dans lequel fonctionne le parafoudre est plus élevée (respectivement +65 °C et +95 °C).

Le taux d'accélération de vieillissement est estimé de façon raisonnable par le facteur d'accélération $AF_T = 2{,}5^{(\Delta T/10)}$ où ΔT est la différence entre la température d'essai et la limite supérieure de la température ambiante associée au produit.

Le Tableau E.1 donne des exemples de durée de vie minimale prévisible, démontrée à partir d'un essai de vieillissement 1 000 h à 115 °C, comme décrit au 8.4.

Tableau E.1 – Durée de vie minimale prévisible démontrée

Limite supérieure de la température ambiante °C	**Durée de vie minimale prévisible démontrée** Années
40	110
65	11
95	0,7
NOTE La durée de vie minimale prévisible démontrée est obtenue en multipliant la durée de 1 000 h par le facteur d'accélération.	

L'essai de 1 000 h ne donne pas d'assurance suffisante sur la durée de vie minimale prévisible à la température ambiante la plus élevée. Afin d'améliorer cette situation, des augmentations de la température, de la tension ou de la durée d'essai pourraient être envisagées.

En général, il n'est pas acceptable d'accroître la température d'essai au-delà de 115 °C, car cela peut changer les caractéristiques physiques du vieillissement et rendre ainsi la loi d'Arrhenius non applicable. Accroître la tension d'essai n'est pas acceptable non plus, car ce facteur n'est pas reconnu comme étant un facteur d'accélération.

La seule possibilité restante est d'augmenter la durée d'essai. Le Tableau E.2 montre la relation existant entre la durée d'essai et la durée équivalente pour différentes limites supérieures de la température ambiante.

Tableau E.2 – Relation entre durée d'essai à 115 °C et durée équivalente à la limite supérieure de la température ambiante

Limite supérieure de la température ambiante °C	**Durée d'essai à 115 °C** H	**Durée équivalente à la limite supérieure de la température ambiante** Années
40	1 000	110
65	2 000	22
95	7 000	5

Si ces durées équivalentes à température de fonctionnement constante ne sont pas acceptables pour l'utilisateur, le temps d'essai peut être augmenté après accord entre le constructeur et l'utilisateur. En variante, s'il peut être démontré que la loi d'Arrhenius s'applique toujours, une température plus élevée peut être utilisée après accord entre le constructeur et l'utilisateur.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

Annexe F
(informative)

Guide pour la détermination de la répartition de tension dans les parafoudres à oxyde métallique

F.1 Généralités

La répartition de tension dans un parafoudre à oxyde métallique dépend des capacités et des résistances électriques des résistances MO, des capacités parasites entre la colonne de résistances MO, des collerettes métalliques, et des parties reliées à la terre ou sous tension et des conditions limites (tension appliquée, proximité et tension appliquée aux autres objets environnants). Les capacités parasites produisent une répartition de tension inégale le long de la colonne de résistances MO, avec la contrainte de tension maximale apparaissant généralement dans la partie supérieure du parafoudre.

La tension d'essai U_{ct} pour la procédure d'essai de vieillissement accéléré (voir 8.4) est déduite de la contrainte de tension maximale qui apparaît le long de la colonne de résistances MO. La répartition de tension peut être déterminée par des calculs de champs et de circuits électriques au moyen de programmes informatiques facilement disponibles. Les résultats de ces calculs dépendent cependant de la représentation du parafoudre et des principales conditions aux limites. La présente annexe vise à fournir des conseils de base pour la représentation de la géométrie du parafoudre et de ses caractéristiques électriques, ainsi que des informations générales sur la modélisation des conditions aux limites.

En raison de la complexité et des multiples possibilités d'installation d'un parafoudre, des représentations simplifiées de la géométrie du parafoudre et des conditions limites sont souvent nécessaires pour faciliter le calcul de la répartition de tension pour une conception de parafoudre donnée. Différents degrés de simplification de la géométrie du parafoudre sont exposés en F.2, et une représentation simplifiée des conditions aux limites pour des installations triphasées est proposée en F.3. Pour la modélisation d'autres types de parafoudres, par exemple des parafoudres blindés, aucun conseil n'est donné puisque les géométries et les conditions aux limites sont en principe bien définies.

La procédure de calcul peut être menée de deux façons différentes, selon le degré de complexité de la représentation électrique de la colonne de résistances MO, telle que décrite en F.4.

Des exemples de calcul de champ électrique, représentant une installation de parafoudre extérieure type, sont présentés en F.5.

F.2 Modélisation du parafoudre

Étant donné l'importance des capacités parasites pour la répartition de tension le long de la colonne de résistances MO, il faut que l'influence des différentes simplifications du modèle de parafoudre soit considérée par rapport à ces capacités. Une série de calculs du champ électrique, effectués sur la base d'une représentation axisymétrique du parafoudre, ont donné les résultats suivants en fonction du degré de simplification du modèle de parafoudre.

– Il convient que la colonne de résistances MO, y compris les entretoises métalliques éventuelles, soient représentées avec leurs dimensions et leur permittivité réelles. Une colonne de résistances MO «équivalente» de diamètre supérieur, et une permittivité réduite proportionnellement, conduisent à une contrainte de tension maximale supérieure. De la même façon, si on remplace la colonne de résistances MO avec ses entretoises réelles par une colonne «équivalente» sans entretoise, avec une permittivité accrue proportionnellement, on obtient également une contrainte de tension maximale supérieure.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

– L'enveloppe peut être représentée par un cylindre de diamètre intérieur égal au diamètre intérieur de l'enveloppe réelle et d'épaisseur radiale égale à l'épaisseur de la paroi de l'enveloppe réelle. Il convient que la permittivité soit celle du matériau de l'enveloppe réel, par exemple, de la porcelaine ou un matériau synthétique. Les ailettes peuvent être omises dans la mesure où leur influence sur la répartition de tension est négligeable.
– Il convient que le matériau entre l'isolateur et la colonne de résistances MO (par exemple, un gaz ou un matériau de remplissage) soit modélisé avec ses dimensions et sa permittivité réelles.
– Les collerettes métalliques peuvent être représentées par des cylindres dont les diamètres sont égaux au diamètre extérieur maximal des collerettes réelles et dont les hauteurs sont égales aux hauteurs des collerettes réelles.
– Les anneaux de garde peuvent être représentés par des formes toroïdales dont les dimensions et l'emplacement physique sont les mêmes que les éléments toroïdaux des anneaux de garde réels. L'omission des bras de fixation, qu'il est impossible de représenter dans un modèle axisymétrique, peut conduire à une surestimation de la contrainte de tension maximale. La représentation des bras de fixation dans des modèles à axe de symétrie et dans des modèles tridimensionnels est exposée en F.5.
– S'il est utilisé, le socle peut être représenté par un cylindre dont la section transversale permet de contenir la section transversale maximale du socle réel et dont la hauteur est égale à celle du socle réel. Réduire la hauteur du socle conduit à une contrainte de tension maximale supérieure dans la partie supérieure du parafoudre.
– Il convient que le câble haute tension soit représenté par un conducteur cylindrique vertical dont le diamètre n'est pas supérieur au diamètre du conducteur de ligne réel. Omettre le câble haute tension entraîne une contrainte de tension maximale supérieure dans la partie supérieure du parafoudre.

F.3 Modélisation des conditions aux limites

Dans le cas de parafoudres pour installations extérieures triphasées types, par exemple, dans des postes, les conditions aux limites sont déterminées par les distances qui les séparent des structures mises à la terre et des phases adjacentes. En général, il s'agit d'un véritable problème de champ électrique tridimensionnel, où il est nécessaire que l'amplitude et l'angle de phase des tensions appliquées soient pris en considération.

La procédure de calcul peut être simplifiée en réduisant la configuration d'origine triphasée tridimensionnelle (3D) à une configuration équivalente axisymétrique monophasée, qui peut être traitée grâce à un logiciel de calcul bidimensionnel (2D) facilement disponible. La configuration axisymétrique équivalente s'obtient en projetant le parafoudre au centre d'un cylindre mis à la terre, dont le rayon est déterminé par la distance minimale entre phase et terre recommandée par le constructeur. Il convient que la hauteur du cylindre mis à la terre soit à égale à 1,5 fois la hauteur totale du parafoudre, socle compris.

NOTE La configuration équivalente axisymétrique est valable pour une installation triphasée type, avec les trois parafoudres alignés, parallèlement à une structure mise à la terre, à une distance égale à la distance minimale recommandée entre phase et terre et avec la distance minimale recommandée entre phases, selon la représentation de la Figure F.1.

F.4 Procédure de calcul

La procédure de calcul peut être menée de deux façons différentes, comme décrit en F.4.1 et F.4.2, selon la façon dont les propriétés électriques de la colonne de résistances MO sont représentées. La représentation de la capacité seule (voir F.4.1) donne toujours des résultats prudents par comparaison avec la représentation combinée capacité/résistance (voir F.4.2), qui conduit à des contraintes moindres mais plus réalistes. Toute autre procédure de calcul qui aboutit aux mêmes résultats ou à des résultats plus prudents peut également être utilisée.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

F.4.1 Représentation capacitive de la colonne de résistances MO

Dans ce cas, la colonne de résistances MO est représentée exclusivement par sa capacité électrique (permittivité), en négligeant l'influence de la composante résistive. Cette approximation restrictive est justifiée tant que la contrainte de tension maximale calculée correspond à une tension d'essai U_{ct} inférieure à la tension de référence des résistances MO. Il convient que la contrainte de tension maximale soit déterminée sur une distance axiale qui ne dépasse pas 3 % de la longueur totale du parafoudre.

F.4.2 Représentation capacitive et résistive de la colonne de résistances MO

Dans ce cas, la colonne de résistances MO est représentée par sa capacité électrique en parallèle avec sa caractéristique résistive non linéaire. Cette représentation de la colonne de résistances MO conduit à une contrainte de tension maximale calculée plus réaliste que dans le cas d'une représentation de la capacité seule, plus restrictive.

En premier lieu, un calcul du champ électrique capacitif est effectué pour déterminer les capacités parasites à la terre. Ensuite, la caractéristique résistive est introduite et la répartition de tension est calculée en modélisant un circuit électrique. En général, un processus de calcul itératif est nécessaire en raison de la dépendance de la résistance à la température. Toutefois, il convient d'utiliser, comme approximation raisonnable, la caractéristique résistive constante à une température de +20 °C.

La Figure F.2 représente le circuit équivalent simplifié à plusieurs étages d'un parafoudre, qui peut être utilisé avec un programme de calcul de circuit électrique pour déterminer la répartition de tension en prenant en compte les effets capacitifs et résistifs. Le parafoudre est modélisé par des résistances qui dépendent de la tension, les capacités qui représentent la colonne de résistances MO et les capacités parasites à la terre. Chaque étage du circuit équivalent peut représenter une résistance MO simple, dans un cas extrême, ou une fraction de la colonne de résistances MO. Il convient que la longueur de chaque fraction ne dépasse pas 3 % de la longueur totale du parafoudre.

À partir des tensions obtenues aux nœuds avec, exclusivement, un calcul du type capacitif du champ électrique, selon F.4.1, les capacités parasites à la terre peuvent être déterminées comme suit:

$$C_{e,x} = \frac{(U_{x+1} - U_x) \times C_{MO,x+1} - (U_x - U_{x-1}) \times C_{MO,x}}{U_x} \quad (x = 1, 2, \ldots, n-1)$$

où

U_x est la tension au nœud x;

$C_{MO,x}$ est la capacité de la fraction x;

$C_{e,x}$ est la capacité parasite à la terre au niveau du nœud x;

n est le nombre de fractions.

NOTE Ces calculs peuvent fournir des valeurs négatives dans certains cas. Cela est dû au modèle choisi, avec toutes les capacités parasites reliées à la terre. On peut éviter des valeurs négatives en utilisant d'autres modèles ayant des représentations différentes des capacités parasites.

F.4.3 Détermination de U_{ct}

Le rapport entre U_{ct} et U_c dans la procédure d'essai de vieillissement accéléré (voir 8.4) est déterminé en divisant la contrainte de tension maximale calculée le long de la colonne complète de résistances MO (alimentée à $U = U_c$), par la contrainte de tension moyenne sur sa longueur.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

F.5 Exemples de calcul

Des exemples de calculs de la répartition de tension axiale pour un parafoudre à oxyde métallique type ont été effectués en utilisant deux méthodes de calcul différentes: la méthode des éléments finis (MEF) et la méthode des éléments limites (MEL). La méthode des éléments finis a été utilisée uniquement pour les calculs 2D, tandis que la méthode des éléments limites a été utilisée pour les calculs 2D et 3D.

Les exemples de calcul ont été effectués en utilisant la représentation capacitive et la représentation capacitive/résistive. Le modèle de parafoudre utilisé dans ces calculs est une représentation simplifiée d'un parafoudre type à plusieurs éléments, avec une enveloppe en porcelaine (voir Figure F.3a).

F.5.1 Modélisation du parafoudre et conditions aux limites

Les simplifications pour la modélisation du parafoudre ont été effectuées selon F.2, sauf pour les anneaux de garde, pour lesquels des approches différentes ont été adoptées, comme explicité ci-après.

On a supposé que le parafoudre type était équipé d'un anneau de garde de potentiel fixé par quatre bras, comme cela est indiqué à la Figure F.3a. Les différentes représentations de l'anneau de garde et de ses bras, qui correspondent aux différents degrés de simplification, sont indiquées à la Figure F.3b. Le premier modèle, qui utilise un anneau sans bras, a été utilisé dans des calculs 2D et 3D en hypothèse axisymétrique (cas A et D respectivement). Le second modèle a été utilisé pour étudier la faisabilité d'un rajout d'un anneau de garde «virtuel» dans les calculs axisymétriques, pour simuler l'influence des bras de l'anneau. Les calculs 2D et 3D ont été effectués simultanément (cas B et E respectivement). Le troisième modèle est une représentation tridimensionnelle de l'anneau de garde avec ses bras, utilisée uniquement pour le calcul 3D (cas F).

La permittivité relative des colonnes de résistances MO «équivalentes» a été fixée à 800, tandis que la permittivité relative des enveloppes en porcelaine a été fixée à cinq. Les conditions aux limites ont été choisies selon F.3, c'est-à-dire que le parafoudre est placé dans un cylindre relié à la terre dont le rayon est déterminé par les exigences de distance minimale à respecter.

F.5.2 Effet résistif des résistances à oxyde métallique

L'effet résistif des résistances à oxyde métallique a été introduit selon F.4.2. La caractéristique résistive non linéaire utilisée dans les calculs est présentée à la Figure F.4. L'influence résistive a été étudiée dans les calculs 2D avec l'anneau de garde «virtuel» (cas C) par comparaison avec le cas B, et dans les calculs 3D avec les bras de l'anneau (cas G) par comparaison avec le cas F.

Étant donné l'effet non linéaire introduit par la caractéristique résistive, il est nécessaire d'effectuer les calculs combinés capacitifs/résistifs à un niveau de tension donné. Pour les exemples de calcul, on suppose que U_C = 333 kV eff. (471 kV crête) à une fréquence de 50 Hz.

F.5.3 Résultats et conclusions des calculs de champ électrique

Les contraintes de tension maximales calculées sur la colonne de résistances à oxyde métallique de chaque élément sont résumées dans le Tableau F.1 pour les différents cas A à G. La contrainte de tension est exprimée en pourcentage de U_C par mètre de longueur de la colonne de résistances MO, en supposant que le parafoudre est alimenté à U_C = 100 %, conduisant à une contrainte de tension moyenne de 34,7 %/m. Les résultats du Tableau F.1 sont des valeurs moyennes obtenues à partir de plusieurs calculs en utilisant différents logiciels de calcul MEF et MEL. Des différences de 1 %/m à 2 %/m peuvent généralement être prévues. La contrainte maximale pour les trois éléments est également exprimée en termes

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

de rapport U_{ct}/U_c pour déterminer la tension de l'essai de vieillissement accéléré (voir F.4.3). Des résultats de calcul détaillés indiquant la contrainte de tension le long de la colonne de résistances sont représentés à la Figure F.5 pour le cas B.

En général, on peut en conclure que les calculs 2D et 3D donnent des résultats similaires (cas A contre D et cas B par rapport au E). Les temps de calcul sont toutefois plus longs de plusieurs ordres de grandeur si l'on utilise des méthodes de calcul 3D.

Sur la base des différentes simplifications de la modélisation du parafoudre exposées dans les paragraphes précédents, on peut tirer quelques conclusions générales du Tableau F.1:

– la contrainte de tension calculée dans l'élément supérieur est sensiblement inférieure si les bras de fixation de l'anneau de garde sont pris en compte dans le calcul 3D (cas A et D par rapport au cas F);
– la contrainte calculée est encore réduite dans les calculs 2D et 3D si les effets résistifs sont pris en compte (cas B par rapport au cas C et cas F par rapport au cas G);
– l'effet des bras de fixation de l'anneau de garde peut être simulé en introduisant un anneau de garde «virtuel» dans un modèle axisymétrique (cas B par rapport au cas F et cas C par rapport au cas G). Toutefois, on ne peut donner aucune règle générale sur le dimensionnement ou le positionnement correct de l'anneau de garde «virtuel» sur la base de ces résultats.

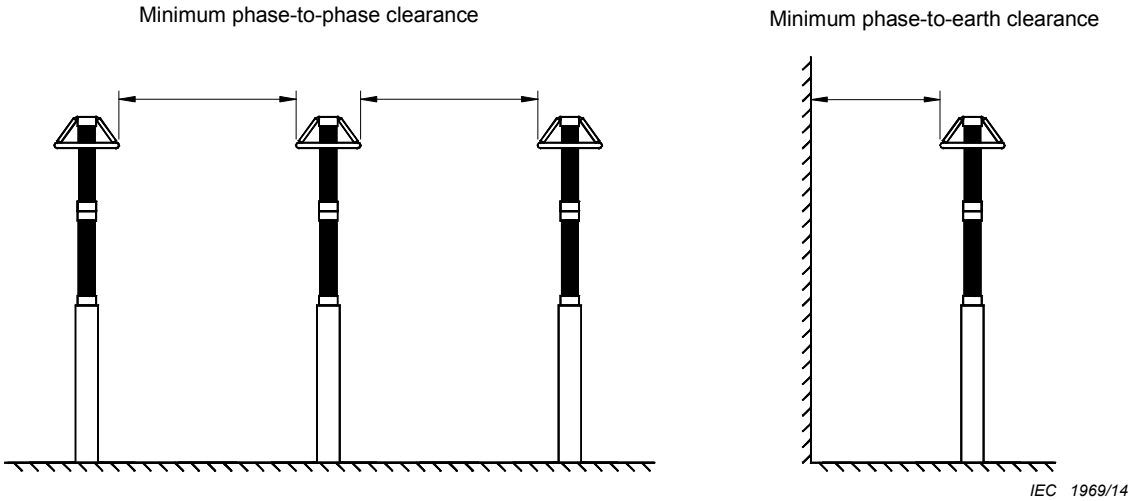
Tableau F.1 – Résultats d'exemples de calcul

Surge arrester model	Case	Maximum voltage stress			Maximum ratio U_{ct} / U_c
		Top unit	Middle unit	Bottom unit	
		% / m	% / m	% / m	p.u.
2D computations					
One grading ring	A	50	39	26	1,44
Two grading rings	B	44	40	27	1,27
Two grading rings, resistive effects	C	41	39	29	1,18
3D computations					
One grading ring	D	50	37	27	1,44
Two grading rings	E	43	38	28	1,24
One grading ring with four supports	F	44	39	27	1,27
One grading ring with four supports, resistive effects	G	41	39	28	1,18

Légende

Anglais	Français
Surge arrester model	Modèle de parafoudre
Case	Cas
Maximum voltage stress	Contrainte de tension maximale
Top unit	Élément supérieur
Middle unit	Élément intermédiaire
Bottom unit	Élément inférieur
Maximum ratio	Rapport maximum
2D computations	Calculs en 2D
One grading ring	Avec un anneau de garde
Two grading rings	Avec deux anneaux de garde
Two grading rings, resistive effects	Avec deux anneaux de garde et effets résistifs

Anglais	Français
3D computations	Calculs en 3D
One grading ring with four supports	Avec un anneau de garde à quatre bras
One grading ring with four supports, resistive effects	Avec un anneau de garde à quatre bras et effets résistifs



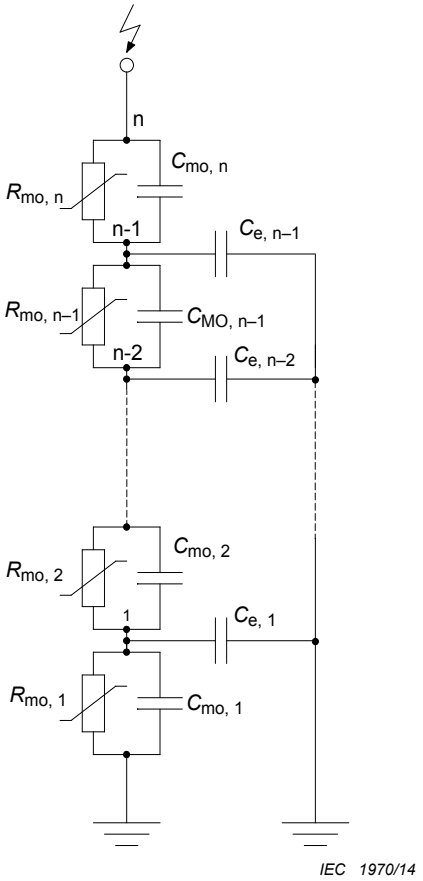
Légende

Anglais	Français
Minimum phase-to-phase clearance	Distance minimale entre phases
Minimum phase-to-earth clearance	Distance minimale phase-terre

Figure F.1 – Installation triphasée type de parafoudres

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION



Légende

$R_{mo, x}$ Résistance dépendant de la tension de la fraction x

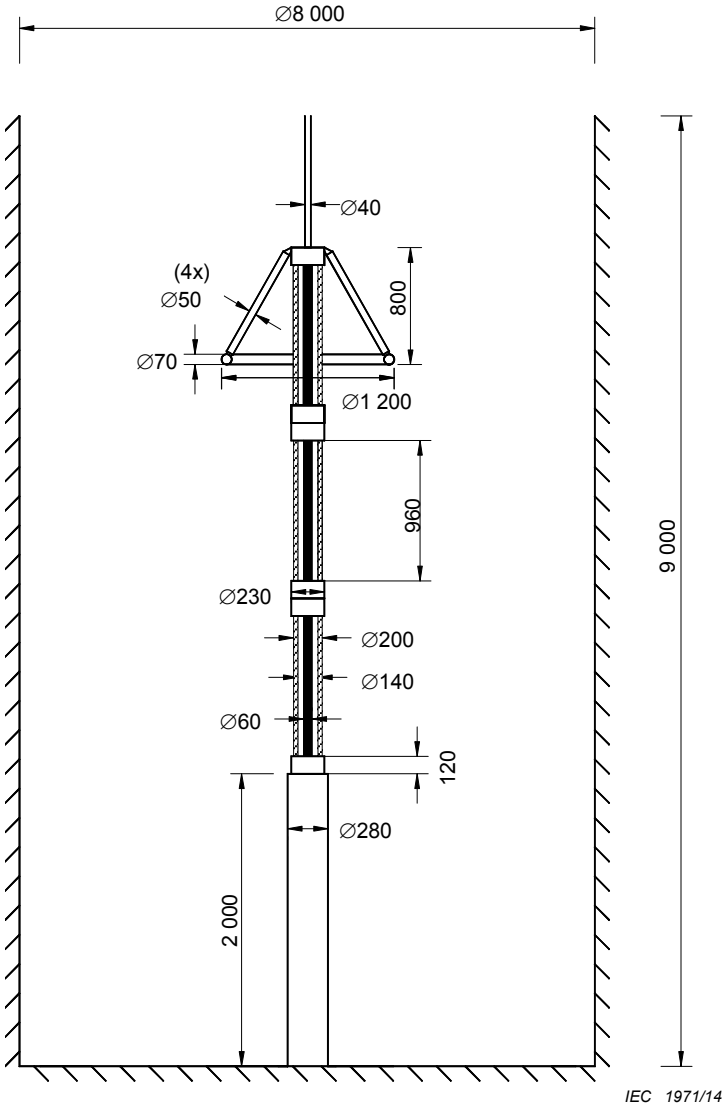
$C_{mo, x}$ Capacité de la fraction x

$C_{e, x}$ Capacité parasite à la terre au niveau du nœud x

n Nombre de fractions

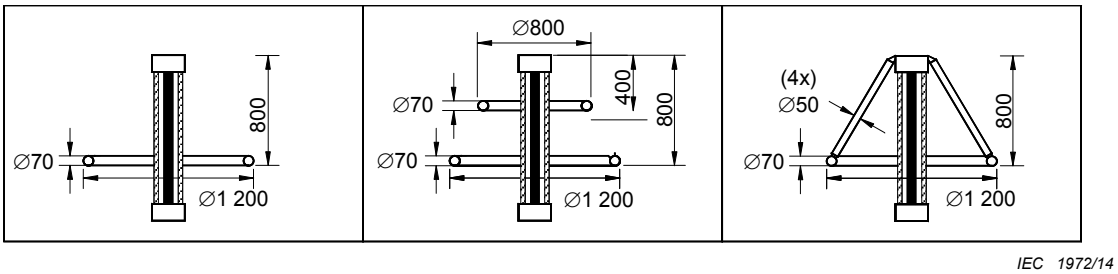
Figure F.2 – Circuit équivalent simplifié multiétages d'un parafoudre

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION



Dimensions en millimètres

Figure F.3a – Modèle simplifié d'un parafoudre à plusieurs éléments



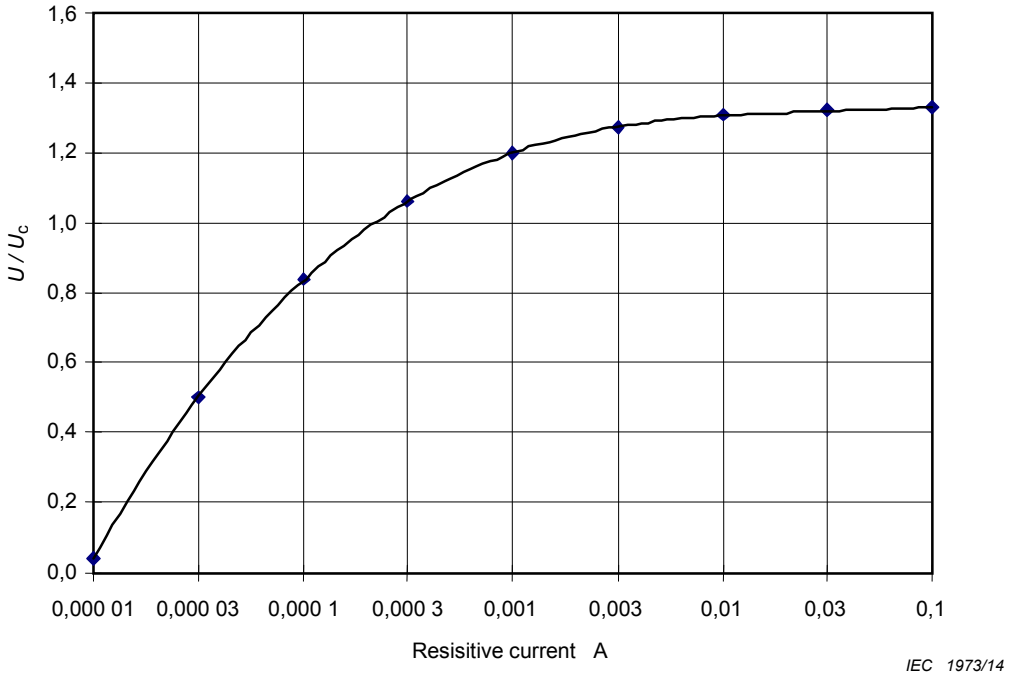
Cas A, D Cas B, C, E Cas F, G

Dimensions en millimètres

Figure F.3b – Différentes représentations de l'anneau de garde

Figure F.3 – Géométrie du modèle de parafoudre

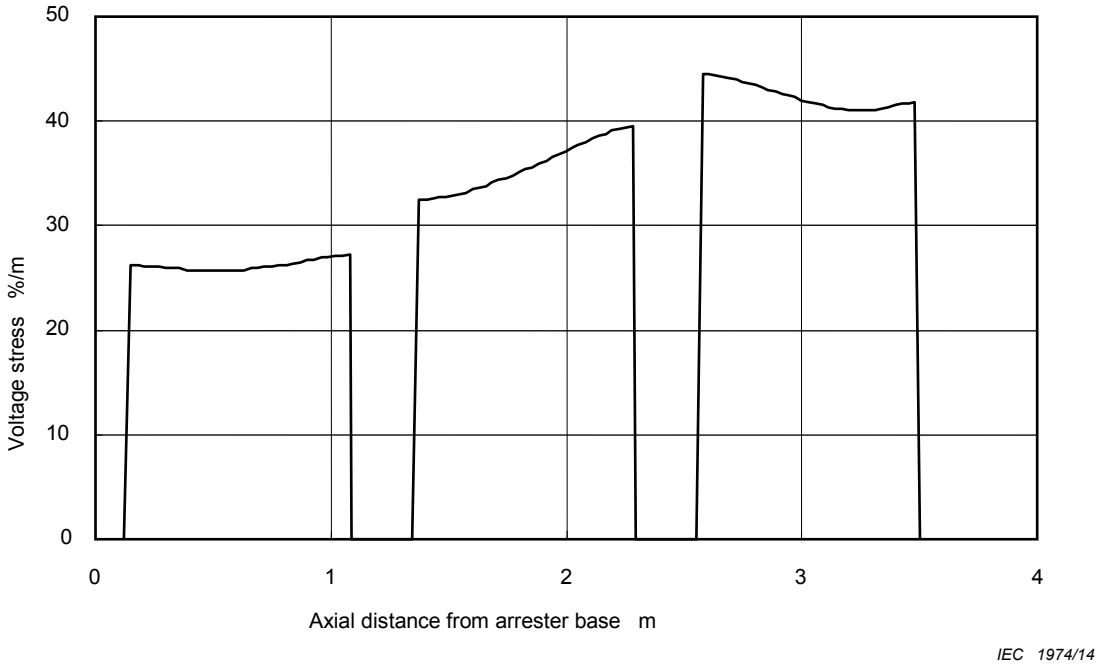
COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION



Légende

Anglais	Français
Resistive current	Courant résistif

Figure F.4 – Exemple de caractéristique courant-tension des résistances MO à une température de +20 °C dans la région des courants de fuite



Légende

Anglais	Français
Voltage stress	Contrainte de tension
Axial distance from arrester base	Distance axiale depuis l'embase du parafoudre

Figure F.5 – Répartition de la contrainte de tension calculée le long de la colonne de résistances MO dans le cas B

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

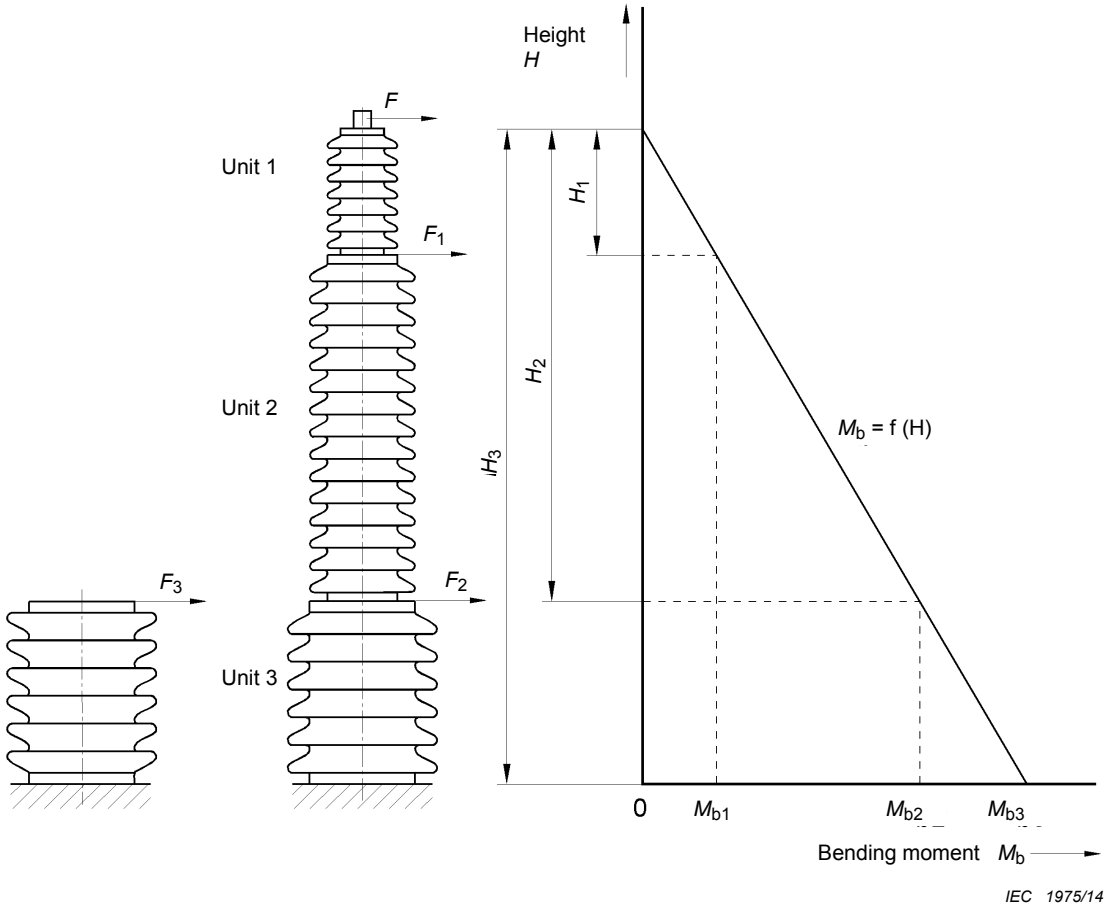
COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

Annexe G
(normative)

Considérations d'ordre mécanique

G.1 Essai de moment de flexion

Dans le cas d'un parafoudre à plusieurs éléments, chaque élément doit être soumis à un essai de moment de flexion selon la Figure G.1. L'effort exigé est calculé comme indiqué ci-après. Si les éléments ne diffèrent que par la longueur mais utilisent les mêmes matériaux et la même conception, il n'est pas nécessaire d'effectuer un essai sur chaque élément.



Légende

Anglais	Français
Height	Hauteur
Unit	Élément
Bending moment	Moment de flexion

Figure G.1 – Moment de flexion pour un parafoudre à plusieurs éléments

Lors de l'essai sur parafoudre complet, le moment appliqué à la collerette inférieure est $M_{b3} = F \times H_3$.

Le moment appliqué à la collerette supérieure de l'élément du bas est $M_{b2} = F \times H_2$.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

Si un élément est soumis à l'essai séparément (par exemple, l'élément 3), l'effort F_2 à appliquer à la collerette inférieure de l'élément 3 est le suivant:

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

$$F_2 = \frac{F \times H_3}{(H_3 - H_2)}$$

L'essai sur la collerette supérieure de l'élément 3 doit être effectué avec l'élément en position retournée. L'effort F_3 à appliquer à la collerette supérieure de l'élément 3 est le suivant:

$$F_3 \times (H_3 - H_2) = F \times H_2$$

$$F_3 = \frac{F \times H_2}{(H_3 - H_2)}$$

G.2 Essai sismique

Si, après accord entre le constructeur et l'utilisateur, des essais sismiques sont réalisés, les normes pertinentes applicables sont les suivantes:

- IEC 62271-300:
- IEC 62271-207:
- GB 50260
- JEAG 5003
- IEEE 693
- IEC/TS 61463

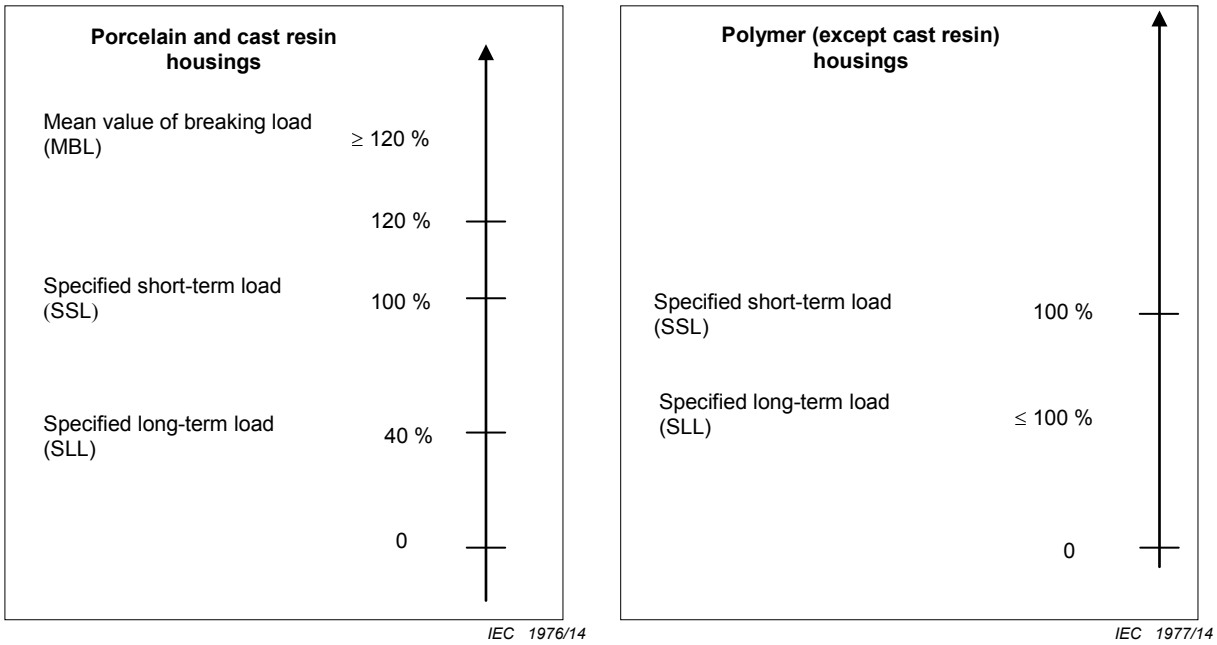
Afin de déterminer les modifications importantes des caractéristiques de fonctionnement d'un parafoudre avant et après l'essai sismique, les essais suivants doivent être réalisés:

- Mesure de la tension de référence;
- Essai de décharges partielles internes
- Contrôle d'étanchéité (pour les parafoudres avec volume interne de gaz et système d'étanchéité séparé)

G.3 Définition des efforts mécaniques

La Figure G.2 indique les relations entre les caractéristiques assignées des efforts mécaniques.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION



Légende

Anglais	Français
Porcelain and cast resin housings	Enveloppes en porcelaine et en résine moulée
Mean value of breaking load (MBL)	Valeur de l'effort moyen à la rupture (MBL)
Specified short-term load (SSL)	Effort à court terme spécifié (SSL)
Specified long-term load (SLL)	Effort à long terme spécifié (SLL)
Polymer (except cast resin) housings	Enveloppes synthétiques (sauf en résine moulée)

Figure G.2 – Définition des efforts mécaniques

G.4 Définition du taux de fuite

La Figure G.3 représente schématiquement un élément de parafoudre.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

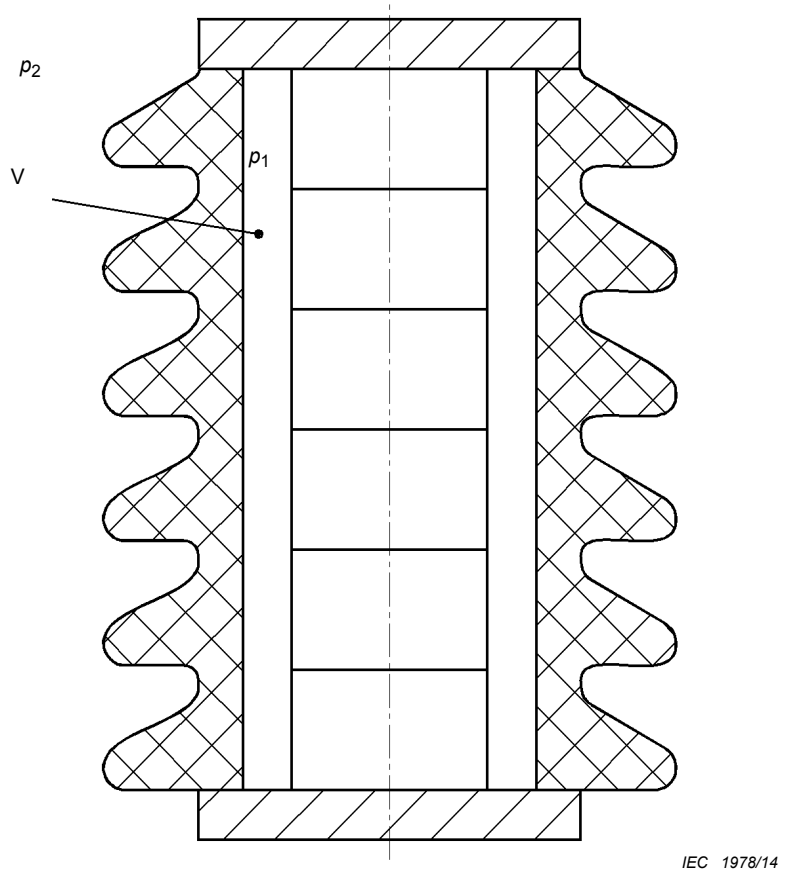


Figure G.3 – Élément de parafoudre

Le taux de fuite indique la quantité de gaz qui franchit l'étanchéité de l'enveloppe avec une différence de pression d'au moins 70 kPa, par unité de temps. Si l'efficacité du système d'étanchéité dépend de la direction du gradient de pression, le cas le plus défavorable doit être considéré.

Taux de fuite $= \dfrac{\Delta p_1 \times V}{\Delta t}$ à $|p_1 - p_2| \geq 70$ kPa et à une température de +20 °C ± 15 K,

où

$\Delta p_1 = p_1(t_2) - p_1(t_1)$;

$p_1(t)$ est la pression interne du gaz dans l'enveloppe du parafoudre en fonction du temps (Pa);

p_2 est la pression de gaz à l'extérieur du parafoudre (Pa);

t_1 est le début de l'intervalle de temps considéré (s);

t_2 est la fin de l'intervalle de temps considéré (s);

$\Delta t = t_2 - t_1$;

V est le volume interne de gaz du parafoudre (m^3).

G.5 Calcul du moment de flexion dû au vent

La Figure G.4 représente schématiquement un parafoudre assemblé.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

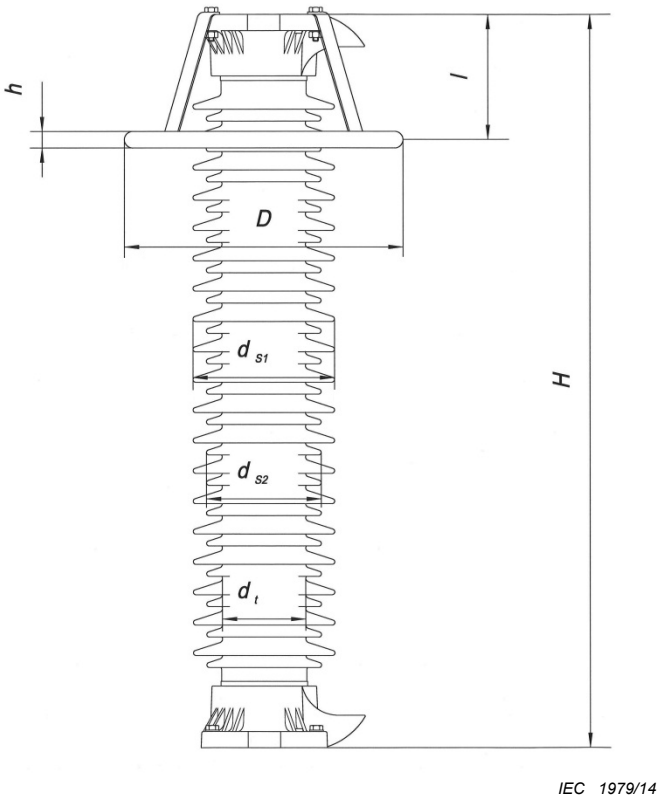


Figure G.4 – Dimensions du parafoudre

Le moment de flexion dû au vent est donné par la formule:

$$M_w = P \times H \times d_a \times C \times H/2 + P \times D \times h \times (H - l)$$

où

$P = (P_1/2) \times V^2$;

d_a = $(2d_t + d_{s1} + d_{s2})/4$ selon l'IEC 60815-2 ($d_{s1} = d_{s2}$ pour les ailettes non alternatives)

M_w est le moment de flexion dû au vent (Nm);

H est la hauteur du parafoudre (m);

d_a est la valeur moyenne du diamètre de l'isolateur (m);

h est l'épaisseur de l'anneau de garde (m);

D est le diamètre de l'anneau de garde (m);

l est la distance entre l'anneau de garde et la partie supérieure (m);

C est le coefficient de foisonnement des parties cylindriques, pris égal à 0,8;

P est la pression dynamique du vent (N/m^2);

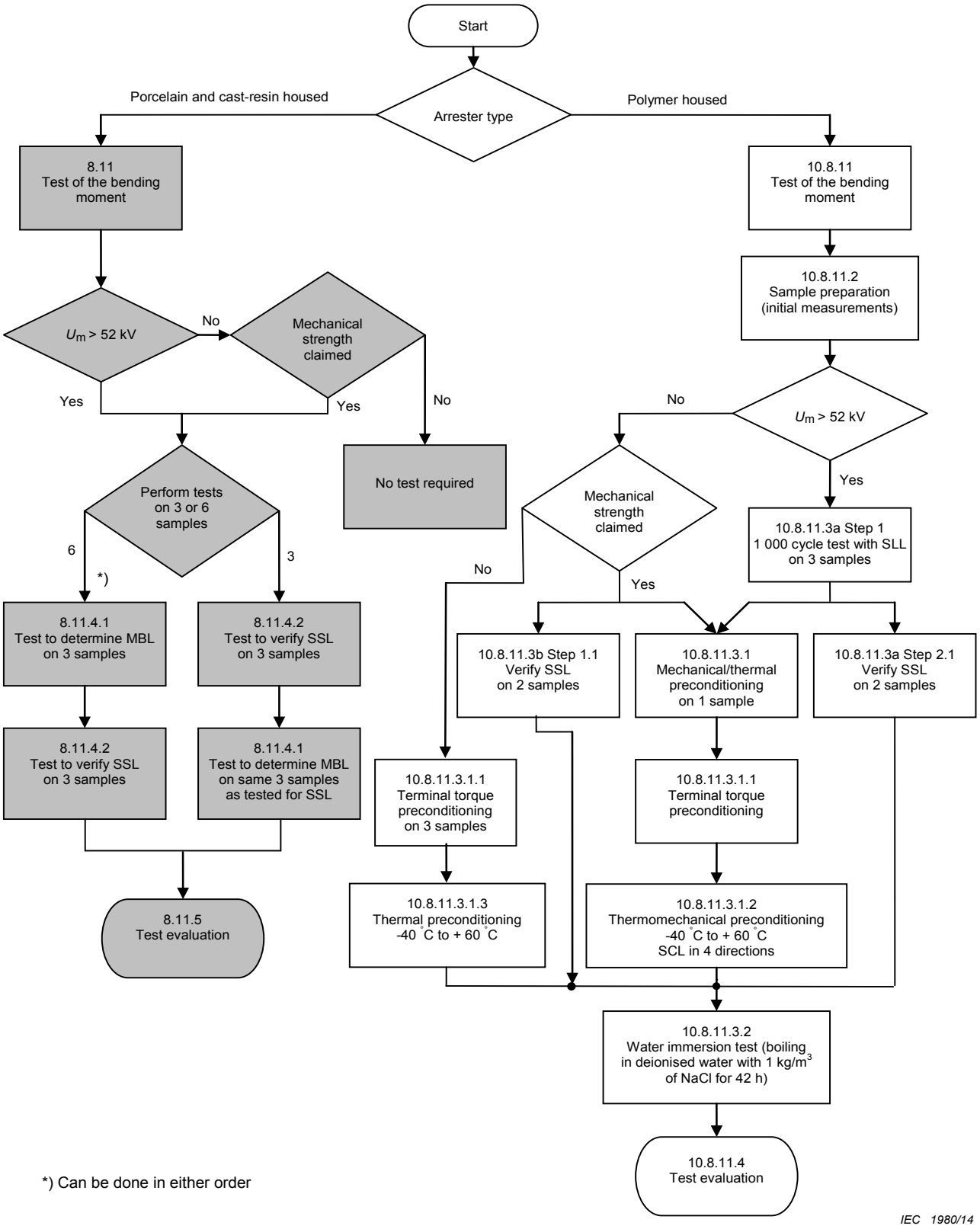
P_1 est la densité de l'air à 1,013 bar et à 0 °C, prise égale à 1,29 kg/m^3;

V est la vitesse du vent (m/s).

G.6 Procédures des essais de moment de flexion pour les parafoudres à enveloppe en porcelaine/résine moulée et les parafoudres à enveloppe synthétique

Un logigramme des procédures est présenté à la Figure G.5.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION



Légende

Anglais	Français
Start	Début
Porcelain and cast-resin housed	Enveloppe en porcelaine et en résine moulée

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

Anglais	Français
Arrester type	Type de parafoudre
Polymer housed	À enveloppe synthétique
Test of the bending moment	Essai de moment de flexion
Yes	Oui
No	Non
Mechanical strength claimed	Résistance mécanique revendiquée
Sample preparation (initial measurements)	Préparation des échantillons (mesures initiales)
Perform tests on 3 or 6 samples	Réaliser des essais sur 3 ou 6 échantillons
No test required	Aucun essai exigé
Step 1: 1000 cycle test with SLL on 3 samples	Étape 1: essai à 1 000 cycles avec SLL sur 3 échantillons
Test to determine MBL on 3 samples	Essai de détermination du MBL sur 3 échantillons
Test to verify SSL on 3 samples	Essai de vérification du SSL sur 3 échantillons
Step 1.1: Verify SSL on 2 samples	Étape 1.1: Vérifier le SSL sur 2 échantillons
Mechanical/thermal preconditioning on 1 sample	Préconditionnement mécanique/thermique sur 1 échantillon
Step 2.1: Verify SSL on 2 samples	Étape 2.1: Vérifier le SSL sur 2 échantillons
Test to determine MBL on same 3 samples as tested for SSL	Essai de détermination du MBL sur les 3 mêmes échantillons que ceux soumis à l'essai pour le SSL
Terminal torque preconditioning on 3 samples	Préconditionnement en torsion sur 3 échantillons
Terminal torque preconditioning	Préconditionnement en torsion
Test evaluation	Évaluation de l'essai
Thermal preconditioning -40°C to +60°C	Préconditionnement thermique compris entre -40 °C et +60 °C°
Thermomechanical preconditioning -40°C to +60°C, SCL in 4 directions	Préconditionnement thermomécanique compris entre -40 °C et +60 °C°, SCL selon 4 orientations différentes
Water immersion test (boiling in deionised water with 1 kg/m^3 of NaCl for 42 h)	Essai d'immersion dans l'eau (ébullition dans de l'eau déminéralisée avec 1 kg/m^3 de NaCl pendant 42 h)
Can be done in either order	Peut être réalisé dans n'importe quel ordre

Figure G.5 – Logigramme des procédures d'essai de moment de flexion

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

Annexe H
(normative)

Procédure d'essai pour déterminer la capacité de décharge au choc de foudre

H.1 Généralités

Cette procédure d'essai s'applique aux parafoudres utilisés sur des lignes (parafoudres NGLA) dont les tensions réseau sont U_s > 52 kV pour améliorer leurs performances au choc de foudre. En général, ces parafoudres sont soumis à des valeurs plus élevées de contraintes d'énergie et de courant causées par la foudre que les parafoudres installés dans les postes avec une protection efficace contre la foudre sur les lignes à l'arrivée. De plus, la forme d'onde anticipée de courant pour les cas décisifs, avec une durée de plusieurs dizaines de microsecondes pour les parafoudres appliqués sur les lignes protégées et plusieurs centaines de microsecondes pour les parafoudres sur les lignes non protégées, diffère considérablement des formes d'ondes spécifiées pour l'essai de fonctionnement des parafoudres et pour l'essai au choc de courant de longue durée.

Un choc d'une durée de 200 µs a été considéré comme un compromis convenable pour couvrir à la fois les applications types et l'effet de coups de foudre multiples.

Les parafoudres prévus pour cette application, doivent, par conséquent, être soumis aux essais conformément à l'essai de capacité de décharge au choc de foudre pour vérifier la capacité assignée de décharge au choc de foudre du parafoudre.

H.2 Choix des échantillons pour essai

Trois échantillons doivent être soumis aux essais. Ces échantillons doivent comprendre des parafoudres complets, des fractions de parafoudres ou des éléments résistifs. Ils ne doivent pas avoir été soumis à des essais auparavant sauf nécessité d'évaluation de cet essai.

Les échantillons à choisir pour l'essai de capacité de décharge au choc de foudre doivent avoir une tension résiduelle au courant nominal de décharge à l'extrémité la plus élevée de la plage de variation déclarée par le constructeur. De plus, dans le cas de parafoudres à plusieurs colonnes, la valeur la plus élevée d'une répartition inégale du courant doit être prise en compte. Pour satisfaire à ces exigences, les conditions suivantes doivent être satisfaites:

a) Le rapport entre la tension assignée du parafoudre complet et la tension assignée de la fraction est défini par n. Le volume des éléments de résistance MO utilisés comme échantillons pour essai ne doit pas être supérieur au volume minimal de tous les éléments de résistance MO utilisés dans le parafoudre complet divisé par n.

b) Il convient que la tension résiduelle de la fraction d'essai soit égale à $k*U_r/n$, où k est le rapport entre la tension résiduelle maximale avec le courant nominal de décharge normal du parafoudre et sa tension assignée. Lorsque $U_{res} > k*U_r/n$ pour un échantillon pour essai disponible, le facteur n est à réduire en conséquence. Si $U_{res} < k*U_r/n$, l'utilisation de la fraction n'est pas autorisée.

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 9.1e)). Pour chaque échantillon pour essai, le rapport du courant maximal dans une colonne quelconque sur le courant moyen, kA, est déterminé et comparé avec le rapport maximal, K_m, spécifié par le constructeur. La valeur la plus élevée de courant dans une colonne quelconque ne doit pas être supérieure à celle donnée par K_m.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

H.3 Procédure d'essai

Avant les essais, la tension résiduelle de choc de foudre au courant nominal de décharge de chaque échantillon pour essai doit être mesurée à des fins d'évaluation.

Chaque essai de capacité de décharge au choc de foudre doit comprendre 18 décharges divisées en six groupes de trois opérations. 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.

À l'issue des 18 décharges et après le refroidissement de l'échantillon a une température proche de la température ambiante, les essais de tension résiduelle, qui ont été réalisés avant l'essai, doivent être répétés pour comparer les valeurs avec celles obtenues avant l'essai et ces valeurs ne doivent pas avoir varié de plus de 5 %.

L'examen visuel des échantillons pour essai après l'essai doit révéler l'absence de toute trace de perforation, de contournement, de fissure ou d'autre détérioration importante des résistances MO.

Lorsque la conception rend le retrait des résistances MO impossible pour l'examen, un choc supplémentaire doit être appliqué après le retour de l'échantillon à la température ambiante. Si l'échantillon a résisté à ce 19ème choc sans dommage (vérification par enregistrement oscillographique), il est alors considéré comme ayant subi l'essai avec succès.

NOTE Concernant les éventuelles modifications dans la plage de courant à faible amplitude dues aux décharges de chocs de foudre, cela est considéré comme suffisamment couvert par les essais de fonctionnement des parafoudres actuels.

H.4 Paramètres de l'essai de capacité de décharge au choc de foudre

La valeur de crête du courant est choisie par le constructeur pour obtenir une énergie de décharge et une charge particulières. L'énergie ne doit pas être supérieure aux caractéristiques assignées d'énergie thermique spécifiées, W_{th}. Si cela n'est pas le cas, l'essai de fonctionnement des parafoudres doit être répété avec une énergie accrue pour couvrir l'énergie demandée.

La forme du choc de courant doit_être conforme à 3.32. La valeur de crête de toute onde de courant de polarité opposée doit être inférieure à 5 % de la valeur de crête du courant.

La valeur de crête du courant de chaque choc sur chaque échantillon pour essai doit être comprise entre 100 % et 110 % de la valeur de crête choisie.

H.5 Mesures au cours de l'essai de capacité de décharge au choc de foudre

L'énergie, la charge et le courant de crête doivent être consignés pour chaque choc ainsi que pour le temps pendant lequel la valeur instantanée du courant de choc est supérieure à 5 % de sa valeur de crête. Les oscillogrammes de la tension normalement appliquée et les formes d'onde du courant et l'énergie dissipée doivent être fournis sur la même base temporelle.

H.6 Capacité assignée de décharge au choc de foudre

Les valeurs moyennes de courant de crête, de charge et d'énergie doivent être calculées à partir des 18 décharges. L'énergie moyenne doit être divisée par la tension assignée de l'échantillon pour obtenir l'énergie spécifique. Pour les parafoudres à plusieurs colonnes, le

courant de crête, la charge et l'énergie de chaque échantillon pour essai doivent être multipliés par le facteur kA/K_m avant de déterminer la valeur moyenne.

La capacité assignée de décharge au choc de foudre du parafoudre est la combinaison de ce qui suit:

a) le courant de crête moyen le plus faible pour un des 3 échantillons pour essai;

b) une valeur d'énergie choisie dans la liste de K.7 inférieure ou égale à l'énergie spécifique la plus faible pour l'un quelconque des 3 échantillons pour essai;

c) une valeur de charge choisie dans la liste de K.8 inférieure ou égale à la charge moyenne la plus faible pour l'un quelconque des 3 échantillons pour essai.

H.7 Liste des valeurs assignées d'énergie

Les valeurs suivantes, exprimées en kJ/kV de tension assignée, sont normalisées comme valeurs assignées d'énergie: 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 14; 15; 16; 17; 18; 19; 20.

H.8 Liste des valeurs assignées de charge

Les valeurs suivantes, exprimées en Coulomb, sont normalisées comme valeurs assignées de charge: 0,4; 0,6; 0,8; 1; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2; 2,4; 2,8; 3,2; 3,6; 4; 4,4; 4,8; 5,2; 5,6; 6; 6,4; 6,8; 7,2; 7,6; 8; 8,4; 8,8; 9,2; 9,6; 10.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

Annexe I
(normative)

Détermination de la température initiale dans les essais incluant la vérification de la stabilité thermique

Cette procédure est nécessaire uniquement pour les parafoudres destinés à être utilisés sur des réseaux de U_s > 800 kV.

Un parafoudre complet doit être soumis à l'essai. Le parafoudre doit être installé dans des conditions les plus réalistes possibles prenant en compte une installation triphasée réelle. Étant donné que l'essai est vraisemblablement à effectuer dans une configuration monophasée, une installation réaliste peut être établie au moyen de calculs qui comparent l'installation d'essai avec l'installation réelle afin d'obtenir approximativement la même répartition de tension le long du parafoudre tant dans les conditions d'essai que dans les conditions pratiques.

La température ambiante pendant l'essai ne doit pas varier de plus de ± 5 K. La température d'au moins deux résistances MO dans chaque colonne et dans chaque élément de parafoudre doit être mesurée dans les éléments proches d'un anneau de garde (en dessous et au-dessus), la température d'au moins une résistance pour tous les autres éléments. Lorsque deux points de mesure sont utilisés, ils doivent être situés environ à 1/3 et 2/3 de la longueur partant du sommet de l'élément. Lorsqu'un point de mesure est utilisé, celui-ci doit être situé environ à 1/3 de la longueur partant du sommet de l'élément. Lorsque trois points de mesure ou plus sont utilisés, ils doivent être répartis de manière égale sur toute la longueur de l'élément.

Afin de déterminer la température initiale dans les essais incluant la vérification de la stabilité thermique, la procédure par étapes successives suivante doit être utilisée.

1) Mesurer la tension de référence, $_{Urefa}$, du parafoudre complet et déterminer le rapport, k, de la tension de référence minimale déclarée par le constructeur, U_{refmin}, U_{refa} ne doit pas être inférieure à U_{refmin}.
2) Mettre le parafoudre sous une tension U_{ca} égale à k fois la tension revendiquée U_c pour le parafoudre, jusqu'à ce que des températures de régime permanent soient atteintes dans le parafoudre.
3) Déterminer la température moyenne de régime permanent du parafoudre, T_{ar1}. La température moyenne est déterminée à partir des points de mesure par une pondération du rapport de la tension assignée de l'élément sur la tension assignée du parafoudre complet (voir Annexe J). Pour les parafoudres à plusieurs colonnes, il est essentiel de s'assurer que les différentes colonnes ont environ la même puissance absorbée. La tension de référence des colonnes, mesurée avant le début de l'essai, ne doit par conséquent pas s'écarter de plus de ± 1 % et l'augmentation de la température ne doit pas s'écarter pour sa part de plus de ± 20 % entre les différentes colonnes.
4) À la même température ambiante que celle utilisée pour l'essai réalisé sur le parafoudre complet, mettre une fraction thermiquement correcte (vérifiée selon l'Annexe B) du parafoudre sous la tension, U_{cs}, qui produit la même température moyenne (+5/-0 K) que pour le parafoudre complet. Cette tension peut être bien plus élevée qu'une tension équivalente U_c déterminée à partir du rapport de la tension de référence de l'élément sur la tension de référence du parafoudre complet, en raison de l'effet de la répartition de tension non linéaire. Placer ensuite l'élément thermique dans une enceinte en air calme à une température ambiante de 40 °C et la mettre sous une tension U_{cs} jusqu'à ce que les températures de régime permanent des résistances MO soient atteintes. Pour les parafoudres à plusieurs colonnes, il est essentiel de s'assurer que les différentes colonnes ont environ la même puissance absorbée. La tension de référence des colonnes, mesurée avant le début de l'essai, ne doit par conséquent pas s'écarter de plus

de ± 1 % et l'augmentation de la température ne doit pas s'écarter pour sa part de plus de ± 20 % entre les différentes colonnes. Déterminer la température moyenne, T_{ars}, des résistances MO. Si le résultat est supérieur à 60 °C cette température doit être utilisée comme température de préchauffage; dans le cas contraire, une température de 60 °C doit être utilisée.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

Annexe J
(normative)

Détermination de la température moyenne d'un parafoudre haute tension à plusieurs éléments

L'approche suivante doit être retenue si la température moyenne T_{ar} d'un parafoudre haute tension à plusieurs éléments doit être déterminée par des mesures de température.

Nombre minimum exigé de points de mesure: dans les éléments proches d'un anneau de garde (en dessous et au-dessus), au moins deux, dans tous les autres éléments, au moins un.

Pour le calcul de la moyenne, chaque point de mesure de la température représente la fraction suivante de la tension assignée

$$U_{r,\ repr} = U_{r,unit} / n_{mp}$$

avec

$U_{r,repr}$ = tension assignée représentative de l'élément

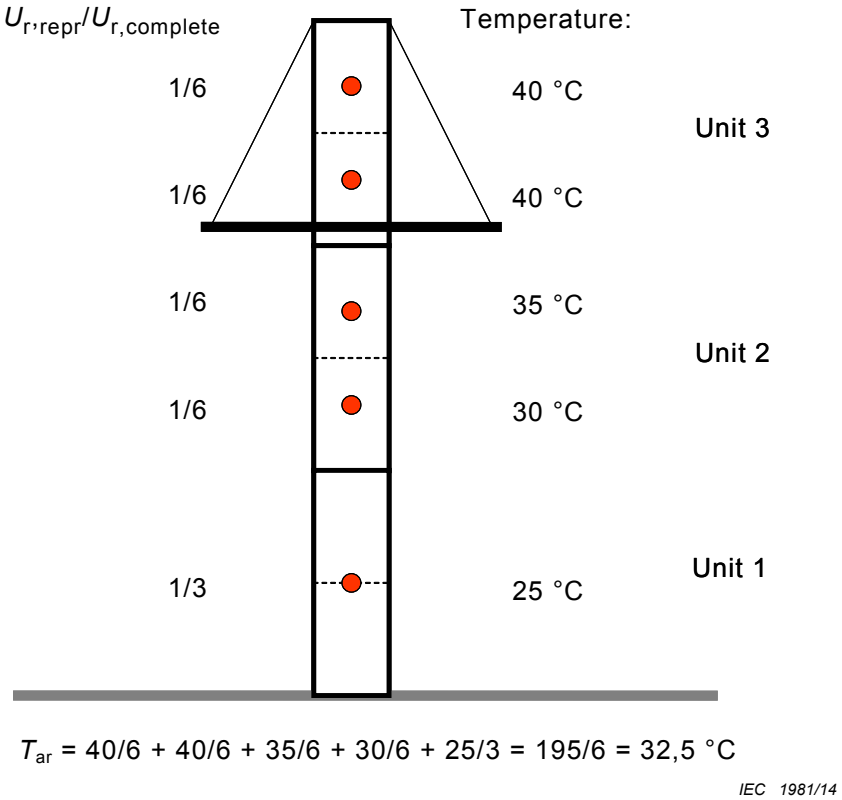
$U_{r,unit}$ = tension assignée de l'élément

n_{mp} = nombre de points de mesure par élément

La température mesurée au-delà de la température ambiante de chaque point de mesure est ensuite pondérée avec le rapport de sa tension assignée représentative sur la tension assignée du parafoudre complet: $U_{r,repr} / U_{r,complet}$.

L'exemple donné à la Figure J.1 représente un parafoudre à trois éléments où tous les éléments ont la même tension assignée:

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

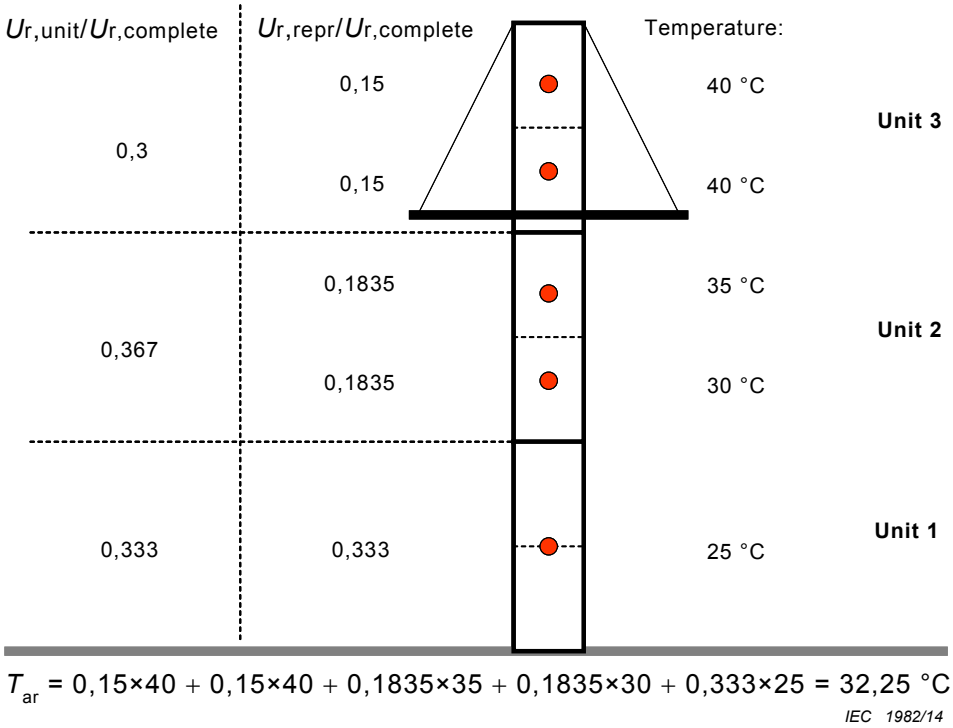


Légende

Anglais	Français
Temperature	Température
Unit	Élément
$U_{r,complete}$	$U_{r,complet}$

Figure J.1 – Détermination de la température moyenne dans le cas d'éléments de parafoudre de mêmes tensions assignées

L'exemple donné à la Figure J.2 représente la même situation lorsque tous les éléments ont des tensions assignées différentes:



Légende

Anglais	Français
Temperature	Température
Unit	Élément
$U_{r,Complete}$	$U_{r,complet}$
$U_{r,unit}$	$U_{r,élément}$

Figure J.2 – Détermination de la température moyenne dans le cas d'éléments de parafoudre de tensions assignées différentes

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

Annexe K
(informative)

Exemple de calcul des paramètres d'essai pour l'essai de fonctionnement des parafoudres (8.7) selon les exigences du (7.3)

Données techniques du parafoudre

- Tension assignée: $U_{r,\ parafoudre}$ = 198 kV
- Tension de référence minimale: $U_{refmin,\ parafoudre}$ = 194 kV
- Tension de régime permanent: $U_{c,\ parafoudre}$ = 154 kV
- Niveau de protection contre les chocs de foudre U_{pl} égal à la tension résiduelle maximale au
- courant nominal de décharge I_n = 10 kA: $U_{pl,\ parafoudre}$ = 475 kV
- Tension résiduelle minimale au courant nominal de décharge I_n = 10 kA: $U_{resmin,\ parafoudre}$ = 460 kV
- Énergie thermique assignée: W_{th} = 10 kJ/kV

Données techniques des résistances à oxyde métallique (MO)

- Plage de tensions résiduelles à 10 kA, 8/20 µs: 9,0 kV à 10,0 kV

Paramètres d'essai d'une fraction de parafoudre

- Échantillon pour essai consistant en deux résistances à oxyde métallique en série ($N_{échantillon}$ = 2)
- Calcul de la tension assignée de l'échantillon $U_{r\ corr,\ échantillon}$

  selon 7.3 a)

  – pour satisfaire à l'exigence de volume minimal, les résistances MO avec la tension résiduelle maximale de 10 kV sont choisies pour la tension résiduelle minimale du parafoudre:

    $N_{parafoudre} = U_{resmin,\ parafoudre} / U_{resmax,résistance\ MO}$ = 460 kV / 10 kV = 46

  – $n = N_{parafoudre} / N_{échantillon}$ = 46 / 2 = 23

  – $U_{r,\ échantillon} = U_{r,parafoudre}$ / n = 198 kV / 23 = 8,61 kV

  – Correction selon 7.3 b)

  – $k = U_{refmin,\ parafoudre} / U_{r,\ parafoudre}$ = 194 kV / 198 kV = 0,98

  – tension de référence de l'échantillon pour essai mesurée (par exemple): $U_{ref,\ échantillon}$ = 8,70 kV

  – $k \times U_{r,parafoudre} / n$ = 0,98 × 198 kV / 23 = 8,44 kV

  – $U_{ref,\ échantillon} > k \times U_{r,\ parafoudre} / n$

  – Correction: $n_{corr} = U_{refmin,\ parafoudre} / U_{ref,\ échantillon}$= 194 kV / 8,70 kV = 22,3

  – $U_{r\ corr,\ échantillon} = U_{r,\ parafoudre} / n_{corr}$ = 198 kV / 22,3 = 8,88 kV

- Calcul de la tension de régime permanent de l'échantillon $U_{c,\ échantillon}$

  selon 7.3 e)

  – $U_{c,\ échantillon} = (U_{c,\ parafoudre}/U_{r,\ parafoudre}) \times U_{r\ corr,\ échantillon}$= (154 kV/198 kV) × 8,88 kV = 6,91 kV

- Calcul de l'injection d'énergie thermique exigée

  – $W_{th,\ échantillon} = W_{th} \times U_{r\ corr,\ échantillon}$ = 10 kJ/kV × 8,88 kV = 88,8 kJ

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

Annexe L
(informative)

Comparaison de l'ancien système de classification de l'énergie sur la base des classes de décharge de ligne, avec le nouveau système de classification sur la base des caractéristiques assignées d'énergie thermique pour les essais de fonctionnement des parafoudres et des caractéristiques assignées de transfert de charges répétitives pour les types d'énergie simple

Afin de démontrer la capacité de tenue énergétique des parafoudres, des "essais de tenue au choc de foudre de longue durée" et des "essais de fonctionnement des parafoudres au choc de manœuvre" sont à effectuer selon l'IEC 60099-4 Éd. 2.2. L' “essai de tenue au choc de foudre de longue durée” est à réaliser sur des résistances à oxyde métallique simples et est, par conséquent, un essai lié aux résistances MO. L' “essai de fonctionnement des parafoudres au choc de manœuvre" est à réaliser sur des fractions distribuées au prorata – qui représentent le comportement électrique et thermique du parafoudre complet – afin de vérifier la récupération thermique après la dissipation d'énergie selon la classe de décharge de ligne spécifique. Il est par conséquent associé à la caractéristique des résistances MO et à la conception globale du parafoudre complet.

Les paramètres pour l'ancien essai de décharge de ligne ont été spécifiés en vue d'obtenir, pour un rapport donné entre la tension résiduelle au choc de manœuvre et la tension assignée, des valeurs d'énergie croissantes avec les classes de décharge de ligne. Toutefois, l'énergie dissipée dans les échantillons pour essai pendant l'essai dépend fortement de la tension résiduelle réelle des résistances MO soumises à essai et notamment pour les classes de décharge de ligne supérieures 3 à 5 comme le montre la Figure L.1. Ainsi, la tension résiduelle minimale du parafoudre est importante, et non la tension résiduelle maximale spécifiée, pour l'estimation de l'énergie de décharge. Grâce à l'augmentation du niveau de protection d'un parafoudre, par exemple, en ajoutant un plus grand nombre de résistances MO en série, l'énergie d'essai de décharge peut être réduite et une classe de décharge de ligne supérieure peut être revendiquée pour le même type de résistances Il est de ce fait difficile de comparer la capacité de tenue énergétique réelle d'un parafoudre par uniquement les caractéristiques assignées de décharge de ligne lorsque l'énergie d'essai réelle n'est pas également connue.

Pour référence, le Tableau 4 et le Tableau 5, ainsi que la Figure E.1 de l'IEC 60099-4 Éd. 2.2, qui fournissent des informations pertinentes pour la présente analyse, sont reproduits ici en tant que Tableau L.1, Tableau L.2 et Figure L.1, respectivement.

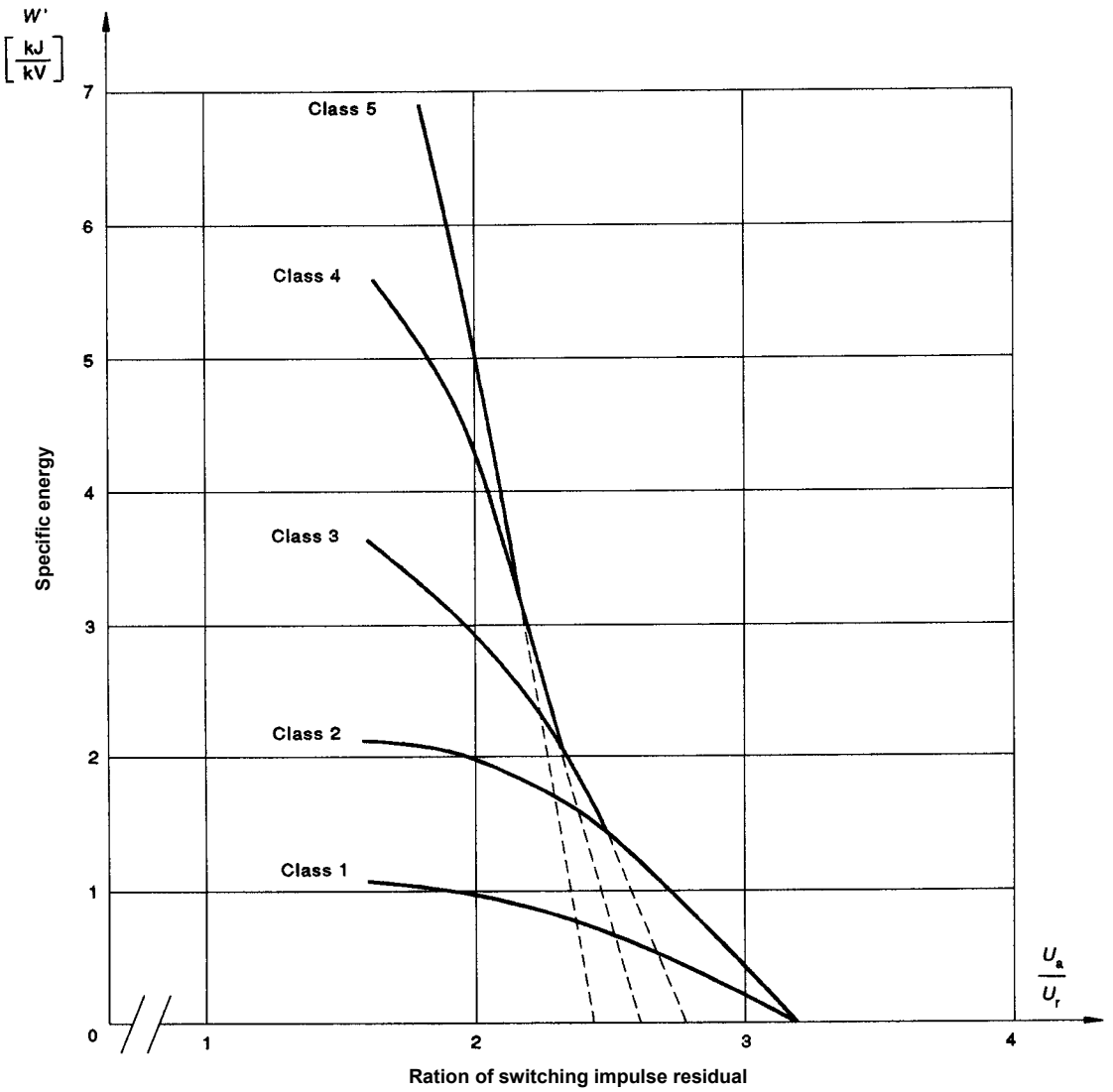
Tableau L.1 – Valeurs de crête des courants pour l'essai de tension résiduelle au choc de manœuvre
(Reproduction du Tableau 4 de l'IEC 60099-4:2009)

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

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

Tableau L.2 – Paramètres pour l'essai de décharge de ligne sur les parafoudres 20 000 A et 10 000 A
(Reproduction du Tableau 5 de l'IEC 60099-4:2009)

Classification des parafoudres	Classe de décharge de ligne	Impédance d'onde de la ligne Z Ω	Durée conventionnelle de la crête T µs	Tension de charge U_L 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	2400	2,8 U_r
20 000 A	4	0,8 U_r	2800	2,6 U_r
20 000 A	5	0,5 U_r	3200	2,4 U_r
U_r est la tension assignée de l'échantillon soumis à l'essai en kilovolts, valeur efficace.				
NOTE Les classes 1 à 5 correspondent à des exigences concernant une décharge croissante. Le choix de la classe de décharge appropriée est fonction des exigences du réseau et fait l'objet de l'Annexe E.				



COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

Légende

Anglais	Français
Specific energy	Énergie spécifique
Class	Classe
Ration of switching impulse residual voltage	Rapport de la tension résiduelle au choc de manœuvre
Parameter: line discharge class	Paramètre: classe de décharge de ligne

Figure L.1 – Énergie spécifique en kJ par kV de tension assignée en fonction du rapport de la tension résiduelle au choc de manœuvre (U_a) à la valeur efficace de la tension assignée U_r du parafoudre

(Reproduction de la Figure E.1 de l'IEC 60099-4 Éd. 2.2)

Les courbes de la Figure L.1 sont issues de la formule

$$W' = \frac{U_{res}}{U_r}\left[\frac{U_L}{U_r} - \frac{U_{res}}{U_r}\right] \times \frac{U_r}{Z} \times T \qquad (L.1)$$

où

U_r est la tension assignée (valeur efficace);

U_L est la tension de charge du générateur;

W' est l'énergie spécifique égale à l'énergie divisée par la tension assignée;

U_{res} est la tension résiduelle au courant de choc de manœuvre (voir Tableau L.1);

Z est l'impédance d'onde de la ligne;

T est la durée conventionnelle de la crête du courant.

Dans le nouveau système, les classes de décharge de ligne sont remplacées par des caractéristiques assignées de charge afin de vérifier par essai la tenue énergétique simple répétitive d'une résistance MO et par des caractéristiques assignées d'énergie afin de vérifier par essai la récupération thermique d'un parafoudre après dissipation de l'énergie.

Généralement, les désignations suivantes sont utilisées dans la présente Annexe:

U_r	tension assignée
LDC	line discharge class (classe de décharge de ligne)
U_{pl}	niveau de protection contre les chocs de foudre
W	énergie = $U_{res}\cdot(U_L - U_{res})\cdot 1/Z\cdot T$ (énergie d'essai minimale exigée)
$U_{resmax}(I)$	tension résiduelle maximale à un courant de choc de manœuvre donné selon le Tableau L.1
$U_{resmin}(I)$	tension résiduelle minimale à un courant de choc de manœuvre donné I selon le Tableau L.1
U_L; Z; T	paramètres d'essai selon le Tableau L.2

Le Tableau L.3 compare l'ancien système (IEC 60099-4 Ed. 2.2) et le nouveau système (IEC 60099-4 Ed. 3.0) pour les configurations système typiques.

NOTE Les informations présentées ici ne sont pas normatives; elles sont fournies à titre illustratif pour comparer l'ancien système au nouveau.

Les énergies de décharge dans les différentes classes de décharge de ligne sont données avec les hypothèses suivantes:

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

a) Niveau de protection maximum contre les chocs de manœuvre U_{resmax} (I_{max}) = 2,0 × U_r avec des courants maximums dans le Tableau L.1.

b) Niveau de protection minimum contre les chocs de manœuvre U_{resmin} (I_{max}) = 1,9 × U_r avec des courants maximums dans le Tableau L.1.

c) Tension résiduelle minimale U_{resmin} (I_{min}) = 1,8 × U_r avec des courants minimums dans le Tableau L.1.

Cinq exemples sont alors donnés pour démontrer de manière plus détaillée la relation entre les anciennes classes de décharge de ligne et la nouvelle classification en termes de caractéristiques assignées d'énergie thermique, de caractéristiques assignées de transfert de charges répétitives et de niveau de protection.

Tableau L.3 – Comparaison du système de classification selon l'IEC 60099-4:2009 (Ed.2.2) et l'IEC 60099-4:2014 Éd. 3.0

Ancienne LDC	Énergie d'essai minimale exigée[a] kJ/kV	Nouvelles caractéristiques assignées d'énergie thermique correspondantes selon 8.7.3 < W_{th} kJ/kV	Courant estimé avec l'ancien essai LD[b] A	Charge calculée avec les mêmes courant et durée que pour l'ancien essai LDC afin d'obtenir l'énergie minimale exigée C	Nouvelles caractéristiques assignées de transfert de charges répétitives correspondantes selon 8.5.4 Q_{rs} C	Valeur d'essai de transfert de charges répétitives (= 1,1 × Q_{rs}) C
1	1,0	2	277	0,56	0,5	0,55
2	2,1	4	538	1,10	1	1,10
3	3,3	7	721	1,78	1,6	1,76
4	5,0	10	962	2,75	2,4	2,64
5	6,9	14	1118	3,75	3,6	3,96

a Calculée avec U_{resmin} (I_{min}) = 1,8 × U_r (voir Figure L.1)

b Estimé sur la base des paramètres LD et à partir de b) et c) ci-dessus

Les résistances MO avec la tension résiduelle la plus élevée acceptable du modèle doivent être soumises à l'essai. Ceci peut réduire par ailleurs la charge assignée choisie.

Exemples particuliers:

Exemple 1:

U_r = 120 kV

LDC = 2

I_n = 10 kA

U_{pl} = 300 kV

$U_{resmax\ (500\ A)}$ = 233 kV (1,94 × U_r)

$U_{resmin\ (500\ A)}$ = 0,95 × $U_{resmax\ (500\ A)}$ = 221 kV

$U_{resmax\ (125\ A)}$ = 220 kV

$U_{resmin\ (125\ A)}$ = 0,95 × $U_{resmax\ (125\ A)}$ = 209 kV

Calcul:

- Énergie d'essai minimale: W = 254 kJ ⇒ W/U_r = 2,12 kJ/kV

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

- À appliquer à deux reprises pour l'essai de fonctionnement des parafoudres au choc de manœuvre ⇒ 4,24 kJ/kV
- Caractéristiques assignées d'énergie thermique (***nouvelles***) selon 8.7.3: W_{th} = 4 kJ/kV
- Courant avec LD: I = 558 A
- Charge calculée avec les mêmes courant et durée que pour LD afin d'obtenir l'énergie minimale exigée: Q = 1,14 C
- Caractéristiques assignées de transfert de charges répétitives (*nouvelles*) selon 8.5.4: Q_{rs} = 1,2 C (c'est-à-dire valeur d'essai = 1,32 C)

Exemple 2:

Ur	= 120 kV
LDC	= 3
I_n	= 10 kA
U_{pl}	= 360 kV
$U_{resmax\ (1\ 000\ A)}$	= 289 kV (2,41 × U_r)
$U_{resmin\ (1\ 000\ A)}$	= 0,95 × $U_{resmax\ (1\ 000\ A)}$ = 274,6 kV
$U_{resmax\ (250\ A)}$	= 270 kV
$U_{resmin\ (250\ A)}$	= 0,95 × $U_{resmax\ (250\ A)}$ = 256,5 kV

Calcul:

- Énergie d'essai minimale: W = 313,7 kJ ⇒ W/U_r = 2,61 kJ/kV
- À appliquer à deux reprises pour l'essai de fonctionnement des parafoudres au choc de manœuvre ⇒ 5,22 kJ/kV
- Caractéristiques assignées d'énergie thermique (***nouvelles***) selon 8.7.3: W_{th} = 5 kJ/kV
- Courant avec LD: I = 475 A
- Charge calculée avec les mêmes courant et durée que pour LD afin d'obtenir l'énergie minimale exigée: Q = 1,2 C
- Caractéristiques assignées de transfert de charges répétitives (*nouvelles*) selon 8.5.4: Q_{rs} = 1,2 C (c'est-à-dire valeur d'essai = 1,32 C)

Les exemples 1 et 2 montrent que les parafoudres avec des classes de décharge de ligne différentes (2 et 3) génèrent les mêmes caractéristiques assignées de transfert de charges répétitives et presque les mêmes caractéristiques assignées d'énergie thermique lorsque l'on modifie le niveau de protection contre les chocs de manœuvre en conséquence. Dans l'exemple 2, noter également que le niveau de protection du parafoudre est nettement plus important que la valeur typique utilisée dans le Tableau L.1, ce qui réduit l'énergie de décharge jusqu'à une valeur type pour LDC 2.

Exemple 3:

U_r	= 120 kV
LDC	= 3
I_n	= 10 kA
U_{pl}	= 300 kV
$U_{resmax\ (1\ 000\ A)}$	= 241 kV (2,01·U_r)
$U_{resmin\ (1\ 000\ A)}$	= 0,95 × $U_{resmax\ (1\ 000\ A)}$ = 229,0 kV
$U_{resmax\ (250\ A)}$	= 225 kV
$U_{resmin\ (250\ A)}$	= 0,95 × $U_{resmax\ (250\ A)}$ = 213,8 kV

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

Calcul:

- Énergie d'essai minimale: W = 402,0 kJ ⇒ W/U_r = 3,35 kJ/kV
- À appliquer à deux reprises pour l'essai de fonctionnement des parafoudres au choc de manœuvre ⇒ 6,7 kJ/kV
- Caractéristiques assignées d'énergie thermique (*nouvelles*) selon 8.7.3: W_{th} = 7 kJ/kV
- Courant avec LD: I = 722 A
- Charge calculée avec les mêmes courant et durée que pour LD afin d'obtenir l'énergie minimale exigée: Q = 1,8 C
- Caractéristiques assignées de transfert de charges répétitives (*nouvelles*) selon 8.5.4: Q_{rs} = 1,6 C ou Q_{rs} = 2,0 C (c'est-à-dire valeur d'essai = 2,2 C)

L'exemple 3, par comparaison avec l'exemple 1, montre qu'une classe de décharge de ligne supérieure produit des exigences plus strictes concernant les caractéristiques assignées de transfert de charges répétitives et les caractéristiques assignées d'énergie thermique lorsque l'on ne modifie pas le niveau de protection contre les chocs de manœuvre.

Exemple 4:

U_r	= 420 kV
LDC	= 5
I_n	= 20 kA
U_{pl}	= 1100 kV
$U_{resmax\ (2\ 000\ A)}$	= 867 kV (2,06 × U_r)
$U_{resmin\ (2\ 000\ A)}$	= 0,95 × $U_{resmax\ (2\ 000\ A)}$ = 823,7 kV
$U_{resmax\ (500\ A)}$	= 810 kV
$U_{resmin\ (500\ A)}$	= 0,95 × $U_{resmax\ (500\ A)}$ = 769,5 kV

Calcul:

- Énergie d'essai minimale: W = 2797 kJ ⇒ W/U_r = 6,66 kJ/kV
- À appliquer à deux reprises pour l'essai de fonctionnement des parafoudres au choc de manœuvre ⇒ 13,32 kJ/kV
- Caractéristiques assignées d'énergie thermique (*nouvelles*) selon 8.7.3: W_{th} = 13 kJ/kV
- Courant avec LD: I = 1042 A
- Charge calculée avec les mêmes courant et durée que pour LD afin d'obtenir l'énergie minimale exigée: Q = 3,54 C
- Caractéristiques assignées de transfert de charges répétitives (*nouvelles*) selon 8.5.4: Q_{rs} = 3,6 C (c'est-à-dire valeur d'essai = 3,96 C)

Exemple 5:

U_r	= 420 kV
LDC	= 5
I_n	= 20 kA
U_{pl}	= 1000 kV
$U_{resmax\ (2\ 000\ A)}$	= 788 kV (1,88 × U_r)
$U_{resmin\ (2\ 000\ A)}$	= 0,95·$U_{resmax\ (2\ 000\ A)}$ = 748,6 kV
$U_{resmax\ (500\ A)}$	= 750 kV
$U_{resmin\ (500\ A)}$	= 0,95 × $U_{resmax\ (500\ A)}$ = 712,5 kV

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

Calcul:

- Énergie d'essai minimale: W = 3208 kJ ⇒ W/U_r = 7,64 kJ/kV
- À appliquer à deux reprises pour l'essai de fonctionnement des parafoudres au choc de manœuvre ⇒ 15,28 kJ/kV
- Caractéristiques assignées d'énergie thermique (***nouvelles***) selon 8.7.3: W_{th} = 16 kJ/kV
- Courant avec LD: I = 1314 A
- Charge calculée avec les mêmes courant et durée que pour LD afin d'obtenir l'énergie minimale exigée: Q = 4,38 C
- Caractéristiques assignées de transfert de charges répétitives (*nouvelles*) selon 8.5.4: Q_{rs} = 4,4 C (c'est-à-dire valeur d'essai = 4,84 C)

Comme le montrent les exemples 4 et 5, la même classe de décharge de ligne produit des caractéristiques assignées de transfert de charges répétitives et des caractéristiques assignées d'énergie thermique qui dépendent du niveau de protection contre les chocs de manœuvre. Noter également que le niveau de protection cité dans l'exemple 4 est relativement élevé pour un parafoudre de classe 5 normal.

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

Bibliographie

IEC 60068-2-17, *Essais fondamentaux climatiques et de robustesse mécanique – Partie 2-17: Essais – Essai Q: Etanchéité*

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

IEC 60099-5:2013, *Surge arresters – Part 5: Selection and application recommendations* (disponible en anglais seulement)

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

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

IEC 62271-202:2006, *Appareillage à haute tension – Partie 202: Postes préfabriqués haute tension/basse tension*

ISO 3274, *Spécification géométrique des produits (GPS) – État de surface: Méthode du profil – Caractéristiques nominales des appareils à contact (palpeur)*

IEEE C62.11:1999, *Standard for Metal-Oxide Surge Arresters for Alternating Current Power Circuits (>1 kV)* (disponible en anglais seulement)

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

COPYRIGHT © IEC. NOT FOR COMMERCIAL USE OR REPRODUCTION

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

3, rue de Varembé
PO Box 131
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel: + 41 22 919 02 11
Fax: + 41 22 919 03 00
info@iec.ch
www.iec.ch