

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
99-5**

Première édition
First edition
1996-02

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

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



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 99-5: 1996

Numéros des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000.

Publications consolidées

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

Validité de la présente publication

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique.

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles dans le Catalogue de la CEI.

Les renseignements relatifs à des questions à l'étude et des travaux en cours entrepris par le comité technique qui a établi cette publication, ainsi que la liste des publications établies, se trouvent dans les documents ci-dessous:

- «Site web» de la CEI*
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement
(Catalogue en ligne)*
- **Bulletin de la CEI**
Disponible à la fois au «site web» de la CEI* et comme périodique imprimé

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 60050: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI).

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera la CEI 60027: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*, la CEI 60417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*, et la CEI 60617: *Symboles graphiques pour schémas*.

* Voir adresse «site web» sur la page de titre.

Numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series.

Consolidated publications

Consolidated versions of some IEC publications including amendments are available. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

Validity of this publication

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology.

Information relating to the date of the reconfirmation of the publication is available in the IEC catalogue.

Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is to be found at the following IEC sources:

- **IEC web site***
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates
(On-line catalogue)*
- **IEC Bulletin**
Available both at the IEC web site* and as a printed periodical

Terminology, graphical and letter symbols

For general terminology, readers are referred to IEC 60050: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV).

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications IEC 60027: *Letter symbols to be used in electrical technology*, IEC 60417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets* and IEC 60617: *Graphical symbols for diagrams*.

* See web site address on title page.

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
99-5**

Première édition
First edition
1996-02

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

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

© CEI 1996 Droits de reproduction réservés — Copyright — all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher.

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale 3, rue de Varembe Genève, Suisse



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

X

Pour prix, voir catalogue en vigueur
For price, see current catalogue



Documents
Document Sharing Hub

Withdrawn

Publication 99-5 de la CEI
(Première édition - 1996)

Parafoudres

Partie 5: Recommandations pour le choix
et l'utilisation

IEC Publication 99-5
(First edition - 1996)

Surge arresters

Part 5: Selection and application
recommendations

C O R R I G E N D U M 1

Page 4

AVANT-PROPOS

Ajouter le texte suivant entre le premier et le deuxième alinéa après la note 6):

Le texte de la présente norme annule et remplace la CEI 99-1A, publiée en 1965.

Page 5

FOREWORD

Insert the following text between the first and the second paragraphs after note 6):

The text of this standard cancels and replaces IEC 99-1A, published in 1965.

Avril 1996

April 1996

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	4
INTRODUCTION	6
Articles	
SECTION 1: GÉNÉRALITÉS	
1.1 Domaine d'application	8
1.2 Références normatives	8
1.3 Principes généraux d'utilisation des parafoudres	8
1.4 Méthode générale pour le choix des parafoudres	10
1.5 Tenue à la pollution de l'enveloppe du parafoudre	14
SECTION 2: PARAFOUDRES À RÉSISTANCE VARIABLE AVEC ÉCLATEURS SELON LA CEI 99-1	
2.1 Caractéristiques des parafoudres avec éclateurs	16
2.2 Choix des parafoudres avec éclateurs, connectés entre phase et terre	20
SECTION 3: PARAFOUDRES À OXYDE MÉTALLIQUE SANS ÉCLATEUR SELON LA CEI 99-4	
3.1 Données caractéristiques des parafoudres à oxyde métallique sans éclateur	30
3.2 Choix des parafoudres à oxyde métallique sans éclateur, connectés entre phase et terre	34
SECTION 4: UTILISATION DES PARAFOUDRES	
4.1 Principe de la coordination des isolements	46
4.2 Protection contre les surtensions à front lent	46
4.3 Protection contre les surtensions de foudre	50
SECTION 5: PARAFOUDRES DESTINÉS À UNE UTILISATION SPÉCIALE	
5.1 Parafoudres pour neutres de transformateurs	64
5.2 Parafoudres entre phases	66
5.3 Parafoudres pour machines tournantes	68
5.4 Autres utilisations particulières des parafoudres	70
5.5 Parafoudres pour conditions de service anormales	70
SECTION 6: SURVEILLANCE	
6.1 Généralités	72
6.2 Compteurs de décharges	72
6.3 Eclateurs de surveillance	72
6.4 Dispositif de surveillance du courant permanent	72
Annexes	
A Détermination des surtensions temporaires causées par des défauts à la terre	74
B Pratique courante	86
C Bibliographie	88

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
INTRODUCTION	7
Clause	
SECTION 1: GENERAL	
1.1 Scope	9
1.2 Normative references	9
1.3 General principles for the application of surge arresters	9
1.4 General procedure for the selection of surge arresters	11
1.5 Polluted housing arrester withstand	15
SECTION 2: NON-LINEAR RESISTOR TYPE GAPPED SURGE ARRESTERS ACCORDING TO IEC 99-1	
2.1 Characteristic data of gapped surge arresters	17
2.2 Selection of gapped arresters phase-to-earth	21
SECTION 3: GAPLESS METAL-OXIDE SURGE ARRESTERS ACCORDING TO IEC 99-4	
3.1 Characteristic data of gapless metal-oxide surge arresters	31
3.2 Selection of gapless metal-oxide surge arresters phase-to-earth	35
SECTION 4: APPLICATION OF ARRESTERS	
4.1 Principle of insulation co-ordination	47
4.2 Protection from slow-front overvoltages	47
4.3 Protection from lightning overvoltages	51
SECTION 5: SURGE ARRESTERS FOR SPECIAL APPLICATION	
5.1 Surge arresters for transformer neutrals	65
5.2 Surge arresters between phases	67
5.3 Surge arresters for rotating machines	69
5.4 Further special applications of surge arresters	71
5.5 Surge arresters for abnormal service conditions	71
SECTION 6: MONITORING (SUPERVISION)	
6.1 General	73
6.2 Discharge counters	73
6.3 Monitoring spark gaps	73
6.4 Device for monitoring the continuous current	73
Annexes	
A Determination of temporary overvoltages due to earth faults	75
B Current practice	87
C Bibliography	89

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

PARAFOUDRES –

Partie 5: Recommandations pour le choix et l'utilisation

AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale CEI 99-5 a été établie par le comité d'études 37 de la CEI: Parafoudres.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
37/123/FDIS	37/144/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.

Les annexes A, B et C sont données uniquement à titre d'information.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

SURGE ARRESTERS —**Part 5: Selection and application recommendations**

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international cooperation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, the IEC publishes International Standards. Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. The IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters, express as nearly as possible an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this International Standard may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 99-5 has been prepared by IEC technical committee 37: Surge arresters.

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

FDIS	Report on voting
37/123/FDIS	37/144/RVD

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

Annexes A, B and C are for information only.

INTRODUCTION

La présente partie de la CEI 99 est destinée à permettre un choix et une mise en oeuvre optimale des parafoudres dont les caractéristiques sont spécifiées dans la CEI 99-1 et la CEI 99-4.

Des méthodes de calcul plus complexes que celles indiquées ici peuvent être utilisées pour obtenir une détermination plus précise des impératifs du réseau considéré; il convient que ces méthodes soient, cependant, conformes aux principes exposés dans la présente norme.

Les caractéristiques des parafoudres résultant de l'application de la présente norme seront différentes d'un réseau à l'autre. Aucune application numérique particulière ne peut être privilégiée. Il est probable, cependant, que pour certains réseaux, ou pour certains pays, les exigences de fiabilité et la conception des réseaux sont assez uniformes pour que les recommandations de la présente norme puissent se traduire par la définition de gammes limitées de parafoudres. Les utilisateurs de parafoudres ne seront alors pas tenus de reprendre pour chaque nouvelle installation toute la démarche exposée dans le présent document et pourront se contenter de reproduire les choix relevant de la pratique antérieure. Les valeurs chiffrées correspondantes pourront être introduites par les comités nationaux à l'annexe B.

Withdrawn

INTRODUCTION

This part of IEC 99 is intended to allow optimal selection and application of surge arresters specified according to IEC 99-1 and IEC 99-4.

More complex calculation methods than those indicated here may be used in order to obtain more precise determination of the requirement for the system concerned; however, these calculations should be performed in accordance with the principles given in this standard.

The characteristics of surge arresters derived from the application of this standard are different for different systems. No particular numerical value may be favoured. It is likely, however, that for some systems, or in some countries, the system reliability requirements and design are sufficiently uniform that the recommendations of the present standard may lead to the definition of narrow ranges of arresters. The user of surge arresters will, in that case, not be required to apply the whole process introduced here, to any new installation and he may reproduce the selection of characteristics resulting from prior practice. Corresponding numerals may be introduced by national authorities in annex B.

Withdrawn

PARAFOUDRES –

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

Section 1: Généralités

1.1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 99 comporte des recommandations pour le choix et l'emploi des parafoudres à utiliser sur des réseaux triphasés de tension nominale supérieure à 1 kV. Elle concerne les parafoudres à résistance variable avec éclateurs conformes à la CEI 99-1, ainsi que les parafoudres à oxyde métallique sans éclateur conformes à la CEI 99-4.

1.2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente partie de la CEI 99. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Tout document normatif est sujet à révision et les parties prenantes aux accords fondés sur la présente partie de la CEI 99 sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

CEI 71-1: 1993, *Coordination de l'isolement – Partie 1: Définitions, principes et règles*

CEI 71-2: 1976: *Coordination de l'isolement – Partie 2: Guide d'application*

NOTE – La troisième édition de cette norme est actuellement en cours de révision.

CEI 99-1: 1991, *Parafoudres – Partie 1: Parafoudres à résistance variable avec éclateurs pour réseaux à courant alternatif*

CEI 99-3: 1990, *Parafoudres – Partie 3: Essais de pollution artificielle des parafoudres*

NOTE – Ce Rapport Technique s'applique aux parafoudres avec éclateurs conformément à la CEI 99-1.

CEI 99-4: 1991, *Parafoudres – Partie 4: Parafoudres à oxyde métallique sans éclateur pour réseaux à courant alternatif*

CEI 507: 1991, *Essais sous pollution artificielle des isolateurs pour haute tension destinés aux réseaux à courant alternatif*

CEI 815: 1986, *Guide pour le choix des isolateurs sous pollution.*

1.3 Principes généraux d'utilisation des parafoudres

La CEI 71-1 spécifie des tensions de tenue pour les deux gammes suivantes de tensions les plus élevées pour le matériel:

- gamme I: tension supérieure à 1 kV et inférieure ou égale à 245 kV
- gamme II: tension supérieure à 245 kV

SURGE ARRESTERS –

Part 5: Selection and application recommendations –

Section 1: General

1.1 Scope

This part of IEC 99 provides recommendations for the selection and application of surge arresters to be used in three-phase systems with nominal voltages above 1 kV. It applies to non-linear resistor type gapped surge arresters as defined in IEC 99-1 and to gapless metal-oxide surge arresters as defined in IEC 99-4.

1.2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this part of IEC 99. At the time of publication, the editions indicated were valid. All normative documents are subject to revision, and parties to agreements based on this part of IEC 99 are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents indicated below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 71-1: 1993, *Insulation co-ordination – Part 1: Definitions, principles and rules*

IEC 71-2: 1976, *Insulation co-ordination – Part 2: Application guide*

NOTE – The third edition of this standard is presently under revision.

IEC 99-1: 1991, *Surge arresters – Part 1: Non-linear resistor type gapped surge arresters for a.c. systems*

IEC 99-3: 1990, *Surge arresters – Part 3: Artificial pollution testing of surge arresters*

NOTE – This Technical Report applies to gapped surge arresters according to IEC 99-1.

IEC 99-4: 1991, *Surge arresters – Part 4: Metal-oxide surge arresters without gaps for a.c. systems*

IEC 507: 1991, *Artificial pollution tests on high-voltage insulators to be used on a.c. systems*

IEC 815: 1986, *Guide for the selection of insulators in respect of polluted conditions*

1.3 General principles for the application of surge arresters

IEC 71-1 specifies withstand voltages for two ranges of highest voltages for equipment:

- range I: above 1 kV to 245 kV included
- range II: above 245 kV

Dans les réseaux aériens ou mixtes de la gamme I, les matériels sont surtout menacés par les coups de foudre induits et directs sur les lignes aériennes auxquelles ils sont raccordés. Dans les réseaux souterrains qui ne sont pas raccordés à des lignes aériennes, les surtensions les plus susceptibles de se produire sont occasionnées par des défauts ou des manoeuvres. Il est possible, cependant, que, dans des circonstances peu fréquentes, des surtensions soient induites par des coups de foudre. Dans les réseaux de la gamme II, en plus des facteurs cités pour la gamme I, les surtensions de manoeuvre deviennent importantes, et ce d'autant plus que la tension du réseau est élevée. Les surtensions peuvent provoquer des contournements et des dégâts sérieux aux matériels, et par là-même compromettre l'alimentation en énergie des usagers. Il est indispensable d'empêcher cela par une coordination appropriée entre les parafoudres et la tenue de l'isolation. Il est donc recommandé d'utiliser des parafoudres lorsqu'il peut se produire des surtensions de foudre ou de fortes surtensions de manoeuvre susceptibles d'être dangereuses pour le matériel.

Il est souhaitable que ces parafoudres soient des éléments fiables du réseau. Ils sont conçus de façon à pouvoir supporter les tensions et les courants qui s'écouleront à travers eux avec une fiabilité suffisamment grande qui prenne en compte la pollution et d'autres problèmes relatifs au site. Pour chaque catégorie de réseaux, ces contraintes de tension sont (voir la CEI 71-1):

- la tension de service;
- les surtensions temporaires;
- les surtensions à front lent;
- les surtensions à front rapide;

les surtensions à front lent dues à des manoeuvres ayant une importance particulière pour les parafoudres protégeant des matériels de la gamme II.

D'une façon générale, une bonne protection des matériels et l'emploi de parafoudres de tensions assignées élevées sont des exigences contradictoires. Le choix d'un parafoudre convenable est donc un processus d'optimisation qui doit prendre en compte un grand nombre de paramètres relatifs au réseau et aux matériels.

Les parafoudres à oxyde métallique sans éclateur sont particulièrement bien adaptés pour les réseaux à neutre à la terre parce qu'ils offrent une meilleure protection contre les surtensions à front lent. Dans ces réseaux, l'utilisation de parafoudres a tendance à se porter essentiellement sur les parafoudres à oxyde métallique. Les parafoudres avec éclateurs peuvent offrir des avantages dans quelques réseaux à neutre isolé ou mis à la terre par bobine de compensation, pour lesquels les surtensions temporaires dues à un défaut à la terre peuvent être de longue durée et lorsqu'un bas niveau de protection est demandé. Outre le fait qu'il a été traditionnellement utilisé dans toutes les gammes de tensions, l'utilisation de ce type de parafoudre peut se révéler adaptée aux réseaux de la gamme I, en particulier pour les tensions les plus basses de la gamme.

1.4 Méthode générale pour le choix des parafoudres

La procédure itérative suivante, décrite dans l'organigramme de la figure 1, est recommandée pour le choix des parafoudres:

- déterminer la tension de régime permanent du parafoudre en fonction de la tension de service la plus élevée du réseau;
- déterminer la tension assignée du parafoudre en fonction des surtensions temporaires;

For range I systems containing overhead lines, the main risk to equipment arises from induced and direct lightning strokes to the connected overhead lines. In cable systems not connected to overhead lines, overvoltages due to faults or switching operations are most likely to occur. In rare cases, however, lightning induced overvoltages may also be generated. In systems of range II, in addition to range I factors, switching overvoltages become important, increasing with higher system voltages. Overvoltages may cause flashovers and serious damage to the equipment and thereby jeopardize the supply of power to users. It is essential to prevent this by the proper co-ordination of surge arresters with the insulation. It is, therefore, recommended to use surge arresters if there are possibilities of lightning overvoltages or high switching overvoltages which may be dangerous to the equipment.

These surge arresters should constitute a reliable part of the system. They are designed to withstand the voltages and the resulting currents through them with a sufficiently high reliability taking into account pollution and other site matters. In each system such voltage stresses are (see IEC 71-1):

- operating voltage;
- temporary overvoltages;
- slow-front overvoltages;
- fast-front overvoltages;

where the slow-front overvoltages due to switching are of particular importance for arresters protecting range II equipment.

As a general principle, the best protection of equipment and high surge arrester rated voltages are contradicting requirements. Thus the selection of an adequate arrester constitutes an optimization process, which has to consider a great number of system and equipment parameters.

Gapless metal-oxide surge arresters are of particular advantage for earthed neutral systems, because they offer better protection against slow-front overvoltages. This arrester type is today widely installed in these systems and the application of arresters for such systems tends to concentrate on metal-oxide surge arresters. In some isolated or resonant earthed neutral systems, where earth fault temporary overvoltages may have long durations, gapped surge arresters may offer advantages, if protective levels are required to be low. While being the surge arrester traditionally used in all voltage ranges, the consideration of gapped arresters may be adequate for systems of range I, especially in the lower voltage range.

1.4 General procedure for the selection of surge arresters

The following iterative procedure, shown in the flow diagram of figure 1, is recommended for the selection of surge arresters:

- determine the continuous operating voltage of the arrester with respect to the highest system operating voltage;
- determine the rated voltage of the arrester with respect to the temporary overvoltages;

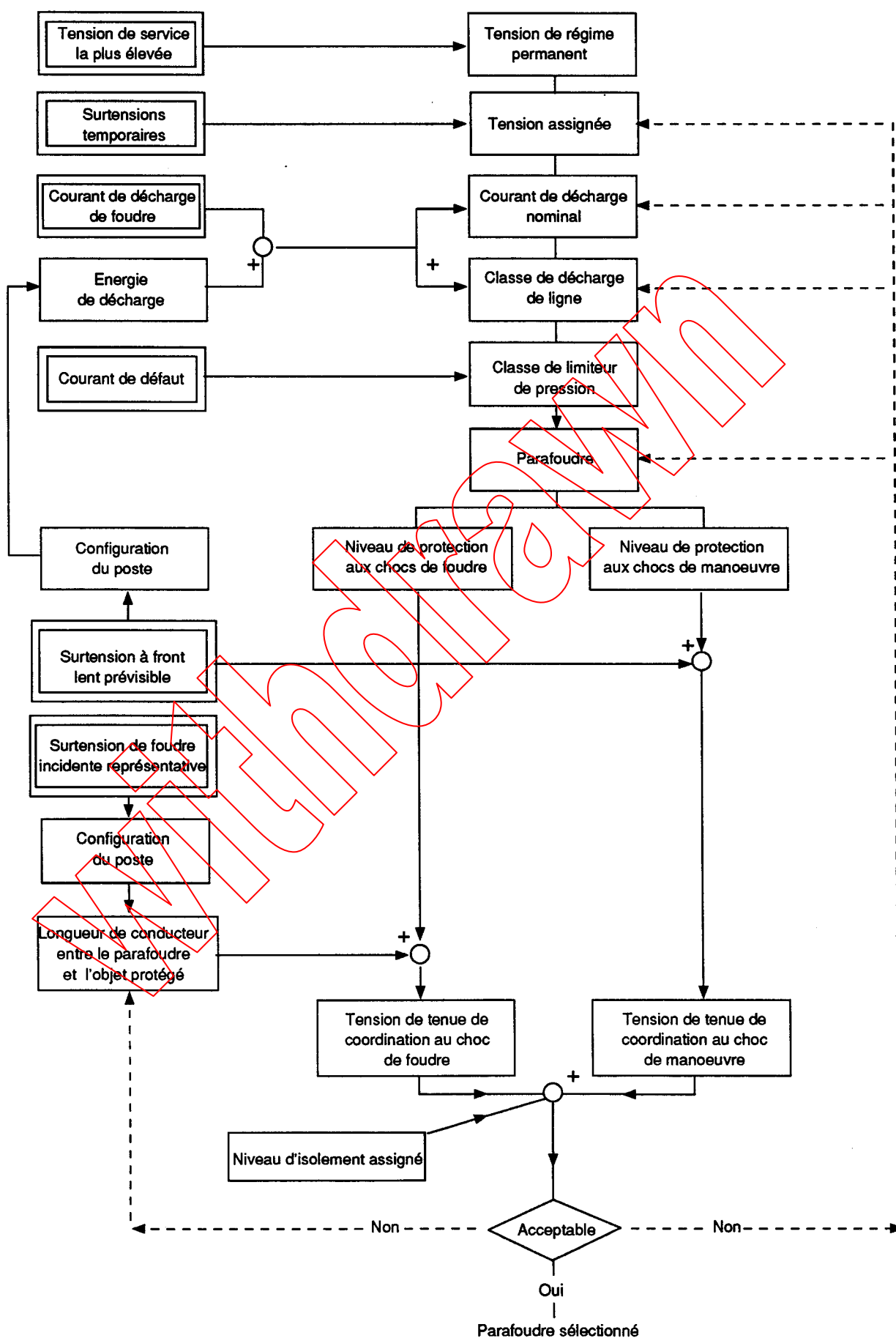


Figure 1 – Organigramme pour le choix des parafoudres

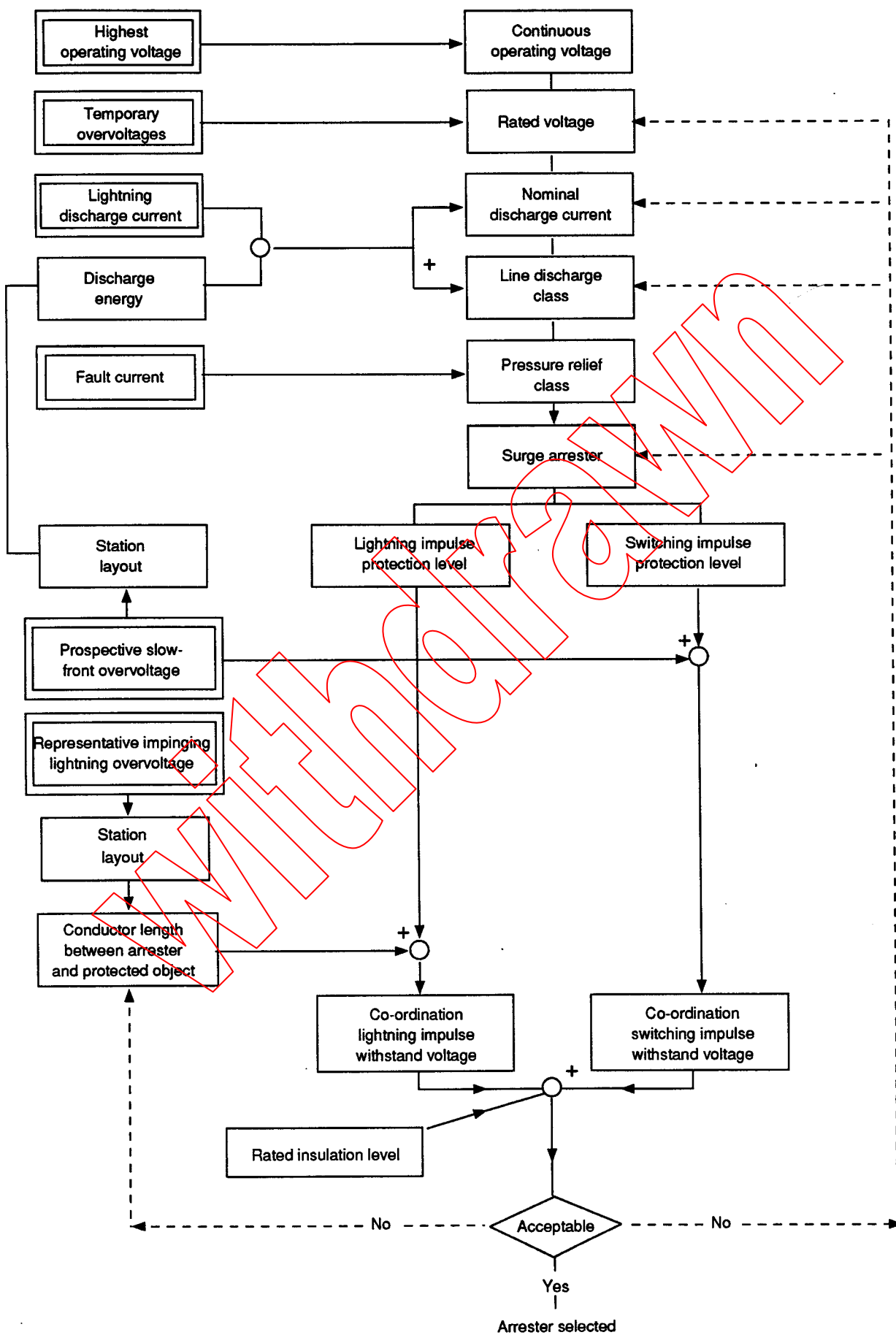


Figure 1 – Flow diagram for the selection of surge arresters

- estimer l'amplitude et la probabilité des courants de décharge de foudre prévisibles à travers le parafoudre, déterminer les contraintes liées à la décharge des lignes de transport et sélectionner le courant nominal de décharge, la valeur du choc de courant de grande amplitude et la classe de décharge de ligne du parafoudre;

NOTE – Si des valeurs de courant de grande amplitude différentes des valeurs normalisées sont nécessaires (voir la note du tableau 6 de la CEI 99-4), ces valeurs doivent être choisies en fonction du courant de décharge de foudre.

- sélectionner la classe de limiteur de pression du parafoudre en fonction du courant de défaut prévisible;
- sélectionner un parafoudre adapté aux exigences formulées ci-dessus;
- déterminer les caractéristiques de protection aux chocs de manoeuvre et de foudre;
- placer le parafoudre aussi près que possible du matériel à protéger;
- déterminer la tension de tenue de coordination aux chocs de manoeuvre du matériel protégé, en tenant compte des sursensions à front lent représentatives et de la configuration du réseau;
- déterminer la tension de tenue de coordination aux chocs de foudre, en prenant en considération:
 - la sursension de foudre incidente représentative telle que définie par le comportement vis-à-vis de la foudre de la ligne aérienne à laquelle est raccordé le parafoudre et le taux de défaillance acceptable du matériel protégé;
 - la configuration du poste;
 - la distance entre le parafoudre et le matériel protégé;
- déterminer le niveau d'isolement assigné du matériel selon la CEI 71-1;
- si l'on désire que le niveau d'isolement assigné du matériel soit moins élevé que celui obtenu, il est recommandé d'étudier des solutions telles que le choix d'une tension de régime permanent moins élevée, d'une tension assignée moins élevée, d'un courant nominal de décharge plus élevé, d'une classe de décharge de ligne plus élevée, d'une conception différente de parafoudre ou une réduction de la distance entre le parafoudre et le matériel protégé.

NOTE – Une tension de service permanent ou une tension assignée moins élevée peut diminuer la fiabilité en service des parafoudres.

Cette procédure itérative est détaillée dans les sections 2, 3 et 4 de ce document.

1.5 Tenue à la pollution de l'enveloppe du parafoudre

Les dépôts de pollution sur l'enveloppe peuvent causer des amorçages ou une augmentation de température des dispositifs de répartition de tension dans les parafoudres avec éclateurs et une forte augmentation de température des varistances dans les parafoudres à oxyde métallique. Afin de se prémunir contre les défaillances de parafoudres dans les zones polluées, il faut choisir des parafoudres capables de supporter les conditions de pollution locales. Bien que cela ne soit pas spécifié de manière explicite dans la CEI 99-1 et la CEI 99-4, il convient que les parafoudres utilisés dans des conditions de service normales résistent aux contraintes du niveau de pollution II (pollution moyenne) définies dans la CEI 71-2. Si l'endroit où le parafoudre est installé est soumis à un niveau de pollution plus élevé, ceci risque de diminuer l'efficacité du parafoudre. Si l'on utilise des parafoudres de conception inadéquate dans des zones fortement polluées (niveau III) ou très fortement polluées (niveau IV), un lavage ou un graissage périodique peut se révéler efficace pour se prémunir contre les effets mentionnés ci-dessus.

Lorsqu'on a l'intention d'effectuer un lavage sous tension, il est nécessaire de s'assurer que les parafoudres ont été conçus pour de telles conditions de fonctionnement.

- estimate the magnitude and probability of the expected lightning discharge currents through the arrester, determine the transmission line discharge requirements and select the nominal discharge current, the high current impulse value and the line discharge class of the arrester;

NOTE – If high current impulse values different from the standardized values are necessary (see IEC 99-4, table 6, note), these values should be selected according to the lightning discharge current.

- select the pressure relief class of the arrester with respect to the expected fault current;
- select a surge arrester that fulfils the above requirement;
- determine the lightning and switching impulse protection characteristics of the arrester;
- locate the arrester as close as possible to the apparatus to be protected;
- determine the co-ordination switching impulse withstand voltage of the protected equipment taking into account the representative slow-front overvoltages and system layout;
- determine the co-ordination lightning impulse withstand voltage considering:
 - the representative impinging lightning overvoltage surge as determined by the lightning performance of the overhead line connected to the arrester and the acceptable failure rate of the protected equipment;
 - the substation layout;
 - the distance between surge arrester and protected equipment;
- determine the rated insulation level of the equipment from IEC 71-1;
- if a lower rated insulation level of the equipment is desired, then a lower continuous operating voltage, a lower rated voltage, a higher nominal discharge current, a higher line discharge class, a different arrester design or a reduced distance between arrester and protected object should be investigated.

NOTE – A lower continuous operating voltage or a lower rated voltage may reduce the service reliability of the arresters.

Details of this iterative procedure are given in sections 2, 3 and 4 of this document.

1.5 Polluted housing arrester withstand

Pollution on the arrester housing may cause sparkover or temperature increase of grading components in gapped arresters and high temperature increase of the varistors in metal-oxide arresters. To prevent arrester failures in polluted areas, arresters able to withstand the relevant polluted conditions have to be chosen. Although not explicitly specified in IEC 99-1 and IEC 99-4, arresters used in normal operating conditions should withstand the medium pollution stresses according to pollution level II of IEC 71-2. If the arrester installation area is subjected to a higher pollution, the surge arrester performance may be adversely affected. If arresters of inadequate design are used in heavy (pollution level III) or very heavy (pollution level IV) polluted areas, periodic cleaning or greasing may be effective in preventing the events stated above.

When live washing of arresters is intended, arresters designed for such service conditions are required.

Section 2: Parafoudres à résistance variable avec éclateurs selon la CEI 99-1

2.1 Caractéristiques des parafoudres avec éclateurs

2.1.1 Généralités

Les caractéristiques fondamentales des parafoudres avec éclateurs série sont leur tension assignée, leurs tensions d'amorçage, leurs courants nominaux de décharge et leurs tensions résiduelles à ces courants.

La protection est caractérisée par les tensions d'amorçage au choc sur front et au choc de foudre ainsi qu'aux chocs de manoeuvre lorsque cela est nécessaire, elle est aussi caractérisée par les tensions résiduelles au courant nominal de décharge et éventuellement aux courants de choc de manoeuvre. Pour une tension assignée donnée, il existe différents types de parafoudres et, par conséquent, différents niveaux de protection.

D'autres caractéristiques des parafoudres sont à prendre en considération: tension de régime permanent, classe de décharge de longue durée, classe de limiteur de pression, tenue sous pollution, aptitude au lavage sous tension et propriétés mécaniques particulières.

2.1.2 Tension assignée

Valeur maximale admissible de la tension efficace à fréquence industrielle entre les bornes du parafoudre, pour laquelle ce dernier a été conçu pour fonctionner correctement, suivant les conditions de l'essai de fonctionnement. La tension assignée est utilisée comme un paramètre de référence pour la spécification des caractéristiques de fonctionnement.

NOTE – Certains parafoudres destinés aux réseaux de la gamme II sont conçus pour désamorcer à des tensions à fréquence industrielle supérieures à la tension assignée. Cette tension est généralement appelée «tension de désamorçage en surtension temporaire». La CEI 99-1 ne spécifiant aucun essai susceptible de démontrer le fonctionnement correct de tels parafoudres, il est recommandé que les modalités d'essai et d'utilisation fassent l'objet d'un accord entre l'utilisateur et le fabricant.

Dans certains cas, par exemple pour l'essai de pollution selon la CEI 99-3, il convient de connaître la valeur maximale de la tension efficace à fréquence industrielle qui peut être appliquée de manière permanente entre les bornes du parafoudre. Pour les parafoudres destinés à protéger les matériels de la gamme I selon la CEI 71-1, cette tension peut être égale à la tension assignée du parafoudre. Elle lui est généralement inférieure dans le cas des parafoudres de la gamme II. La CEI 99-1 ne spécifiant aucun essai pour fixer la valeur de cette tension, il convient de se procurer la valeur à utiliser auprès du fabricant.

2.1.3 Niveau de protection d'un parafoudre

Le niveau de protection aux chocs de foudre est la plus élevée des valeurs suivantes:

- tension d'amorçage au choc de foudre normal;
- tension résiduelle au courant nominal de décharge.

NOTE – Lorsqu'on s'intéresse à la protection des matériels contre les surtensions à front rapide, on considère que l'isolation immergée dans l'huile des transformateurs a une tenue supérieure d'au moins 15 % à sa tenue au choc de foudre en onde pleine pour des surtensions de durée inférieure à 3 μ s. Par conséquent, les tensions maximales spécifiées dans la CEI 99-1, tableau 8, pour l'amorçage au choc sur front sont supérieures de 15 % à celles pour le choc de foudre normal.

D'autres types d'isolation, comme dans les transformateurs de mesure, les câbles ou les postes sous enveloppe métallique et à isolation gazeuse, peuvent avoir des caractéristiques de tenue différentes, et la tension d'amorçage au choc sur front peut alors nécessiter une attention particulière.

Section 2: Non-linear resistor type gapped surge arresters according to IEC 99-1

2.1 Characteristic data of gapped surge arresters

2.1.1 General

Basic characteristics of surge arresters with series spark gaps are their rated voltage, their sparkover voltages, their nominal discharge currents and their residual voltages at these currents.

The protective performance is characterized by the sparkover voltages for front-of-wave, lightning impulse and, when applicable, switching impulses; and is also characterized by the residual voltages at nominal discharge current and, when applicable, at switching impulse currents. For a given rated voltage, different types of arresters and, therefore, different protection levels exist.

Additional characteristics of an arrester to be considered are continuous operating voltage, long duration discharge class, pressure relief class, pollution withstand capability, live washing capability and special mechanical properties.

2.1.2 Rated voltage

The maximum permissible r.m.s. value of the power frequency voltage between the arrester terminals, at which it is designed to operate correctly as established in the operating duty test. The rated voltage is used as a reference parameter for the specification of operating characteristics.

NOTE – Some types of arresters to be used in range II are designed to reseal at power frequency voltages higher than the rated voltage. This voltage is generally called the "temporary overvoltage reseal voltage". Since IEC 99-1 does not specify tests to assure the correct operation of such arresters, test details and application should be agreed between user and manufacturer.

In some cases, e.g. for the pollution test according to IEC 99-3, the maximum r.m.s. value of power frequency voltage which can be applied continuously between the arrester terminals should be known. For arresters to be used in range I according to IEC 71-1, this voltage may be equal to the rated voltage of the arrester. For arresters to be used in range II it is usually lower. As IEC 99-1 does not specify tests to assure this voltage, the applicable value should be obtained from the manufacturer.

2.1.3 Protective levels

The lightning impulse protective level of the surge arrester is the maximum of the following values:

- the standard lightning impulse sparkover voltage;
- the residual voltage at nominal discharge current.

NOTE – When considering the protection of equipment from fast front overvoltages it is assumed that the withstand strength of the oil-immersed insulation in the transformers is at least 15 % above its full lightning impulse withstand strength for voltage durations shorter than 3 μ s. Therefore, the maximum voltages specified in IEC 99-1, table 8, for the front-of-wave sparkover are 15 % higher than those for the standard lightning impulse.

Other types of insulation as in instrument transformers, cables or gas insulated substations (GIS) may have different withstand characteristics and the front-of-wave sparkover voltage may need special consideration.

Le niveau de protection au choc de manoeuvre s'applique à la protection des matériels contre les surtensions à front lent. C'est la plus élevée des valeurs de la tension d'amorçage au choc de manoeuvre et de la tension résiduelle au courant de choc de manoeuvre.

NOTES – Lorsque la caractéristique d'amorçage au choc de manoeuvre d'un type de parafoudre n'est pas connue, seule une indication approximative peut être fournie par la tension d'amorçage à fréquence industrielle.

2.1.4 *Courant nominal de décharge*

Valeur de crête d'un courant de décharge de forme d'onde 8/20, utilisée pour définir un parafoudre. C'est également le courant de décharge qui est utilisé pour amorcer le courant de suite au cours de l'essai de fonctionnement et pour définir le niveau de protection du parafoudre pour les surtensions de foudre.

2.1.5 *Classe de décharge de longue durée*

Nombre relatif à la capacité d'absorption d'énergie d'un parafoudre lors de décharges de lignes de grande longueur. Des nombres croissants (voir le tableau 5 de la CEI 99-1) correspondent à des tensions croissantes du réseau et à une longueur de ligne plus grande, ainsi qu'à des facteurs de surtensions et des impédances d'onde décroissantes.

2.1.6 *Classe de limiteur de pression*

Nombre relatif à la capacité d'un parafoudre à résister aux effets des courants de défaut internes, survenant après une défaillance, sans explosion violente de l'enveloppe (voir l'article 8.7 de la CEI 99-1).

2.1.7 *Tenue sous pollution*

Pour les parafoudres destinés à être utilisés dans des zones polluées III et IV selon la CEI 71-2, un essai de pollution selon la CEI 99-3 est recommandé. Cet essai permet d'obtenir des renseignements sur les caractéristiques d'amorçage. La tenue au contournement de l'enveloppe peut être vérifiée conformément à la CEI 507.

2.1.8 *Aptitude au lavage sous tension*

Le lavage sous tension peut nécessiter une conception spéciale des parafoudres. La tenue est vérifiée par des essais appropriés qui doivent être définis.

En ce qui concerne la conception des matériels de lavage, il convient de porter une attention particulière aux points suivants:

- on doit utiliser de l'eau ayant une résistivité convenable;
- la pression et la disposition des pulvérisateurs doivent être telles que la totalité du parafoudre, sur sa longueur comme sur sa circonférence, soit arrosée le plus uniformément possible et au même moment. Pour cette raison, il faut tenir compte de la limite admissible pour la vitesse du vent.

The switching impulse protective level is applicable to the protection of equipment from slow-front overvoltages. It is the maximum of the switching impulse sparkover voltage and the switching impulse residual voltage.

NOTE – When the switching impulse sparkover characteristic of an arrester type is not known, only approximate information about this is obtained from the power frequency sparkover voltage.

2.1.4 *Nominal discharge current*

The peak value of a discharge current having a 8/20 shape, which is used to classify an arrester. It is also the discharge current which is used to initiate the follow current in the operating duty test and to establish the protective level of the arrester for lightning overvoltages.

2.1.5 *Long duration discharge class*

A number related to the energy absorption capability of an arrester to discharge long lines. Increasing class numbers (see IEC 99-1, table 5) indicate increasing system voltages and line length and decreasing surge impedance and overvoltage factors.

2.1.6 *Pressure relief class*

A number related to the capability of an arrester to withstand internal fault currents after a failure without violent shattering of the housing. Reference is made to clause 8.7 of IEC 99-1.

2.1.7 *Pollution withstand characteristics*

For arresters to be used in polluted areas according to IEC 71-2, pollution levels III and IV, a pollution test according to IEC 99-3 is necessary. From this test, information about the sparkover performance is obtained. The flashover performance of the housing can be checked in accordance with IEC 507.

2.1.8 *Live washing characteristics*

Application of live washing may require a special arrester design and suitable tests have to be defined.

In the design of the washing equipment, care should be taken on the following points:

- water with an adequate resistivity must be used;
- the pressure and the nozzle configuration should be arranged so that the arrester in its whole length and circumference is wetted as uniformly and simultaneously as possible. For this it is necessary to consider the maximum permissible wind speed.

2.2 Choix des parafoudres avec éclateurs, connectés entre phase et terre

2.2.1 Tension assignée

Il est courant de considérer qu'un parafoudre doit supporter les contraintes dues aux surtensions temporaires résultant d'un défaut à la terre sur une phase entraînant une montée de la tension sur les phases saines au moment où un fonctionnement du parafoudre se produit sur l'une de ces phases. Des surtensions temporaires peuvent se produire pour d'autres raisons et il est recommandé de choisir la tension assignée du parafoudre en considérant la surtension la plus élevée. Dans certains cas, il peut également être nécessaire de considérer les surtensions temporaires résultant de l'apparition simultanée de différents phénomènes, comme une perte soudaine de la charge et un défaut à la terre, en tenant compte de leur probabilité d'apparition.

Il est toujours recommandé de prendre en compte les causes de surtensions temporaires suivantes:

- Défauts à la terre:

Ces surtensions se produisent dans une grande partie du réseau. Des directives concernant la détermination des amplitudes des surtensions temporaires sont indiquées en annexe A. La durée des surtensions est égale à la durée du défaut (jusqu'à son élimination). Sur les réseaux avec neutre à la terre, cette durée est généralement inférieure à 1 s. Sur les réseaux à neutre mis à la terre par bobine de compensation avec élimination de défaut, elle est généralement inférieure à 10 s. Sur les réseaux exploités à défaut maintenu, cette durée peut atteindre plusieurs heures.

- Pertes de charge:

Après avoir déconnecté des charges, la tension s'élève côté source du disjoncteur ayant fonctionné. L'amplitude de la surtension dépend des caractéristiques de la charge déconnectée et de la puissance de court-circuit du poste d'alimentation. Les amplitudes des surtensions temporaires sont particulièrement élevées après une perte totale de charge au niveau des transformateurs de groupes selon les conditions de magnétisation et de survitesse. L'amplitude des surtensions dues aux pertes de charge n'est généralement pas constante pendant leur durée. Dans le cas de calculs précis, de nombreux paramètres doivent être pris en compte.

Les valeurs typiques suivantes peuvent servir d'indication:

- En cas de perte d'une pleine charge sur des réseaux d'ampleur moyenne, la surtension temporaire est généralement inférieure à 1,2 p.u. Sa durée dépend du fonctionnement du matériel de régulation de la tension et peut atteindre plusieurs minutes.
- Sur les grands réseaux, en cas de perte de pleine charge, les surtensions phase-terre peuvent atteindre 1,5 p.u., voire davantage lorsque se produisent des effets Ferranti ou des phénomènes de résonance. Leur durée peut être de l'ordre de quelques secondes.
- Pour les pertes de charge au niveau des alternateurs, les amplitudes des surtensions temporaires peuvent atteindre des valeurs allant jusqu'à 1,4 p.u. pour les turbo-alternateurs et jusqu'à 1,5 p.u. pour les alternateurs de centrales hydrauliques. La durée est de l'ordre de 3 s.

Lorsqu'on connaît l'évolution de l'amplitude en fonction du temps, la surtension peut être convenablement représentée par l'amplitude maximale et une durée égale au temps pendant lequel les amplitudes sont supérieures à 90 % de cette valeur.

2.2 Selection of gapped surge arresters phase-to-earth

2.2.1 Rated voltage

It has been common practice to select an arrester to withstand the stresses due to the temporary overvoltages resulting from an earth fault on one phase causing a voltage rise on unfaulted phases at a time when an arrester operation occurs on one of these phases. Other causes of temporary overvoltages have to be considered and the voltage rating of the arrester should be chosen on the basis of the highest of these overvoltage conditions. In some cases it may be necessary to consider temporary overvoltages arising from the simultaneous occurrence of different phenomena such as sudden loss of load together with an earth fault, taking into account their probability of occurrence.

The following causes for temporary overvoltages should always be considered:

- Earth faults:

These overvoltages occur in a large part of the system. Guidance for the determination of temporary overvoltage amplitudes is given in annex A. The duration of the overvoltage corresponds to the duration of the fault (until fault clearing). In earthed neutral systems it is generally less than 1 s. In resonant earthed neutral systems with fault clearing it is generally less than 10 s. In systems without earth fault clearing the duration may be several hours.

- Load rejections:

After disconnection of loads, the voltage rises at the source side of the operating circuit breaker. The amplitude of the overvoltage depends on the disconnected load characteristics and on the short-circuit power of the feeding substation. The temporary overvoltages have particularly high amplitudes after full load rejection at generator transformers depending on magnetizing and overspeed conditions. The amplitude of load rejection overvoltages is usually not constant during its duration. Accurate calculations have to consider many parameters.

As a guidance, the following typical values may be used:

- In moderately extended systems, a full load rejection can give rise to phase-to-earth overvoltages with amplitude usually below 1,2 p.u. The overvoltage duration depends on the operation of voltage-control equipment and may be up to several minutes.
- In extended systems, after a full load rejection, the phase-to-earth overvoltages may reach 1,5 p.u. or even more when Ferranti or resonance effects occur. Their duration may be in the order of some seconds.
- For load rejection of generator transformers the temporary overvoltages may reach amplitudes up to 1,4 p.u. for turbo generators and up to 1,5 p.u. for hydro generators. The duration is approximately 3 s.

When the time dependence of the amplitudes is known, a suitable representation of the overvoltage is the maximum amplitude, with a duration equal to the time while the amplitudes exceed 90 % of this value.

Sur certains réseaux, il est nécessaire de considérer les causes de surtensions temporaires suivantes:

- effets de résonance, par exemple, lors de la charge de longues lignes à vide, ou résonances entre réseaux;
- élévation de tension le long de lignes de grande longueur (effet Ferranti);
- surtensions harmoniques, par exemple, lors de manoeuvres de transformateurs;
- transmission d'une surtension entre les enroulements d'un transformateur, par exemple dans le cas d'un poste de transformation à deux transformateurs avec un jeu de barres secondaire commun pendant l'élimination de défauts ou la manoeuvre monophasée d'un transformateur triphasé avec une charge déséquilibrée au secondaire.

Il est recommandé de ne pas fonder le choix des parafoudres sur des surtensions temporaires dues à des ferro-résonances, mais d'éviter l'apparition de ces surtensions.

La combinaison de causes telles que des défauts à la terre et une perte de charge peut conduire à des valeurs de surtensions temporaires plus élevées que dans le cas d'événements simples. Lorsqu'on considère que de telles combinaisons sont suffisamment probables, les facteurs de surtensions de chacune des causes doivent être combinés, en prenant en compte la configuration de réseau existante.

NOTES

1 Le choix de la tension assignée du parafoudre correspondant aux surtensions temporaires les plus élevées du réseau est fondé sur l'hypothèse que la tension la plus élevée du réseau n'est pas dépassée dans les conditions normales d'exploitation. Si des tensions anormales sont susceptibles d'apparaître sur le réseau, augmentant ainsi la probabilité de fonctionnement du parafoudre dans de telles conditions, il peut être nécessaire d'utiliser un parafoudre de tension assignée supérieure à celle recommandée ci-dessus, en fonction de ces conditions particulières.

2 L'emploi des parafoudres sur des réseaux de fréquences autres que 50 Hz ou 60 Hz peut demander une attention particulière lors de la fabrication ou de l'utilisation et devra faire l'objet de discussions entre le fabricant et l'utilisateur.

Les parafoudres destinés aux réseaux à neutre isolé ou mis à la terre par bobine de compensation, sans dispositif d'élimination automatique des défauts à la terre devront être choisis de manière à pouvoir supporter l'application permanente de la tension assignée, du fait de la longue durée possible de la surtension temporaire. Les parafoudres devant être installés sur des réseaux comportant un dispositif d'élimination automatique des défauts à la terre doivent seulement pouvoir supporter en permanence la tension maximale phase-terre du réseau. Cette valeur réduite peut être obtenue auprès du fabricant.

2.2.2 Courant nominal de décharge

2.2.2.1 Facteurs influençant les courants de décharge de foudre

En règle générale, les courants dans les parafoudres dus à des coups de foudre sont moins élevés que le courant de foudre. Dans le cas de coups de foudre directs sur les lignes, des ondes se propagent de part et d'autre du point d'impact. L'amorçage de l'isolation de la ligne établit un chemin parallèle à la terre qui détourne une partie du courant du coup de foudre. Dans le cas de coups de foudre frappant plus d'un conducteur, ou d'amorçages entre conducteurs, deux parafoudres ou plus peuvent fonctionner et se partager le courant. Le seul cas où le parafoudre est amené à décharger la majeure partie du courant du coup de foudre se produit lorsqu'un coup de foudre direct tombe très près de l'extrémité du parafoudre et qu'aucun amorçage ne se produit avant que le parafoudre ne fonctionne. Il est possible de réduire de manière significative la probabilité d'un tel événement par une protection adéquate par câble de garde. Des informations concernant les paramètres de foudre peuvent être obtenues à partir de données statistiques générales ou locales. La relation entre les courants de foudre et les courants de décharge dans les parafoudres peut alors être obtenue à partir de simulations numériques de propagation d'ondes.

In some systems the following causes of temporary overvoltages need consideration:

- resonance effects, e.g. when charging long unloaded lines or resonances between systems;
- voltage rise along long lines (Ferranti effect);
- harmonic overvoltages, e.g. when switching transformers;
- backfeed through interconnected transformer windings, e.g. dual transformer station with common secondary bus during fault clearing or single-phase switched three-phase transformer with an unbalanced secondary load.

Temporary overvoltages due to ferro-resonances should not form the basis for the surge arrester selection, but should be eliminated.

Combination of causes such as earth faults and load rejection may result in higher temporary overvoltage values than those from the single events. When such combinations are considered sufficiently probable, the overvoltages for each cause have to be compounded, taking into account the actual system configuration.

NOTES

1 The selection of the arrester rated voltage corresponding to the highest system temporary overvoltages is based on the assumption that the highest system voltage is not exceeded under normal operating conditions. If abnormal system voltages are likely to occur, thereby increasing the probability of arrester operations during such conditions, it may be necessary to use an arrester with a higher rated voltage than that recommended above.

2 Operating voltages with frequencies other than 50 Hz or 60 Hz may require special consideration in the manufacture or application of surge arresters and should be a subject of discussion between manufacturer and user.

Arresters for isolated or resonant earthed neutral systems without automatic earth fault clearing should be able to withstand the rated voltage continuously due to the possible long duration of the temporary overvoltage. Arresters for systems with automatic earth fault clearing need only withstand the maximum phase-to-earth system voltage. This reduced value can be obtained from the manufacturer.

2.2.2 *Nominal discharge current*

2.2.2.1 *Factors influencing the lightning discharge currents*

As a general rule, arrester currents due to lightning strokes are less than the stroke current. In the case of direct strokes to lines, travelling waves propagate in opposite directions from the point of impact. Flashover of line insulation provides a parallel path to ground, which diverts a portion of the stroke current. In the case of strokes to more than one conductor, or flashovers between conductors, two or more surge arresters may operate and share the current. Only in the case of a direct stroke very near to the terminal of the arrester, where no flashover occurs before arrester operation, is the arrester called upon to discharge most of the lightning stroke current. The probability of such an occurrence can be significantly reduced by proper shielding. Information concerning lightning surge parameters can be obtained from general statistical data or from local statistical data. The relationship between lightning surges and surge arresters discharge currents may be obtained from travelling wave calculations.

Les lignes aériennes peuvent être protégées contre les coups de foudre directs sur les conducteurs en utilisant des câbles de garde, qui sont positionnés de manière à intercepter les coups de foudre et écouler leur courant à la terre via des poteaux ou des pylônes métalliques. Lorsque des poteaux en bois sont utilisés, les câbles de garde sont reliés à la terre par des conducteurs de faible impédance.

La plupart des coups de foudre directs sur les conducteurs de lignes sont éliminés grâce à l'utilisation de câbles de garde. Lorsqu'un coup de foudre direct se produit (défaut d'écran), l'amorçage de la ligne est quasiment certain dans les réseaux de la gamme I. Le nombre de défauts d'écran et leur sévérité peuvent être limités en optimisant le nombre et la localisation de ces câbles. Lorsqu'un coup de foudre tombe sur un câble de garde, le courant de foudre est écoulé à la terre par les supports auxquels sont raccordés les conducteurs. Compte tenu de l'impédance du chemin emprunté par le courant, incluant l'impédance d'onde du sol, une tension apparaît au sommet du support de la ligne. Une partie de cette tension apparaît par couplage sur le conducteur de phase. L'isolation de la ligne est soumise à une tension égale à la différence entre le potentiel du conducteur de phase et le potentiel du sommet du support, qui peut provoquer un amorçage. Ce type d'amorçage est appelé amorçage en retour. Le taux d'amorçages en retour est limité par le choix d'un niveau d'isolement adéquat, en maintenant la résistance de terre du support à une valeur suffisamment faible, en maintenant une distance suffisante entre le conducteur et le support, entre le conducteur et le câble de garde et entre conducteurs, ainsi qu'en optimisant la géométrie des pylônes.

Pour la protection des postes, il est possible de suivre des dispositions analogues à la protection des lignes. Les méthodes de protection utilisent des conducteurs aériens à la terre, des mâts métalliques et des paratonnerres installés sur la structure du poste. La mise en oeuvre de ces méthodes peut donner lieu à maintes combinaisons.

Dans le cas d'installations qui ne sont pas protégées contre les coups de foudre directs, par exemple les transformateurs de distribution ou les jonctions aéro-souterraines sur les lignes supportées par des poteaux en bois, à la fois l'isolation et le parafoudre peuvent être sujets à des coups de foudre directs qui produisent des courants de décharge extrêmement élevés. De manière générale, le courant de foudre et un courant de décharge correspondant doivent être choisis en fonction de leurs probabilités d'apparition.

Dans le cas des postes, le but de la protection est de réduire le risque de défaut d'isolement à un niveau acceptable. Dans certains cas, ce but peut être atteint en protégeant seulement le poste. Dans d'autres cas, il peut s'avérer nécessaire de protéger toutes les arrivées du poste. La protection des lignes par câble de garde sur une distance relativement courte du poste offre les mêmes avantages pour la protection du poste que la protection complète de la ligne.

Avec une conception adéquate de la protection par écran, de l'isolement et des mises à la terre, la probabilité de coups de foudre directs sur les conducteurs de phase est réduite à un niveau faible. De plus, les tensions supportées par l'isolation en cas de coups de foudre sur le système de protection par écran sont réduites en-dessous des niveaux d'amorçage. Par conséquent, les courants de décharge du parafoudre sont réduits, permettant de ce fait à ce dernier de mieux protéger l'isolation des matériels et de réduire la contrainte subie par le parafoudre.

Overhead lines may be protected against direct lightning strokes to the conductors by the use of shield (overhead ground) wires, which are positioned to intercept lightning strokes and to direct the stroke current to ground via metallic tower or pole structures. Where wood-pole structures are used, low-impedance conductors are used to connect the shield wires to ground.

Almost all direct strokes to line conductors are eliminated by the use of shield wires. When such a direct stroke (shielding failure) does occur, line flashover is almost certain in range I. The number of shielding failures and their severity can be controlled by number and location of the shield wires. When a lightning stroke terminates on a shield wire, the stroke current is diverted to ground through the structure-connecting conductors. The impedance of the current path, including the ground surge impedance, results in a voltage at the top of the line structure. A portion of this voltage is coupled to the phase conductors. The difference between the phase conductor potential and structure top potential is impressed directly across line insulation and may result in flashover. This type of flashover is called a back-flashover. The rate of occurrence of back-flashovers is controlled by selection of a proper insulation level, by keeping the structure ground resistance to an acceptably low value by providing adequate clearance from conductor to structure, conductor to shield wire and conductor to conductor and by optimizing tower geometry.

Procedures analogous to those used for shielding lines may also be used for shielding stations. Shielding methods include overhead ground wires, metallic masts, and lightning rods supported from the station structure. These methods may be used in many combinations.

In installations not shielded against direct lightning strokes, for example at distribution transformers or cable junctions on wood-pole lines, both the insulation and the arrester can be subjected to direct strokes producing extremely high discharge currents. In general the lightning current and a representative discharge current shall be based on their probability of occurrence.

The purpose of shielding in station applications is to reduce the risk of insulation failure to an acceptable level. In certain applications this may be achieved by shielding the station alone. In other cases it may be necessary to shield all incoming lines to the station. Shielding of the lines for a relatively short distance from the station affords the same benefits for station protection as complete line shielding.

With well-designed shielding, insulation, and grounding systems, the probability of direct strokes to phase conductors is reduced to a low level and the voltages across insulation in the event of strokes to the shielding system are reduced below flashover levels. As a result, arrester discharge currents are reduced, thereby permitting the arrester to provide better protection to equipment insulation and reducing arrester duty.