

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

(affiliée à l'Organisation Internationale de Normalisation — ISO)

RECOMMANDATION DE LA C.E.I.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

I. E. C. RECOMMENDATION

Publication 99-2

Première édition — First edition

1962

Parafoudres

Deuxième Partie: Parafoudres à expulsion

Lightning arresters

Part 2: Expulsion-type lightning arresters



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe
Genève, Suisse

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60099-2:1962

Withdrawn

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

(affiliée à l'Organisation Internationale de Normalisation — ISO)

RECOMMANDATION DE LA C. E. I.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

I. E. C. RECOMMENDATION

Publication 99-2

Première édition — First edition

1962

Parafoudres

Deuxième Partie: Parafoudres à expulsion

Lightning arresters

Part 2: Expulsion-type lightning arresters



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe
Genève, Suisse

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	8
PRÉFACE	8
Article	
SECTION UN — DOMAINE D'APPLICATION	
1. Domaine d'application	10
SECTION DEUX — GÉNÉRALITÉS	
2. Conditions normales d'emploi	10
SECTION TROIS — DÉFINITIONS	
3. Parafoudre	12
4. Parafoudre à expulsion	12
5. Chambre de coupure d'un parafoudre à expulsion	12
6. Eclateur série extérieur	12
7. Tension nominale du parafoudre	12
8. Fréquence nominale du parafoudre	12
9. Courant de suite	12
10. Courant de décharge	12
11. Tension résiduelle d'un parafoudre	12
12. Tension de tenue à fréquence industrielle d'un parafoudre	14
13. Tension d'amorçage au choc d'un parafoudre	14
14. Domaine nominal de courant de décharge à fréquence industrielle d'un parafoudre à expulsion	14
15. Courant présumé	14
16. Tension transitoire de rétablissement	14
17. Tension de rétablissement (tension de rétablissement à fréquence industrielle)	14
18. Tension transitoire de rétablissement propre à un circuit	14
19. Tension transitoire de rétablissement d'essai	16
20. Tension transitoire de rétablissement de réseau	16
21. Tension transitoire de rétablissement nominale	16
22. Vitesse d'accroissement de la tension transitoire de rétablissement	16
23. Valeur de crête de la tension transitoire de rétablissement	16
24. Facteur d'amplitude d'une tension transitoire de rétablissement	18
25. Fréquence propre d'oscillation d'un circuit	18
26. Facteur de puissance d'un court-circuit	18
27. Essai de fonctionnement	18
28. Coefficient de mise à la terre	18
29. Réseau à neutre isolé	18
30. Réseau compensé par bobine d'extinction	18
31. Réseau à neutre à la terre	20
32. Essais de type	20
33. Essais individuels	20
34. Essais de prélèvement	20
35. Essais de réception	20
36. Onde de choc	20
37. Valeur de crête	20

CONTENTS

	Page
FOREWORD	9
PREFACE	9

Clause	SECTION ONE — SCOPE
--------	---------------------

1. Scope	11
--------------------	----

SECTION TWO — GENERAL

2. Normal service conditions	11
--	----

SECTION THREE — DEFINITIONS

3. Lightning arrester	13
4. Expulsion-type lightning arrester	13
5. Arcing chamber of expulsion-type arrester	13
6. External series gap of expulsion-type arrester	13
7. Rated voltage of an arrester	13
8. Rated frequency of an arrester	13
9. Follow current	13
10. Discharge current	13
11. Residual voltage (discharge voltage) of an arrester	13
12. Power-frequency withstand voltage of an arrester	15
13. Impulse sparkover voltage of an arrester	15
14. Power-frequency current-interrupting rating of expulsion-type arrester	15
15. Prospective current (available current)	15
16. Restriking voltage (transient recovery voltage)	15
17. Recovery voltage (power-frequency recovery voltage)	15
18. Inherent restriking voltage (circuit transient recovery voltage)	15
19. Test restriking voltage (test transient recovery voltage)	17
20. System restriking voltage (system transient recovery voltage)	17
21. Rated restriking voltage (rated transient recovery voltage)	17
22. Rate-of-rise of restriking voltage (transient recovery voltage rate)	17
23. Peak (crest) restriking voltage	17
24. Amplitude factor of a restriking voltage (transient recovery voltage)	19
25. Natural frequency	19
26. Short-circuit power-factor	19
27. Operating-duty test	19
28. Coefficient of earthing	19
29. Isolated-neutral system	19
30. Resonant-earthed system (neutralizer grounded system)	19
31. Earthed-neutral system	21
32. Type tests (design tests)	21
33. Routine tests	21
34. Sampling tests	21
35. Acceptance tests	21
36. Impulse	21
37. Peak (crest) value	21

Article	Pages
38. Front d'une onde de choc	22
39. Queue d'une onde de choc	22
40. Origine conventionnelle des temps d'une onde de choc	22
41. Durée conventionnelle de l'onde	22
42. Raideur conventionnelle du front d'onde	22
43. Durée de l'onde jusqu'à la moitié de la valeur de la crête (durée conventionnelle d'une onde de choc)	22
44. Enoncé de la forme d'une onde de choc	22

SECTION QUATRE — CARACTÉRISTIQUES ET VALEURS NORMALES

45. Caractéristiques des parafoudres	24
46. Classification des parafoudres à expulsion	24
47. Tensions nominales normales	26
48. Plage normalisée des fréquences	28
49. Valeurs normales des courants de tenue au choc	28
50. Valeurs normales du domaine nominal des courants de coupure à fréquence industrielle, des tensions transitoires de rétablissement nominales et des facteurs de puissance	28

SECTION CINQ — SPÉCIFICATIONS D'ESSAI

A. Conditions générales d'essai	
51. Échantillons destinés aux essais et mesures	28
52. Essais de choc	28
53. Essais à fréquence industrielle	30
54. Essais sous pluie	30
B. Essais de type	
55. Nombre d'échantillons essayés	32
56. Essais de tenue à la tension de l'isolation du parafoudre	32
57. Essais de tenue à fréquence industrielle des parafoudres à expulsion complets	32
58. Essai d'amorçage au choc en onde 1/50	32
59. Essai d'amorçage sur le front de l'onde	34
60. Essai de vérification de la tension résiduelle	34
61. Essais de tenue aux courants de choc	34
62. Essai de fonctionnement	36
C. Essais de contrôle de fabrication et essais de réception	
63. Essais individuels	40
64. Essais de contrôle du constructeur	42
65. Essais de réception normaux	42

SECTION SIX — TABLEAUX

II. Valeurs normales du domaine nominal des courants de coupure à fréquence industrielle, des tensions transitoires de rétablissement nominales et des facteurs de puissance du court-circuit des parafoudres à expulsion. Parafoudres de la classe « poste de distribution » de pouvoir de décharge 30 kiloampères	44
III. Valeurs normales du domaine nominal des courants de coupure à fréquence industrielle, des tensions transitoires de rétablissement nominales et des facteurs de puissance du court-circuit des parafoudres à expulsion. Parafoudres de la classe « poste de distribution » de pouvoir de décharge 65 kiloampères	48

Clause	Page
38. Wavefront of an impulse	23
39. Wavetail of an impulse	23
40. Virtual zero time (conventional origin) of an impulse	23
41. Virtual (conventional) duration of wavefront	23
42. Virtual steepness of wavefront	23
43. Time to half value on the wavetail (virtual duration of an impulse)	23
44. Wave shape designation of an impulse	23

SECTION FOUR — IDENTIFICATION AND STANDARD RATINGS

45. Arrester identification	25
46. Classification of expulsion-type arresters	25
47. Standard voltage ratings	27
48. Standard frequency range	29
49. Standard impulse withstand currents	29
50. Standard power-frequency current-interrupting ratings, rated restriking voltages and power-factors	29

SECTION FIVE — TEST SPECIFICATIONS

A. General testing procedure	
51. Test samples and measurements	29
52. Impulse tests	29
53. Power-frequency tests	31
54. Wet tests	31
B. Type tests (design tests)	
55. Number of test specimens	33
56. Voltage withstand tests of arrester insulation	33
57. Power-frequency voltage withstand tests on complete expulsion arresters	33
58. 1/50 impulse sparkover test	33
59. Front-of-wave impulse sparkover test	35
60. Residual voltage test	35
61. Impulse current withstand tests	35
62. Operating-duty test	37
C. Manufacturer's control tests and acceptance tests	
63. Routine tests	41
64. Manufacturer's control tests	43
65. Standard acceptance tests	43

SECTION SIX — TABLES

II. Standard power-frequency current-interrupting ratings, rated restriking voltages and short-circuit power-factors of expulsion-type arresters. 30 kiloampere discharge capacity distribution-class arresters	45
III. Standard power-frequency current-interrupting ratings, rated restriking voltages and short-circuit power-factors of expulsion-type arresters. 65 kiloampere discharge capacity distribution-class arresters	49

Article	Pages
IV. Valeurs normales du domaine nominal des courants de coupure à fréquence industrielle, des tensions transitoires de rétablissement nominales et des facteurs de puissance du court-circuit des parafoudres à expulsion. Parafoudres de la classe « ligne »	50
V. Prescriptions d'essai et caractéristiques de fonctionnement des parafoudres à expulsion de la classe « poste de distribution » de pouvoir de décharge de 30 et 65 kiloampères	52
VI. Prescriptions d'essai et caractéristiques de fonctionnement des parafoudres à expulsion de la classe « ligne »	54

ANNEXES

A. Méthodes de détermination des formes de l'onde de la tension transitoire de rétablissement propre à un circuit	56
B. Méthodes d'évaluation du facteur d'amplitude et de la vitesse d'accroissement de la tension transitoire de rétablissement propre aux circuits d'essai	74
C. Mesure du facteur de puissance d'un court-circuit (ou du rapport X/R)	80
D. Guide d'application des parafoudres à expulsion	86

Clause	Page
IV. Standard power-frequency current-interrupting ratings, rated restriking voltages and short-circuit power-factors for expulsion-type arresters. Transmission-class arresters	51
V. Test requirements and performance characteristics for 30 and 65 kiloamperes low discharge capacity distribution-class expulsion-type arresters	53
VI. Test requirements and performance characteristics for transmission-class expulsion-type arresters .	55

APPENDICES

A. Methods of determining inherent restriking voltage waveforms	57
B. Methods of evaluating the amplitude factor and rate-of-rise of inherent restriking voltage of test circuits	75
C. Measurement of the short-circuit power-factor (or X/R ratio)	81
D. Guide to the application of expulsion-type lightning arresters	87

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

PARAFOUDRES

Deuxième Partie: Parafoudres à expulsion

PRÉAMBULE

- 1) Les décisions ou accords officiels de la C.E.I. en ce qui concerne les questions techniques, préparés par des Comités d'Etudes où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 2) Ces décisions constituent des recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 3) Dans le but d'encourager cette unification internationale, la C.E.I. exprime le vœu que tous les Comités nationaux ne possédant pas encore de règles nationales, lorsqu'ils préparent ces règles, prennent comme base fondamentale de ces règles les recommandations de la C.E.I. dans la mesure où les conditions nationales le permettent.
- 4) On reconnaît qu'il est désirable que l'accord international sur ces questions soit suivi d'un effort pour harmoniser les règles nationales de normalisation avec ses recommandations dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Les Comités nationaux s'engagent à user de leur influence dans ce but.

PRÉFACE

La présente publication a été établie par le Comité d'Etudes N° 37, Parafoudres, et constitue la deuxième partie des recommandations de la C.E.I. relatives aux parafoudres.

La première partie de ces recommandations, applicables aux parafoudres à résistance variable, a été éditée comme Publication 99-1 de la C.E.I.

Des projets concernant la présente publication furent discutés lors de réunions tenues à Moscou en juillet 1957, à Stockholm en juillet 1958 et à Madrid en juillet 1959. A la suite de cette dernière réunion, un projet définitif fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en avril 1960.

Les pays suivants se sont prononcés explicitement en faveur de la publication:

Allemagne	Italie
Belgique	Pays-Bas
Danemark	Roumanie
Etats-Unis d'Amérique	Royaume-Uni
Finlande	Suède
France	Suisse
Hongrie	Union des Républiques Socialistes Soviétiques

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

LIGHTNING ARRESTERS

Part 2: Expulsion-type lightning arresters

FOREWORD

- 1) The formal decisions or agreements of the I.E.C. on technical matters, prepared by Technical Committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
- 2) They have the form of recommendations for international use and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 3) In order to promote this international unification, the I.E.C. expresses the wish that all National Committees having as yet no national rules, when preparing such rules, should use the I.E.C. recommendations as the fundamental basis for these rules in so far as national conditions will permit.
- 4) The desirability is recognized of extending international agreement on these matters through an endeavour to harmonize national standardization rules with these recommendations in so far as national conditions will permit. The National Committees pledge their influence towards that end.

PREFACE

This publication has been prepared by Technical Committee No. 37, Lightning arresters, and constitutes Part 2 of the I.E.C. recommendations for lightning arresters.

Part 1 of the recommendations, applying to lightning arresters of the non-linear resistor type, is published as I.E.C. Publication 99-1.

Drafts of the present publication were discussed at meetings held in Moscow in July 1957, Stockholm in July 1958 and Madrid in July 1959. As a result of this latter meeting, a final draft was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in April 1960.

The following countries voted explicitly in favour of publication:

Belgium	Netherlands
Denmark	Romania
Finland	Sweden
France	Switzerland
Germany	Union of Soviet Socialist Republics
Hungary	United Kingdom
Italy	United States of America

PARAFOUDRES

Deuxième Partie: Parafoudres à expulsion

SECTION UN — DOMAINE D'APPLICATION

1. Domaine d'application

Cette partie des recommandations s'applique aux appareils de protection contre les surtensions, prévus pour des fonctionnements répétés, servant à limiter les surtensions et à couper le courant de suite sur les réseaux d'énergie à courant alternatif et destinés à la protection des transformateurs de distribution et à la protection des lignes aériennes. Elle s'applique aux parafoudres comprenant des éclateurs simples ou multiples en série avec une chambre de coupure.

SECTION DEUX — GÉNÉRALITÉS

2. Conditions normales d'emploi

Les parafoudres conformes aux présentes recommandations doivent convenir pour un fonctionnement dans les conditions suivantes:

- a) Température ambiante ne dépassant pas 40°C.
- b) Altitude ne dépassant pas 1 000 mètres (3 300 pieds).
- c) Fréquence du courant alternatif d'alimentation comprise entre 48 Hz (inclus) et 62 Hz (inclus).
- d) Tension à fréquence industrielle appliquée entre les bornes de phase et de terre du parafoudre au plus égale à la tension nominale du parafoudre.
- e) Courants de défaut présumés maximal et minimal à l'emplacement du parafoudre dans la gamme de courants normaux d'interruption des parafoudres, à fréquence industrielle. On doit tenir compte des changements possibles des courants de défaut présumés qui peuvent provenir de modifications du réseau telles que la modification de la capacité du réseau ou la mise à la terre du neutre.
- f) Facteur de puissance de court-circuit du réseau au lieu d'installation du parafoudre, au moins égal à la valeur convenable du facteur de puissance du circuit d'essai ou au plus égal à la valeur convenable X/R du circuit d'essai (voir article 62, paragraphe iii).
- g) Vitesse d'accroissement de la tension de rétablissement (ou fréquence propre) et facteur d'amplitude du réseau au plus égaux aux valeurs nominales de la vitesse d'accroissement de la tension de rétablissement et du facteur d'amplitude (voir article 62, paragraphes iv et v).

Les parafoudres destinés à des utilisations ou à des conditions d'emploi différentes peuvent exiger une étude spéciale pour leur construction ou leur utilisation; chaque cas doit alors être étudié avec le constructeur. Voir Annexe D pour les utilisations spéciales et les conditions d'emploi anormales.

LIGHTNING ARRESTERS

Part 2: Expulsion-type lightning arresters

SECTION ONE — SCOPE

1. Scope

This part of the recommendations applies to surge protective devices designed for repeated operation to limit voltage surges on alternating current power circuits and to interrupt follow current for protection of distribution transformers and overhead lines. It applies to lightning arresters consisting of single or multiple spark gaps in series with an arcing chamber.

SECTION TWO — GENERAL

2. Normal service conditions

Lightning arresters which conform to these recommendations shall be suitable for operation under the following conditions:—

- a) Ambient temperature not exceeding 40°C.
- b) Altitude not exceeding 1 000 metres (3 300 feet).
- c) Frequency of the alternating current supply not less than 48 and not exceeding 62 Hz (c/s).
- d) Power-frequency voltage applied between the line and earth terminals of the arresters not exceeding its rated voltage.
- e) Maximum and minimum prospective fault currents at the arrester locations within the range of minimum-maximum power-frequency current-interrupting ratings of the arresters. Possible changes in the prospective fault current which may result from changes in the system, such as changes in system capacity or neutral grounding, must be considered.
- f) Short-circuit power-factor of the system at the point of installation of the arrester, not lower than the appropriate test circuit power-factor, or higher than the appropriate X/R ratio. (See Clause 62, paragraph iii.)
- g) Rate-of-rise of restriking voltage (or natural frequency) and the amplitude factor of the system must not exceed the rated rate-of-rise of restriking voltage and the rated amplitude factor. (See Clause 62, paragraphs iv and v.)

Arresters subjected to other than normal applications or service conditions may require special consideration in manufacture or application and each such case should be discussed with the manufacturer. See Appendix 12 for special applications and for abnormal service conditions.

SECTION TROIS — DÉFINITIONS

Les définitions ci-après ont été adoptées pour ce qui concerne les présentes recommandations.

3. Parafoudre

Appareil destiné à protéger le matériel électrique contre les surtensions transitoires élevées, à être branché entre les conducteurs d'un réseau et la terre et à limiter la durée et souvent l'amplitude du courant de suite.

Note: Le terme « parafoudre » comprend tout éclateur extérieur en série nécessaire au bon fonctionnement du dispositif lorsqu'il est installé en service, sans tenir compte du fait que cet éclateur soit ou non fourni comme partie intégrante du dispositif.

4. Parafoudre à expulsion

Parafoudre possédant une chambre de coupure dans laquelle l'arc du courant de suite est confiné et amené en contact avec une matière dégageant un gaz ou éteignant l'arc autrement, limitant ainsi la tension à la borne de la « ligne » et provoquant l'interruption du courant.

5. Chambre de coupure d'un parafoudre à expulsion

Partie d'un parafoudre à expulsion qui permet l'écoulement à la terre du courant de décharge et interrompt le courant de suite.

6. Eclateur série extérieur

Intervalle réalisé entre les électrodes situées en série avec l'éclateur ou les éclateurs de la chambre de coupure.

7. Tension nominale du parafoudre

Valeur spécifiée maximale de la tension efficace à fréquence industrielle admissible entre ses bornes de ligne et de terre.

8. Fréquence nominale du parafoudre

La fréquence ou la plage des fréquences nominales du réseau pour laquelle le parafoudre est prévu.

9. Courant de suite

Courant débité par le réseau et écoulé par le parafoudre après le passage du courant de décharge.

10. Courant de décharge

Onde de courant écoulée par le parafoudre après un amorçage.

11. Tension résiduelle d'un parafoudre

Tension qui apparaît entre les bornes d'un parafoudre pendant le passage du courant de décharge.

SECTION THREE — DEFINITIONS

The following definitions have been adopted for the purposes of these recommendations.

3. **Lightning arrester**

A device designed to protect electrical apparatus from high transient voltage, to be connected between the electrical conductors of a network and earth, and to limit the duration and frequently the amplitude of follow current.

Note: The term "lightning arrester" includes any external series gap which is essential for the proper functioning of the device as installed for service, regardless of whether or not it is supplied as an integral part of the device.

4. **Expulsion-type lightning arrester (Expulsion-type arrester)**

An arrester having an arcing chamber in which the follow-current arc is confined and brought into contact with gas evolving or other arc extinguishing material in a manner which results in the limitation of the voltage at the line terminal and the interruption of the follow current.

5. **Arcing chamber of expulsion-type arrester**

That part of an expulsion-type arrester which permits the flow of discharge current to earth and interrupts the follow current.

6. **External series gap of expulsion-type arrester**

An intentional gap between spaced electrodes in series with the gap or gaps in the arcing chamber.

7. **Rated voltage of an arrester**

The designated maximum permissible r.m.s. value of power-frequency voltage between its line and earth terminals.

8. **Rated frequency of an arrester**

The frequency, or range of rated frequencies, of the power systems on which the arrester is designed to be used.

9. **Follow current**

The current from the connected power source which flows through an arrester following the passage of discharge current.

10. **Discharge current**

The surge current which flows through the arrester after a sparkover.

11. **Residual voltage (discharge voltage ¹⁾ of an arrester**

The voltage that appears between the line and earth terminals of an arrester during the passage of discharge current.

¹⁾ Terms in parentheses are those commonly used in Canada and the United States of America.

12. Tension de tenue à fréquence industrielle d'un parafoudre

Valeur efficace de la tension à fréquence industrielle la plus élevée, appliquée entre les bornes d'un parafoudre, qui est requise par le parafoudre pour amorçage de tous les éclateurs série.

13. Tension d'amorçage au choc d'un parafoudre

Valeur la plus élevée de la tension qui est atteinte avant le passage du courant de décharge quand une onde de forme et de polarité données est appliquée entre les bornes d'un parafoudre.

14. Domaine nominal de courant de décharge à fréquence industrielle d'un parafoudre à expulsion

Plage des courants présumés (du minimum au maximum) à l'intérieur de laquelle le parafoudre doit pouvoir fonctionner à sa tension nominale et dans des conditions prescrites de vitesse de rétablissement, de tension transitoire de rétablissement, de facteur d'amplitude et de facteur de puissance (ou de rapport X/R).

Note: Le courant de suite traversant le parafoudre est inférieur au courant présumé lorsque le parafoudre a la propriété de limiter le courant.

15. Courant présumé

Valeur efficace du courant de court-circuit symétrique qui circulerait en un point donné d'un circuit si, en ce point, le (ou les) parafoudre(s) était (étaient) remplacé(s) par des connexions d'impédance nulle.

16. Tension transitoire de rétablissement

Tension apparaissant aux bornes d'un parafoudre à expulsion aussitôt après la coupure du courant de suite.

Cette tension peut être considérée comme la somme de deux composantes, l'une périodique à fréquence industrielle et l'autre transitoire pouvant être oscillatoire (à une ou plusieurs fréquences) ou non oscillatoire (par exemple exponentielle) ou une combinaison de celles-ci selon les caractéristiques du circuit et du parafoudre.

17. Tension de rétablissement (tension de rétablissement à fréquence industrielle)

Composante à fréquence industrielle de la tension transitoire de rétablissement. Elle s'évalue en valeur efficace.

Pour les parafoudres à expulsion, elle s'exprime par la tension entre les bornes de ligne et de terre des parafoudres.

Note: La tension de rétablissement dépend de la mise à la terre du réseau et des conditions du défaut et elle peut dépasser la tension du réseau entre phase et terre à l'emplacement du parafoudre.

18. Tension transitoire de rétablissement propre à un circuit

Tension transitoire de rétablissement associée à un circuit particulier, qui résulte des caractéristiques propres à ce circuit et dont la forme n'est pas modifiée par les caractéristiques du parafoudre. Le terme est défini par le facteur d'amplitude et par l'indication soit de la vitesse d'accroissement de la tension de rétablissement soit de la fréquence propre (voir articles 22 à 25).

Note: Elle serait obtenue dans le circuit considéré si un courant sinusoïdal symétrique était coupé par un parafoudre idéal (sans tension d'arc ni conductivité résiduelle) sous une tension de rétablissement à fréquence industrielle spécifiée.

12. Power-frequency withstand voltage of an arrester

The r.m.s. value of the highest power-frequency voltage, applied between the line and earth terminals of an arrester, which the arrester is required to withstand without sparkover of all of the series gaps.

13. Impulse sparkover voltage of an arrester

The highest value of voltage attained during an impulse of given wave shape and polarity applied between the line and earth terminals of an arrester prior to the flow of discharge current.

14. Power-frequency current-interrupting rating of expulsion-type arrester

The range of minimum to maximum prospective currents within which the arrester is designed to operate at its rated voltage under prescribed conditions of rate-of-rise of restriking voltage, amplitude factor and power-factor (or X/R ratio).

Note: The follow current passed by the arrester will be lower than the prospective current when the arrester has current limiting characteristics.

15. Prospective current (available current ¹⁾)

The r.m.s. symmetrical short-circuit current which would flow at a given point in a circuit if the arrester(s) at that point were replaced by links of zero impedance.

16. Restriking voltage (transient recovery voltage ¹⁾)

The voltage which appears across the terminals of an expulsion-type arrester immediately after interruption of follow current.

This voltage may be considered as composed of two components, one of power-frequency and one transient component which may be oscillatory (at single or multi-frequency) or non-oscillatory (e.g. exponential) or a combination of these depending on the characteristics of the circuit and the arrester.

17. Recovery voltage (power-frequency recovery voltage ¹⁾)

The power-frequency component of the restriking voltage which is stated as an r.m.s. value.

For expulsion-type arresters, it is expressed as the voltage between the line and earth terminals of the arresters.

Note: The recovery voltage will depend on the system earthing and fault conditions and may exceed the normal phase-to-earth voltage of the system at the arrester.

18. Inherent restriking voltage (circuit transient recovery voltage ¹⁾)

The restriking voltage which is associated with a particular circuit and determined by the circuit parameters alone, its form being unmodified by the characteristics of the arrester. It is expressed in terms of amplitude factor and rate-of-rise (or natural frequency) (See Clauses 22 to 25).

Note: It would be obtained if in the particular circuit a sinusoidal symmetrical current were broken by an ideal expulsion-type arrester (no arc voltage and no post-arc conductivity) at a stated recovery voltage.

¹⁾ Terms in parentheses are those commonly used in Canada and the United States of America.

19. Tension transitoire de rétablissement d'essai

Tension transitoire de rétablissement réelle relevée lors d'un essai particulier.

Note: Cette tension est la tension transitoire de rétablissement propre au circuit d'essai modifiée par l'influence du parafoudre.

20. Tension transitoire de rétablissement de réseau

Tension transitoire de rétablissement propre au réseau au lieu d'installation du parafoudre.

Note: Lors de fonctionnements de parafoudres à expulsion intéressant deux ou trois phases, le premier parafoudre qui coupe est généralement soumis à une tension transitoire de rétablissement plus sévère que les parafoudres installés sur les autres phases.

21. Tension transitoire de rétablissement nominale

Tension transitoire de rétablissement propre à un circuit à laquelle se réfèrent les valeurs nominales du courant de coupure du parafoudre.

La tension transitoire de rétablissement nominale comporte une composante transitoire oscillant à une seule fréquence, qui satisfait par convention à l'équation:

$$e = E_m (1 - e^{-\alpha t} \cos 2 \pi f t)$$

dans laquelle:

e est la valeur instantanée de la tension

E_m est la valeur de crête de la tension de rétablissement aux bornes du parafoudre considéré

f est la fréquence de l'oscillation

t est le temps

ε est égal à 2,718

α est le coefficient d'amortissement

Elle s'exprime par son facteur d'amplitude nominal associé à sa vitesse nominale d'accroissement (voir articles 22 à 25).

22. Vitesse d'accroissement de la tension transitoire de rétablissement (en abrégé v.a.t.r.)

Taux d'accroissement exprimé en volts par microseconde, caractérisant l'allure de la tension transitoire de rétablissement et défini conventionnellement par la méthode prescrite à l'annexe B.

Pour une tension transitoire de rétablissement comportant une composante transitoire oscillant à une seule fréquence et, en particulier, pour une tension transitoire de rétablissement nominale, la v.a.t.r. s'obtient en faisant le quotient de l'amplitude maximale de l'oscillation par la durée de sa première demi-onde.

23. Valeur de crête de la tension transitoire de rétablissement

Valeur instantanée maximale atteinte par la tension transitoire de rétablissement.

19. Test restriking voltage (test transient recovery voltage ¹⁾)

The actual restriking voltage occurring on a particular test.

Note: This voltage is the inherent restriking voltage modified by the influence of the expulsion-type arrester.

20. System restriking voltage (system transient recovery voltage ¹⁾)

The inherent restriking voltage of the system at the point of installation of the arrester.

Note: On expulsion-type arrester operations involving two or three phases, the first arrester to clear is generally subjected to a more severe restriking voltage than the arresters on the remaining phases.

21. Rated restriking voltage (rated transient recovery voltage ¹⁾)

The inherent restriking voltage to which the current-interrupting rating of the expulsion-type arrester is related.

The rated restriking voltage has a single frequency transient component considered to conform to the expression:

$$e = E_m (1 - \epsilon^{-\alpha t} \cos 2 \pi f t)$$

where:

e = instantaneous value of the voltage

E_m = peak value of the recovery voltage across the arrester under consideration

f = frequency of the oscillation

t = time

ϵ = 2.718

α = damping coefficient

It is expressed by its rated amplitude factor together with its rated rate-of-rise (see Clauses 22 to 25).

22. Rate-of-rise of restriking voltage (transient recovery voltage rate)

(Usually abbreviated to r.r.v.). The rate, expressed in volts per microsecond, which is representative of the increase of the restriking voltage, the assessment being made in accordance with a prescribed method in Appendix B.

For a restriking voltage having a single-frequency transient component and particularly for a rated restriking voltage, the r.r.v. is obtained by dividing the maximum amplitude of the oscillation by the duration of the first half-wave.

23. Peak (crest) restriking voltage

The maximum instantaneous voltage which is attained by the restriking voltage.

¹⁾ Terms in parentheses are those commonly used in Canada and the United States of America.

24. Facteur d'amplitude d'une tension transitoire de rétablissement

Rapport entre la valeur de crête de cette tension transitoire de rétablissement et la valeur de crête ($\sqrt{2}$ fois la valeur efficace) de la tension de rétablissement à fréquence industrielle.

Note: Voir la méthode de calcul à l'annexe B.

25. Fréquence propre d'oscillation d'un circuit

Fréquence(s) à laquelle (ou auxquelles) le circuit oscille en régime libre.

26. Facteur de puissance d'un court-circuit

Cosinus de l'angle qui représente le déphasage entre l'onde du courant présumé (composante alternative) et l'onde de force électromotrice correspondante à l'instant de l'amorçage de l'arc.

27. Essai de fonctionnement

Essai au cours duquel les conditions normales de service sont reproduites en appliquant un nombre spécifié d'ondes de choc au parafoudre, relié par ailleurs à une source d'énergie à la fréquence nominale et à la tension spécifiée.

28. Coefficient de mise à la terre d'un réseau triphasé en un emplacement déterminé pour l'utilisation des parafoudres

Le coefficient de mise à la terre d'un réseau triphasé en un emplacement déterminé et pour une configuration donnée du réseau (généralement le point d'installation d'un matériel) est le rapport, exprimé en pour-cent, de la tension efficace la plus élevée à la fréquence du réseau entre une phase saine et la terre à cet emplacement pendant un défaut à la terre affectant une ou plusieurs phases, à la tension efficace entre phases à la fréquence du réseau qui serait obtenue au même emplacement avec disposition du défaut.

Notes: a) Ce coefficient est un simple rapport numérique qui caractérise de façon générale les conditions de mise à la terre d'un réseau, vues de l'emplacement considéré, indépendamment de la valeur particulière de la tension de service du réseau en cet emplacement.

b) Les coefficients de mise à la terre sont calculés en fonction des impédances des différentes suites du réseau vues de l'emplacement considéré, en utilisant pour les générateurs les réactances sub-transitoires.

c) Ce coefficient intervient dans les présentes recommandations pour le choix de la tension nominale du parafoudre à installer à l'emplacement considéré.

29. Réseau à neutre isolé

Réseau triphasé dont tous les neutres n'ont aucune connexion intentionnelle à la terre sauf à travers des appareils de signalisation, de mesure ou de protection, de très grande impédance.

30. Réseau compensé par bobine d'extinction

Réseau triphasé dont les neutres sont réunis à la terre par des bobines dont les valeurs des réactances sont telles que lors d'un défaut entre une phase du réseau et la terre, le courant inductif à fréquence industrielle qui circule dans la réactance compense sensiblement la composante capacitive à fréquence industrielle du courant de défaut à la terre.

Note: Dans un réseau compensé par bobine d'extinction, le courant de défaut résultant est limité de telle sorte que l'arc de défaut dans l'air s'éteigne spontanément.

24. Amplitude factor of a restriking voltage (transient recovery voltage)

The ratio between the peak restriking voltage and the peak value ($\sqrt{2}$ times r.m.s. value) of the recovery voltage.

Note: See Appendix B for method of evaluation.

25. Natural frequency

The frequency or frequencies at which the circuit will oscillate if it is free to do so.

26. Short-circuit power-factor

The cosine of the angle that represents the phase displacement between the prospective current wave (alternating current) at the instant of initiation and the corresponding voltage (e.m.f.) wave.

27. Operating-duty test

A test in which working conditions are simulated by the application to the arrester of a specified number of impulses while it is connected to a power supply of rated frequency and specified voltage.

28. Coefficient of earthing at a selected location for the application of arresters on a three-phase system

The coefficient of earthing at a selected location of a three-phase system for a given system layout (generally the point of installation of an equipment) is the ratio, expressed as a percentage, of the highest r.m.s. line-to-earth power-frequency voltage on a sound phase at the selected location during a fault to earth affecting one or more phases, to the line-to-line r.m.s. power-frequency voltage which would be obtained at the selected location with the fault removed.

Notes: a) This coefficient is a pure numerical ratio and characterizes in general terms the earthing conditions of a system as viewed from the selected location, independently of the actual operating values of the voltage at that location.

b) The coefficients of earthing are calculated from the phase-sequence impedance components of the system as viewed from the selected location, using for the machines the subtransient reactances.

c) This coefficient is used in the present recommendations for the choice of the voltage rating of the arrester to be installed at a selected location.

29. Isolated-neutral system

A three-phase system all the neutrals of which have no intentional connection to earth except through indicating, measuring, or protective devices of very high impedance.

30. Resonant earthed system (neutralizer grounded system)

A three-phase system the neutrals of which are connected to earth through reactors, the reactances being of such value that during a single line-to-earth fault, the power-frequency inductive current passed by the reactor essentially neutralizes the power-frequency capacitance component of the earth-fault current.

Note: With resonant earthing of a system, the net current in the fault is limited to such an extent that an arcing fault in air is self-extinguishing.

31. Réseau à neutre à la terre

Réseau triphasé dont un ou plusieurs neutres sont réunis à la terre soit directement, soit par des résistances ou réactances de faible valeur.

- a) *Un réseau à neutre effectivement à la terre* en un emplacement déterminé est un réseau caractérisé par un coefficient de mise à la terre en cet emplacement qui ne dépasse pas 80 %.
- b) *Un réseau à neutre non effectivement à la terre* en un emplacement déterminé est un réseau caractérisé par un coefficient de mise à la terre en cet emplacement qui peut dépasser 80 %.

32. Essais de type

Essais effectués après la mise au point d'un nouveau type de parafoudre pour déterminer ses caractéristiques et montrer qu'il est conforme aux présentes recommandations. Ces essais ne doivent être repris sur un type d'appareil que si des modifications viennent en changer les caractéristiques.

33. Essais individuels

Essais effectués sur chaque appareil, éléments ou matériaux, pour s'assurer qu'ils répondent aux spécifications.

34. Essais de prélèvement

Essais effectués sur des échantillons représentatifs prélevés au hasard sur la fabrication pour s'assurer que les appareils répondent aux spécifications.

35. Essais de réception

Ensemble déterminé d'essais, effectués lorsque le constructeur et le client ont convenu que des essais seraient faits sur les appareils de la fourniture ou sur des prélèvements.

36. Onde de choc

Onde de tension ou de courant unidirectionnelle qui, sans oscillations appréciables, croît rapidement jusqu'à une valeur maximale et tombe généralement moins rapidement à zéro.

Les caractéristiques qui définissent une onde de tension ou de courant sont les suivantes :

- a) polarité
- b) valeur de crête
- c) durée du front d'onde
- d) durée de la queue de l'onde.

37. Valeur de crête

La valeur de crête de la tension ou du courant est la valeur maximale de l'onde de choc. S'il existe de petites oscillations superposées à la crête, la valeur de crête est définie par la valeur maximale et non par la courbe moyenne tracée selon la ligne d'ordonnée nulle des oscillations.

31. Earthed-neutral system

A three-phase system one or more of the neutrals of which are always connected to earth either solidly or through resistances or reactances of low values to reduce materially transient oscillations and to give a current sufficient for selective earth fault protection.

- a) *A system with effectively earthed neutral* at a given location is a system characterized by a coefficient of earthing at this point which does not exceed 80 %.
- b) *A system with non-effectively earthed neutral* at a given location is a system characterized by a coefficient of earthing at this point that may exceed 80 %.

32. Type tests (design tests)

Tests which are made upon the completion of the development of a new arrester design to establish representative performance and to demonstrate compliance with these recommendations. Once made, these tests need not be repeated unless the design is changed so as to modify its performance.

33. Routine tests

Tests made on each arrester or on parts and materials as required to ensure that the product meets the design specification.

34. Sampling tests

Tests made on representative samples taken at random from production as required to ensure that the product meets the design specification.

35. Acceptance tests

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

36. Impulse

A unidirectional wave of voltage or current which without appreciable oscillations rises rapidly to a maximum value and falls, usually less rapidly, to zero.

The characteristics which define an impulse voltage or current wave are as follows:

- a) polarity
- b) peak value
- c) wavefront
- d) wavetail.

37. Peak (crest) value

The peak value of voltage or current is the maximum value of the impulse. If there are small oscillations superimposed at the peak, the peak value is defined by the maximum value and not the mean curve drawn through the oscillations.

38. Front d'une onde de choc

Partie de l'onde précédant la crête.

39. Queue d'une onde de choc

Partie de l'onde comprise entre la crête et la fin de l'onde.

40. Origine conventionnelle des temps d'une onde de choc

Point de la courbe tension-temps ou courant-temps déterminé par l'intersection de l'axe des abscisses et de la droite passant par deux points du front de l'onde choisis comme suit :

- a) sur les ondes de tension pleines et sur les ondes de tension coupées sur le front, la crête ou la queue, les points de référence seront à 30 % et 90 % de la valeur de crête ;
- b) sur les ondes de courant, les points de référence seront à 10 % et 90 % de la valeur de crête.

41. Durée conventionnelle de l'onde (T_1)

Pour faciliter les mesures, la durée conventionnelle du front d'onde, généralement exprimée en microsecondes est fixée comme suit :

- a) pour les ondes de tension pleines et les ondes coupées sur le front, la crête ou la queue — 1,67 fois le temps nécessaire à la tension pour croître de 30 % à 90 % de sa valeur de crête ;
- b) pour les ondes de courant — 1,25 fois le temps nécessaire au courant pour croître de 10 % à 90 % de sa valeur de crête.

42. Raideur conventionnelle du front d'onde

Pente de la droite qui détermine l'origine conventionnelle des temps. Elle s'exprime généralement en volts ou ampères par microsecondes.

43. Durée de l'onde jusqu'à la moitié de la valeur de la crête (durée conventionnelle d'une onde de choc) (T_2)

Intervalle de temps entre l'origine conventionnelle et l'instant où la tension (ou le courant) a diminué jusqu'à atteindre sur la queue la moitié de la valeur de crête. Cette durée est généralement exprimée en microsecondes.

44. Énoncé de la forme d'une onde de choc

Énumération de deux valeurs, la première représentant la durée conventionnelle du front d'onde (T_1) et la seconde la durée de l'onde jusqu'à la moitié de la valeur de crête (T_2). L'onde est généralement représentée par T_1/T_2 ou $T_1 \times T_2$ en microsecondes. Les signes « / » ou « $\times$ » n'ont aucune signification mathématique.

38. Wavefront of an impulse

That part of an impulse which occurs prior to the peak value.

39. Wavetail of an impulse

That part of an impulse which occurs between the peak value and the end of the impulse.

40. Virtual zero time (conventional origin) of an impulse

The point on a graph of voltage-time or current-time determined by the intersection with the zero voltage or current axis of a straight line drawn through two points on the front of the wave:

- a) for full voltage waves and voltage waves chopped on the front, peak, or tail, the reference points shall be 30% and 90% of the peak value;
- b) for current waves the reference points shall be 10% and 90% of the peak value.

41. Virtual (conventional) duration of wavefront (T_1)

For convenience in making measurements, the virtual value for the duration of the wavefront, generally expressed in microseconds, is as follows:

- a) for full voltage waves and voltage waves chopped on the front, peak, or tail — 1.67 times the time taken by the voltage to increase from 30% to 90% of its peak value;
- b) for current waves — 1.25 times the time taken by the current to increase from 10% to 90% of its peak value.

42. Virtual steepness of wavefront

The slope of the line that determines the virtual zero time. It is usually expressed in volts or amperes per microsecond.

43. Time to half value on the wavetail (virtual duration of an impulse) (T_2)

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

44. Wave shape designation of an impulse

A combination of two numbers, the first representing the virtual duration of the wavefront (T_1) and the second the time to half value on the wavetail (T_2). This usually is written as T_1/T_2 or $T_1 \times T_2$ in microseconds. The signs “/” or “ $\times$ ” have no mathematical meaning.

SECTION QUATRE — CARACTÉRISTIQUES ET VALEURS NORMALES

45. Caractéristiques des parafoudres

a) Les parafoudres à expulsion doivent être définis au moins par les indications suivantes:

- classe de parafoudre
- tension nominale
- fréquence nominale
- domaine nominal des courants de coupure à fréquence industrielle (valeur minimale et maximale)
- tension transitoire de rétablissement nominale (voir articles 22 à 25)
- écartement des éclateurs de coupure, s'ils sont réglables par l'utilisateur
- écartement des éclateurs série extérieurs, si le parafoudre en comporte
- nom du constructeur, ou sa marque de fabrique, type et marques d'identification.

b) La plaque signalétique doit porter au minimum les indications suivantes:

- classe de parafoudre
- tension nominale
- fréquence nominale (voir Note 1)
- domaine nominal des courants de coupure à fréquence industrielle (indiquer les valeurs minimale et maximale)
- écartement des éclateurs série extérieurs, si le parafoudre en comporte (voir Note 2)
- nom du constructeur, ou sa marque de fabrique, type et marques d'identification.

Notes: 1) Si la fréquence nominale n'est pas indiquée sur la plaque signalétique, elle est supposée être de 50 Hz à 60 Hz.

2) Quand l'écartement des éclateurs extérieurs est réglable, le constructeur précisera les valeurs minimale et maximale.

46. Classification des parafoudres à expulsion

On distingue les classes suivantes de parafoudres à expulsion:

- a) classe « poste de distribution » de pouvoir de décharge 30 kiloampères;
- b) classe « poste de distribution » de pouvoir de décharge 65 kiloampères;
- c) classe « ligne ».

Ces classes sont déterminées par l'aptitude des parafoudres à satisfaire aux conditions d'essai et aux conditions de fonctionnement figurant au tableau I.

SECTION FOUR — IDENTIFICATION AND STANDARD RATINGS

45. Arrester identification

a) Expulsion-type lightning arresters shall be identified by the following minimum information:

- arrester class
- rated voltage
- rated frequency
- power-frequency current-interrupting rating (minimum to maximum)
- rated restriking voltage (see Clauses 22 to 25)
- arcing gap spacing, if adjustable by user
- external series gap spacing (if used)
- the manufacturer's name or trade-mark, type and identification.

b) The minimum information which shall appear on the nameplate shall be:

- arrester class
- rated voltage
- rated frequency (see Note 1)
- power-frequency current-interrupting rating (give minimum values and maximum values)
- external series gap spacing (if used) (see Note 2)
- the manufacturer's name or trade-mark, type and identification.

Notes: 1) If the rated frequency is not stated on the nameplate, it is considered to be the standard frequency 50 to 60 Hz(c/s).

2) When the external series gap spacing is adjustable, the manufacturer shall supply information on the minimum and maximum values.

46. Classification of expulsion-type arresters

Expulsion-type arresters are classified as:

- a) 30 kiloampere discharge capacity distribution-class;
- b) 65 kiloampere discharge capacity distribution-class, and
- c) transmission-class.

These classes are based on the ability of the arresters to meet the test requirements and performance characteristics listed in Table I.

TABLEAU I

Classification des parafoudres à expulsion

Conditions d'essai, caractéristiques de fonctionnement	Valeurs nominales ou spécifications d'essai pour les parafoudres de la classe « poste de distribution »		Valeurs nominales ou spécifications d'essai pour les parafoudres de la classe « ligne »
	Pouvoir de décharge		
	30 kA (1)	65 kA (2)	
Tension nominale (kV, valeur efficace)	3 à 40	3 à 18	9 à 145
Essai de tenue au courant de choc en kiloampères de crête (Article 61 A)	30,0	65,0	65,0
Essai aux courants de coupure nominaux (essai de fonctionnement) (Article 62)	Article 50	Article 50	Article 50
Minimum et maximum	Tableau II	Tableau III	Tableau IV
Essai de tenue à la tension de l'isolation du parafoudre (Article 56)	Colonne 4 du tableau V	Colonnes 2 ou 3 et 4 du tableau V	Colonnes 2 ou 3 et 4 du tableau VI
Essai de tenue à fréquence industrielle du parafoudre complet (Article 57)	Colonne 5 du tableau V	Colonne 5 du tableau V	Colonne 5 du tableau VI
Essai à la tension maximale d'amorçage en onde 1/50 (Article 58)	Colonne 6 ou 7 du tableau V	Colonne 6 ou 7 du tableau V	Colonne 6 du tableau VI
Essai à la tension maximale d'amorçage sur front d'onde (Article 59)	Colonnes 9 ou 10 du tableau V	Colonnes 9 ou 10 du tableau V	Colonne 8 du tableau VI

Notes: (1) Valeurs utilisées dans quelques pays européens.

(2) Valeurs utilisées au Canada et aux États-Unis.

47. Tensions nominales normales

a) Les tensions nominales normales des parafoudres à expulsion de la classe « postes de distribution » (valeurs efficaces en kV) sont:

3	12	25
4,5	15	30
6	18	37
9	20	40

b) Les tensions nominales normales des parafoudres à expulsion de la classe « ligne » (tubes protecteurs à expulsion) (valeurs efficaces en kV) sont:

9	25	60
12	30	73
15	37	90
18	40	97
20	50	123
		145

TABLE I

Classification of expulsion-type arresters

Test requirements for performance characteristics	Ratings or test values for distribution-class arresters		Ratings or test values for transmission- class arresters
	Discharge capacity		
	30 kA (1)	65 kA (2)	
Voltage rating (kV r.m.s.)	3 to 40	3 to 18	9 to 145
Impulse current withstand test, kiloamperes peak (Clause 61 A)	30.0	65.0	65.0
Test for current interrupting ratings (operating-duty test) (Clause 62)	Clause 50	Clause 50	Clause 50
Minimum and maximum	Table II	Table III	Table IV
Voltage withstand test of arrester insulation (Clause 56)	Column 4 Table V	Columns 2 or 3 and 4 Table V	Columns 2 or 3 and 4 Table VI
Power-frequency voltage withstand test on complete arrester (Clause 57)	Column 5 Table V	Column 5 Table V	Column 5 Table VI
Maximum 1/50 impulse sparkover-voltage test (Clause 58)	Columns 6 or 7 Table V	Columns 6 or 7 Table V	Column 6 Table VI
Maximum front-of-wave sparkover-voltage test (Clause 58)	Columns 9 or 10 Table V	Columns 9 or 10 Table V	Column 8 Table VI

Notes: (1) Used in some European countries.

(2) Used in Canada and the United States.

47. Standard voltage ratings

a) Standard voltage ratings of distribution-class expulsion-type arrester (in kV, r.m.s.) shall be:

3	12	25
4.5	15	30
6	18	37
9	20	40

b) Standard voltage ratings of transmission-class expulsion-type arresters (expulsion protector tubes) (in kV, r.m.s.) shall be:

9	25	60
12	30	73
15	37	90
18	40	97
20	50	123
		145

48. Plage normalisée des fréquences

La plage normalisée des fréquences nominales est la plage comprise entre 50 et 60 Hz.

49. Valeurs normales des courants de tenue au choc

Les valeurs normales des courants de tenue au choc sont :

- 1) 30 kiloampères avec une onde de forme 4/10 microsecondes pour les parafoudres de la classe « poste de distribution » de pouvoir de décharge 30 kiloampères ;
- 2) 65 kiloampères avec une onde de forme 4/10 microsecondes pour les parafoudres de la classe « poste de distribution » de pouvoir de décharge 65 kiloampères ;
- 3) 65 kiloampères avec une onde de forme 4/10 microsecondes pour les parafoudres de la classe « ligne ».

50. Valeurs normales du domaine nominal des courants de coupure à fréquence industrielle, des tensions transitoires de rétablissement nominales et des facteurs de puissance

Les valeurs nominales du domaine nominal des courants de coupure à fréquence industrielle, de tensions transitoires de rétablissement nominales et des facteurs de puissance des parafoudres à expulsion figurent dans les tableaux suivants (voir section Six) :

- | | |
|-------------|---|
| Tableau II | pour les parafoudres de la classe « poste de distribution » de pouvoir de décharge 30 kiloampères ; |
| Tableau III | pour les parafoudres de la classe « poste de distribution » de pouvoir de décharge 65 kiloampères ; |
| Tableau IV | pour les parafoudres de la classe « ligne ». |

SECTION CINQ — SPÉCIFICATIONS D'ESSAI

A. CONDITIONS GÉNÉRALES D'ESSAI

51. Échantillons destinés aux essais et mesures

Sauf spécification contraire, tous les essais doivent être faits sur les mêmes parafoudres. Ceux-ci doivent être neufs, propres, complètement montés et disposés dans des conditions aussi voisines que possible des conditions de service. Pour certains essais de la présente spécification, il est prescrit que les essais soient faits sur un nombre spécifié de parafoudres de chaque modèle et de chaque type. Les parafoudres qui ne diffèrent que par leurs modes de montage ou la disposition de leurs supports, mais qui sont identiques par ailleurs, sont considérés comme de même modèle. Si le parafoudre est muni de ferrures de fixation, celles-ci doivent être reliées à la borne de terre pendant l'essai.

52. Essais au choc

A moins qu'il n'en soit spécifié autrement dans les présentes spécifications, ces essais doivent être faits suivant les prescriptions de l'édition en vigueur de la Publication 60 de la C.E.I.. Il est recommandé que toutes les mesures de tension de choc soient faites au moyen d'un oscillographe cathodique et d'un diviseur de tension correctement étalonnés, de préférence à un éclateur à sphères seul. Les tolérances suivantes doivent s'appliquer à tous les essais de choc exigés par les présentes spécifications à moins d'indication contraire :

48. Standard frequency range

The standard rated frequency shall be 50 to 60 Hz (c/s).

49. Standard impulse withstand currents

The standard impulse withstand currents shall be:

- 1) 30 kiloamperes with 4/10 microsecond wave shape for 30 kiloampere discharge capacity distribution-class arresters;
- 2) 65 kiloamperes with 4/10 microsecond wave shape for 65 kiloampere discharge capacity distribution-class arresters;
- 3) 65 kiloamperes with 4/10 microsecond wave shape for transmission-class arresters.

50. Standard power-frequency current-interrupting ratings, rated restriking voltages and power-factors

Standard power-frequency current-interrupting ratings, rated restriking voltages and power-factors of expulsion-type arresters shall be as given in the following tables (see Section Six):

Table II, for 30 kiloampere discharge capacity distribution-class arresters;

Table III, for 65 kiloampere discharge capacity distribution-class arresters;

Table IV, for transmission-class arresters.

SECTION FIVE — TEST SPECIFICATIONS

A. GENERAL TESTING PROCEDURE

51. Test samples and measurements

Except when otherwise specified, all of the tests shall be made on the same arresters. They shall be new, clean, and completely assembled and mounted as nearly as possible as in service. For some tests in these specifications it is required that tests be made on a specified number of each design and each rating. Arresters which differ only in the methods of mounting or arrangement of the supporting structure, and which are otherwise identical, are considered to be of the same design. If the arrester has a mounting bracket, it shall be connected to the earth terminal during the test.

52. Impulse tests

Unless otherwise specified herein, the tests shall be made in accordance with the current edition of I.E.C. Publication 60. It is recommended that all measurements of impulse voltages be made by means of a cathode-ray oscillograph and suitably calibrated voltage divider, rather than by means of a sphere gap alone. The following tolerances shall apply for all impulse tests required by these recommendations unless otherwise specified:

a) pour les ondes 1/50:

- ± 5% sur la valeur de crête
- ± 50% sur la durée conventionnelle du front d'onde
- ± 20% sur la durée de l'onde jusqu'à la moitié de la valeur de crête
- ± 5% d'oscillations au voisinage de la crête.

b) pour les autres ondes:

- ± 10% sur la valeur de crête
- ± 10% sur la durée conventionnelle du front d'onde
- ± 10% sur la durée de l'onde jusqu'à la moitié de la valeur de crête
- ± 10% sur la raideur conventionnelle du front d'onde
- ± 5% d'oscillations au voisinage de la crête.

Note: On peut admettre qu'à l'onde de choc se superposent de petites oscillations, à condition que l'amplitude de ces dernières au voisinage de la crête de l'onde reste inférieure à 5% de la valeur crête. Dans ces conditions, on peut, pour la mesure, déterminer la crête par la valeur maximale et non par le tracé d'une courbe moyenne.

53. Essais à fréquence industrielle

Tous les essais à fréquence industrielle doivent être effectués sous une tension alternative dont la fréquence est comprise entre les limites de 48 et 62 Hz et ayant une forme d'onde approximativement sinusoïdale. La tension de crête aux bornes de l'appareil doit être mesurée avec un voltmètre de crête ou tout autre dispositif correctement étalonné. On admettra que la valeur efficace de la tension est égale à la valeur de crête mesurée divisée par $\sqrt{2}$.

54. Essais sous pluie

Ces essais ne sont effectués que sur les parafoudres de type extérieur. Lorsque ces essais sont exigés, l'appareil doit être soumis à une pluie artificielle constituée par une précipitation suffisamment homogène et divisée, tombant sous un angle d'environ 45° avec la verticale.

a) *Pratique en Europe*

La pluie doit correspondre à une hauteur d'eau de 3 mm par minute mesurée avec un pluviomètre dont l'axe est vertical. Les mesures, faites à proximité des extrémités et à mi-hauteur du parafoudre, ne doivent pas s'écarter de plus de 25% de la valeur moyenne qui doit être elle-même égale à la valeur spécifiée avec une tolérance de 10%. La résistivité de l'eau qui alimente les buses mesurée à la température ambiante doit être comprise entre 9 000 et 11 000 ohm cm. La tension d'essai est appliquée pendant 60 secondes.

b) *Pratique au Canada et aux Etats-Unis*

La pluie doit correspondre à une hauteur d'eau de 5,08 mm par minute, mesurée avec un pluviomètre dont l'axe est vertical. Les mesures, faites à proximité des extrémités et à mi-hauteur du parafoudre, ne doivent pas s'écarter de plus de 25% de la valeur moyenne qui doit être elle-même égale à la valeur spécifiée avec une tolérance de 15%. La résistivité de l'eau qui alimente les buses doit être de 17 800 ohm cm ± 15% mesurée à la température à laquelle l'eau frappe l'appareil soumis à l'essai. La température de l'eau de pulvérisation lorsqu'elle frappe l'appareil ne doit pas s'écarter de plus de 15°C de la température de la salle. On applique la tension d'essai pendant 10 secondes.

Note: Il est recommandé à chaque Comité national de n'utiliser qu'une seule de ces pratiques. L'utilisation d'une seule méthode à la place des deux méthodes ci-dessus est à l'étude.

a) *For 1/50 microsecond waves:*

- ± 5% of the peak value
- ± 50% of the virtual duration of wavefront
- ± 20% of the time to half value of the wavetail
- ± 5% oscillations near the peak.

b) *For other waves:*

- ± 10% of the peak value
- ± 10% of the virtual duration of wavefront
- ± 10% of the time to half value of the wavetail
- ± 10% of the virtual steepness of wavefront
- ± 5% oscillations near the peak.

Note: Small oscillations on the impulse are tolerated provided their amplitude in the neighbourhood of the peak of the impulse is less than 5% of the peak value. Under these conditions, for the purpose of measurement, the maximum value, and not a mean curve, shall be accepted for determination of the peak value.

53. Power-frequency tests

All power-frequency tests shall be made with an alternating voltage having a frequency between the limits of 48 and 62 Hz(c/s), and an approximately sinusoidal waveshape. The peak voltage across the test piece shall be measured by a peak voltmeter or other suitably calibrated device. The r.m.s. value of the voltage shall be considered to be the measured peak value divided by $\sqrt{2}$.

54. Wet tests

Wet tests shall be made only on arresters designed for use outdoors. Where such a test is specified, the test pieces shall be subjected to artificial rain in the form of a reasonably uniform, finely divided spray falling at an angle of approximately 45 degrees to the vertical.

a) *Practice in Europe*

The rate of precipitation shall be equivalent to 3 mm (0.12 in) per minute, measured by means of a rain gauge with its axis vertical. Individual measurements taken adjacent to the ends and centre of the arrester shall not vary from the mean by more than 25% and the mean rate shall not deviate from the specified value by more than 10%. The resistivity of the water conveyed to the spraying nozzles measured at air temperature shall be between 9 000 and 11 000 ohm-centimetres (3 550-4 350 ohms per inch cube). The test voltage is applied for 60 seconds.

b) *Practice in Canada and the U.S.A.*

The rate of precipitation shall be equivalent to (5.08 mm) 0.2 in per minute, measured by means of a rain gauge with its axis vertical. Individual measurements taken adjacent to the ends and centre of the arrester shall not vary from the mean by more than 25% and the mean rate shall not deviate from the specified value by more than 15%. The resistivity of the water conveyed to the spraying nozzles shall be 17 800 ohm-centimetres (7 000 ohms per inch cube) $\pm 15\%$ at the temperature at which the water strikes the test specimen. The temperature of the spray water when it strikes the test specimen shall not deviate by more than 15 degrees Celsius from room temperature. The test voltage is applied for 10 seconds.

Note: It is recommended that each National Committee use only one of these practices. Consolidation of the two practices into one is under consideration.

B. ESSAIS DE TYPE

55. Nombre d'échantillons essayés

Les essais de type doivent être faits sur trois échantillons de chaque tension nominale pour chaque modèle différent de parafoudre à expulsion et, sauf spécification contraire, être effectués sur le même parafoudre.

56. Essais de tenue à la tension de l'isolation du parafoudre

Les essais à sec et sous pluie doivent être effectués conformément aux articles 51, 53, 54 et 55 sur les enveloppes montées du parafoudre lorsque, sur ces dernières, sont fixées directement à la fois les bornes de ligne et de terre. On enlève la chambre de coupure et les éclateurs série pour réaliser ces essais. La partie soumise à l'essai doit tenir sans amorçage l'application des tensions à fréquence industrielle appropriées spécifiées dans la colonne 2 ou dans les colonnes 3 et 4 du tableau V pour les parafoudres de la classe « poste de distribution » ou du tableau VI pour ceux de la classe « ligne ». Dans les essais sous pluie, la partie soumise à l'essai doit être exposée à la pluie comme il est prescrit à l'article 54. La tension d'essai doit être appliquée entre la borne de ligne et la borne de terre du parafoudre.

Ces essais ne sont pas effectués lorsque les bornes de ligne et de terre ne sont pas fixées directement sur l'élément isolant du parafoudre.

57. Essais de tenue à fréquence industrielle des parafoudres à expulsion complets

Les essais à sec et sous pluie doivent être effectués sur le parafoudre complet, y compris l'éclateur extérieur série préconisé par le constructeur conformément aux articles 51, 53, 54 et 55. Les tensions appliquées au parafoudre doivent avoir une valeur initiale suffisamment basse pour éviter l'amorçage du parafoudre par le régime transitoire consécutif à la mise sous tension, puis être augmentées rapidement jusqu'à la valeur appropriée spécifiée à la colonne 5 du tableau V pour les parafoudres de la classe « poste de distribution », et du tableau VI pour ceux de la classe « ligne ». Le parafoudre doit tenir cette tension pendant une minute. L'amorçage de l'éclateur série extérieur sans amorçage de l'éclateur de la chambre de coupure est admis. Dans les essais sous pluie, l'appareil essayé doit être soumis à la pluie prescrite à l'article 54.

58. Essai d'amorçage au choc en onde 1/50

L'essai doit être effectué sur le parafoudre complet, y compris l'éclateur extérieur série préconisé par le constructeur, conformément aux articles 51, 52 et 55 en utilisant un générateur de choc réglé pour produire, avec le parafoudre en circuit et en l'absence d'amorçage, une onde de tension de forme 1/50 micro-seconde.

Dix chocs positifs et dix chocs négatifs, dont l'amplitude correspond aux valeurs des colonnes 6 ou 7 du tableau V pour les parafoudres de la classe « poste de distribution » ou de la colonne 6 du tableau VI pour les parafoudres de la classe « ligne » doivent être appliqués au parafoudre et provoquer chaque fois l'amorçage des éclateurs série. Si dans une des séries d'essais, et pour un seul choc, les éclateurs n'amorcent pas, on applique une série supplémentaire de dix chocs de la même polarité et, pour ces derniers, les éclateurs doivent amorcer chaque fois.

Pour cet essai, l'intervalle de temps entre l'origine de l'onde et l'instant de l'amorçage n'entre pas en considération.

B. TYPE TESTS (DESIGN TESTS)

55. Number of test specimens

Type tests shall be made on three samples of each voltage rating of each different system of expulsion arrester and, except when specified otherwise, shall be made on the same arresters.

56. Voltage withstand tests of arrester insulation

Dry and wet tests shall be made in accordance with Clauses 51, 53, 54 and 55 on the assembled insulating members of those arresters which have both line and earth terminals attached directly thereto. The arcing chamber and series gap electrodes shall be removed to permit these tests. The test piece shall withstand without flashover the application of the appropriate power-frequency voltages specified in Column 2 or Columns 3 and 4 of Table V for distribution-class or of Table VI for transmission-class arresters. In wet tests, the test piece shall be subjected to precipitation as specified in Clause 54. The test voltage shall be applied between the line and earth terminals of the arrester.

These tests shall be omitted when arresters do not have insulating members with both line and earth terminals attached directly thereto.

57. Power-frequency voltage withstand tests on complete expulsion arresters

Dry and wet tests shall be made on the complete arrester, including any external series gap recommended by the manufacturer, in accordance with Clauses 51, 53, 54 and 55. The voltages applied to the arrester shall be switched on at a value low enough to avoid sparkover of the arrester by the resulting switching surge, and raised rapidly to the appropriate value specified in Column 5 of Table V for distribution-class or of Table VI for transmission-class arresters. The arrester shall withstand this voltage for one minute. Sparkover of the external series gap without sparkover of the gap in the arcing chamber is permissible. In the wet tests, the test piece shall be subjected to the precipitation specified in Clause 54.

58. 1/50 impulse sparkover tests

The test shall be made on the complete arrester, including any external series gap recommended by the manufacturer, in accordance with Clauses 51, 52, and 55 using an impulse generator adjusted with the arrester in the circuit to give a 1/50 microsecond voltage waveshape without sparkover.

Ten positive and ten negative impulses having an amplitude given in Columns 6 or 7 of Table V for distribution-class arresters or Column 6 of Table VI for transmission-class arresters shall be applied to the arrester and the gaps of the arrester shall spark over on every impulse. If in either series of tests the gaps fail to spark over once only, an additional ten impulses of the same polarity shall be applied and the gaps must spark over on all of these impulses.

The time interval between the start of the wave and the instant of sparkover is immaterial in this test.

59. Essai d'amorçage sur le front de l'onde

L'essai doit être effectué sur le parafoudre complet, y compris l'éclateur extérieur série préconisé par le constructeur, conformément aux articles 51, 52 et 55 en utilisant une onde de tension croissant régulièrement jusqu'à la tension d'amorçage et dont la raideur nominale correspond aux valeurs de la colonne 8 du tableau V pour les parafoudres de la classe « poste de distribution » ou de la colonne 7 du tableau VI pour les parafoudres de la classe « ligne ». On doit appliquer au moins dix chocs positifs et dix chocs négatifs au parafoudre et la tension d'amorçage sera déterminée d'après les oscillogrammes tension-temps relevés à chaque essai. Pour aucun des chocs, la tension d'amorçage ne doit dépasser la valeur correspondante de la colonne 9 ou 10 du tableau V pour les parafoudres de la classe « poste de distribution » ou de la colonne 8 du tableau VI pour les parafoudres de la classe « ligne », sans tolérance en plus.

Il est admis de faire cet essai en utilisant des raideurs différentes de celles qui sont spécifiées et en traçant la courbe enveloppe des tensions d'amorçage maximales obtenues. La tension aux points d'intersection de cette enveloppe avec la droite donnant la raideur du front d'onde spécifiée ne doit pas dépasser la valeur correspondante de la colonne 9 ou 10 du tableau V pour les parafoudres de la classe « poste de distribution » ou de la colonne 8 du tableau VI pour les parafoudres de la classe « ligne » sans tolérance en plus.

Note: La méthode suivante est proposée pour obtenir la caractéristique tension-temps d'amorçage au choc. Il est recommandé au constructeur de fournir cette caractéristique obtenue de la façon suivante:

La caractéristique tension-temps d'amorçage au choc doit être tracée pour celle des deux ondes positive ou négative qui donne les tensions d'amorçage les plus élevées. Les données pour tracer cette caractéristique seront obtenues en conservant la forme 1/50 et en augmentant l'amplitude de l'onde appliquée par échelons à partir d'une tension inférieure à la tension d'amorçage du parafoudre et en accroissant la tension jusqu'à obtenir un amorçage après 0,5 microseconde environ. En variante, pour des temps compris entre l'origine de l'onde et l'amorçage inférieurs à une microseconde, les résultats pourront être obtenus en réduisant la durée conventionnelle du front de l'onde de tension. Pour des amorçages en des temps inférieurs à une microseconde, la vitesse de montée de l'onde de tension sera pratiquement constante jusqu'à l'amorçage du parafoudre. On tracera la caractéristique en portant, pour chaque essai, la tension la plus élevée atteinte avant l'amorçage en fonction du temps compris entre l'origine conventionnelle de l'onde et l'amorçage. On doit obtenir suffisamment de points pour tracer une courbe.

60. Essai de vérification de la tension résiduelle

Aucun essai de tension de décharge n'est prescrit pour les parafoudres ne comportant pas de résistances en série.

61. Essais de tenue aux courants de choc

a) Essai aux ondes de courant de grande amplitude

Cet essai doit être effectué conformément aux articles 51, 52 et 55 sur trois appareils n'ayant subi auparavant aucun essai. Quand le parafoudre comporte deux ou plusieurs fractions identiques en série, les essais peuvent être effectués sur une des fractions. Le déclenchement de l'onde de choc peut être provoqué par une décharge à haute tension ou par un fil conducteur fin dont les dimensions ne doivent pas excéder celles fixées par le constructeur.

L'essai comporte deux applications d'un courant de choc de forme spécifiée ci-après, en espaçant suffisamment les deux essais pour laisser l'échantillon se refroidir jusqu'à la température ambiante. Au cours de chaque essai, on enregistrera simultanément la tension et le courant. La valeur crête de l'onde de choc de l'essai aux courants de grande amplitude sera:

- 30 kiloampères avec une onde de forme 4/10 microsecondes pour les parafoudres de la classe « poste de distribution » de pouvoir de décharge 30 kiloampères;

59. Front-of-wave impulse sparkover test

The test shall be made on the complete arrester, including any external series gap recommended by the manufacturer, in accordance with Clauses 51, 52 and 55 using an impulse wavefront which rises at a uniform rate up to sparkover voltage with the virtual steepness given in Column 8 of Table V for distribution-class arresters or Column 7 of Table VI for transmission-class arresters. Not less than ten positive and ten negative impulses shall be applied to the arresters and the sparkover voltage shall be determined from cathode-ray voltage-time oscillograms made during each test. On none of the impulses shall the sparkover voltage exceed the value given in Column 9 or 10 of Table V for distribution-class arresters or Column 8 of Table VI for transmission-class arresters, with no plus tolerance allowable.

It is permissible to make this test using rates-of-rise above and below those specified and plotting the maximum envelope of such volt-time test points. The point of intersection of the maximum envelope with a line representing the specified steepness of wavefront shall not exceed in voltage the value specified in Columns 9 or 10 of Table V for distribution-class arresters or Column 8 of Table VI for transmission-class arresters, with no plus tolerance permissible.

Note: The following is a suggested method for use in obtaining an impulse sparkover volt-time characteristic. It is recommended that such information be supplied by the manufacturer, to be obtained as follows:

The impulse sparkover volt-time characteristics shall be obtained for positive or negative waves, whichever results in the higher sparkover voltage. Data for plotting the characteristics shall be obtained by raising a 1/50 voltage in steps, beginning at a voltage below arrester sparkover and increasing the voltage until sparkover occurs in approximately 0.5 microsecond. Alternatively, for times to sparkover of less than 1.0 microsecond, the data may be obtained by reducing the virtual duration of the wavefront of the test voltage. For sparkover of less than 1.0 microsecond, the test voltage shall have a substantially uniform rate-of-rise to arrester sparkover. In each test the highest voltage attained before sparkover and the time to sparkover, measured from virtual zero, are used for plotting the characteristic. Enough points must be obtained to draw a curve.

60. Residual voltage test

No residual voltage tests are required on arresters without series resistors.

61. Impulse current withstand tests

a) High-current test

This test shall be made in accordance with Clauses 51, 52 and 55 on three samples which have not been subjected previously to any test. When the arrester consists of two or more identical sections in series, the tests may be made on one of the sections. The impulse current may be started by a high-voltage discharge or by a fine wire not exceeding a size specified by the manufacturer.

The test shall consist of two applications of an impulse current wave shape as specified below with sufficient time interval between tests to permit the sample to cool to room temperature. Both voltage and current shall be measured in each test. The peak value of the high-current test impulse shall be:

- 30 kiloamperes for 30 kiloampere discharge capacity distribution-class arresters, using a wave shape of 4/10 microseconds;

- 65 kiloampères avec une onde de forme 4/10 microsecondes pour les parafoudres de la classe « poste de distribution » de pouvoir de décharge 65 kiloampères;
- 65 kiloampères avec une onde de forme 4/10 microsecondes pour les parafoudres de la classe « ligne ».

Après l'essai aux ondes de courant de grande amplitude, le parafoudre sera examiné soigneusement et ne doit présenter aucune trace de détérioration autre qu'une faible érosion de la chambre de coupure. L'appareil essayé doit pouvoir encore supporter un essai de tenue à fréquence industrielle à une tension au moins égale à la valeur appropriée de la colonne 5 du tableau V pour les parafoudres de la classe « poste de distribution » ou du tableau VI pour ceux de la classe « ligne ».

Les appareils soumis à cet essai ne doivent pas être utilisés en service ou pour d'autres essais.

b) Essai aux ondes de longue durée

Il n'est pas prescrit d'essais de tenue aux ondes de courant de longue durée pour les parafoudres à expulsion.

62. Essai de fonctionnement

Cet essai doit être effectué conformément aux articles 51, 52, 53 et 55 et aux modalités suivantes sur trois appareils n'ayant subi auparavant aucun essai.

Le cycle normal d'essais de fonctionnement doit comporter:

a) Pour les parafoudres de la classe « poste de distribution », cinq fonctionnements sur un circuit réglé pour le courant de coupure à fréquence industrielle nominal maximal du parafoudre, suivis de cinq fonctionnements sur un circuit réglé pour produire des courants présumés répartis de façon à peu près uniforme dans la gamme de 1 à 100 ampères efficaces durant les cinq fonctionnements. On ne doit constater aucun défaut dans cette zone. On s'assurera que la gamme des courants choisis couvre bien le courant correspondant à la durée d'arc maximale en traçant la courbe de la durée de l'arc en fonction du courant à partir des valeurs mesurées sur les oscillogrammes. Si ce tracé fait apparaître une possibilité de dépassement de la durée d'arc spécifiée ci-après, des essais supplémentaires doivent être effectués dans la zone du courant critique.

b) Pour les parafoudres de la classe « ligne », le nombre de fonctionnements au courant de coupure à fréquence industrielle nominal maximal doit être:

- trois fonctionnements pour les parafoudres d'intensité nominale 1,5 kiloampères;
- deux fonctionnements pour les parafoudres d'intensité nominale 3,0 kiloampères;
- un fonctionnement pour les parafoudres d'intensité nominale supérieure 3,0 kiloampères.

Après les essais ci-dessus au courant de coupure nominal maximal, le parafoudre doit effectuer deux fonctionnements à son courant de coupure nominal minimal.

Pour les deux classes de parafoudres, il n'est pas nécessaire d'effectuer ces fonctionnements successifs à des intervalles inférieurs à 15 minutes.

Pour les essais aux courants minimaux, la synchronisation de l'onde de choc doit faire apparaître un courant de suite symétrique et, pour les essais aux courants maximaux, la synchronisation doit correspondre au paragraphe v) de cet article.

La durée du courant de suite ne doit pas dépasser 3 périodes pour les essais au courant minimal et une période pour les essais au courant maximal.

- 65.0 kiloamperes for 65 kiloampere discharge capacity distribution-class arresters, using a wave shape of 4/10 microseconds;
- 65.0 kiloamperes for transmission-class arresters, using a wave shape of 4/10 microseconds.

After the high-current test the arrester shall be examined carefully and shall show no signs of deterioration other than minor erosion of the arcing chamber. The test piece shall be capable of withstanding a power-frequency withstand test of not less than the appropriate value in Column 5 of Table V for distribution-class or Table VI for transmission-class arresters.

The samples used for this test shall not be used in service or for other tests.

b) Long-duration test

No long-duration discharge-current withstand tests are required on expulsion-type arresters.

62. Operating-duty test

This test shall be made in accordance with Clauses 51, 52, 53 and 55 and the following procedure on three samples which have not been subjected previously to any test.

The standard operating-duty tests shall consist of:

a) For distribution-class arresters, five operations with the circuit adjusted for the maximum power-frequency current-interrupting rating of the arrester, followed by five operations with the circuit adjusted to give prospective currents distributed substantially uniformly throughout the range from 1 to 100 amperes r.m.s. during the five operations. No failures shall occur in this range. Care should be taken to ensure that the currents chosen include the maximum arc duration in this current range by plotting an arc duration-current curve from oscillogram values. If this indicates a possibility of exceeding the duration specified below, additional tests should be made in the critical current range.

b) For transmission-class arresters, the number of operations at maximum power-frequency current-interrupting rating shall be:

- three operations for arresters rated at 1.5 kiloamperes;
- two operations for arresters rated at 3.0 kiloamperes;
- one operation for arresters rated above 3.0 kiloamperes.

After the above tests at the maximum power-frequency current-interrupting rating, the arrester is required to perform two unit operations at its minimum power-frequency current-interrupting rating.

For both classes of arresters, successive operations need not be performed at intervals of less than 15 minutes.

For tests at minimum currents, the initiating surge shall be timed to provide a symmetrical follow current; those at maximum currents shall be timed in accordance with Paragraph v) of this clause.

The duration of the follow current shall not exceed 3 cycles for minimum current tests and 1 cycle for maximum current tests.

Les conditions du circuit d'essai doivent être:

i) *Tension du circuit d'essai*

La tension du circuit d'essai doit être réglée de telle sorte que la tension de rétablissement à fréquence industrielle soit au moins égale à la tension nominale du parafoudre.

ii) *Courant présumé du circuit d'essai*

Le circuit d'essai doit être réglé de façon à produire des courants présumés égaux aux courants spécifiés ci-dessus, les bornes de ligne et de terre du parafoudre étant mises en court-circuit.

iii) *Facteur de puissance de l'essai de court-circuit (en variante rapport X/R)*

Le facteur de puissance en court-circuit du circuit d'essai doit correspondre aux valeurs appropriées figurant dans les tableaux II, III et IV avec des tolérances de $\begin{smallmatrix} +0 \\ -20 \end{smallmatrix}$ pour cent (voir Section Six). Pour la mesure du facteur de puissance, voir Annexe C.

iv) *Tension transitoire de rétablissement propre au circuit d'essai*

La tension transitoire de rétablissement propre au circuit d'essai ne doit pas être inférieure aux valeurs de la tension transitoire de rétablissement correspondant aux essais au courant minimal et au courant maximal spécifiés:

- au tableau II (Section Six et article 51) pour les parafoudres de la classe « poste de distribution » de pouvoir de décharge 30 kiloampères;
- au tableau III (Section Six et article 50) pour les parafoudres de la classe « poste de distribution » de pouvoir de décharge 65 kiloampères;

Note: Pour les essais au courant minimal, voir la gamme d'essais de 1 à 100 ampères spécifiée dans cet article.

- au tableau IV (1) (Section Six et article 50) pour les parafoudres de la classe « ligne ».

Note: Les valeurs normales de la tension transitoire de rétablissement sont à l'étude et en attendant un accord, les valeurs doivent être indiquées par le constructeur.

La tension transitoire de rétablissement propre au circuit d'essai doit être déterminée à l'aide d'une des méthodes de l'annexe A. Il est préférable d'utiliser une tension transitoire de rétablissement ne comportant qu'une seule fréquence (voir l'annexe B pour l'évaluation de la tension transitoire de rétablissement).

Les tolérances sont:

- sur la vitesse d'accroissement $\begin{smallmatrix} +20 \\ -0 \end{smallmatrix} \%$
- sur le facteur d'amplitude $\begin{smallmatrix} +10 \\ -0 \end{smallmatrix} \%$.

Note: Ces tolérances en plus ne s'appliquent qu'aux conditions d'essai et ne doivent pas être prises en considération pour déterminer les possibilités d'utilisation en service.

v) *Etablissement du courant de suite*

Le courant de suite doit être établi à travers le parafoudre au moyen d'une onde de courant ayant une valeur de crête comprise entre 500 et 1 000 ampères, une durée de mi-amplitude comprise entre 30 et 100 microsecondes, appliquée à 30 degrés électriques ou moins après le passage par zéro de la tension à fréquence industrielle. Cette onde de courant doit être unidirectionnelle et de même polarité que la demi-onde de tension à fréquence industrielle au cours de laquelle elle est appliquée.

The test-circuit procedures shall be:

i) *Test-circuit voltage*

The test-circuit voltage shall be adjusted so that the recovery voltage shall not be less than the rated voltage of the arrester.

ii) *Test-circuit prospective current*

The circuit shall be adjusted to produce prospective currents equal to the currents specified above with the arrester line and earth terminals short-circuited.

iii) *Test short-circuit power-factor (alternatively X/R ratio)*

The short-circuit power-factor of the test circuit shall be the appropriate values given in Tables II, III and IV, with a tolerance of $\begin{smallmatrix} +0 \\ -20 \end{smallmatrix}$ percent (see Section Six). For measurement of power-factor see Appendix C.

iv) *Inherent restriking voltage of the test circuit*

The inherent restriking voltage of the test circuit shall be not less than the appropriate restriking voltage for the minimum and maximum current tests as specified:

- for 30 kiloampere discharge capacity distribution-class arresters in Table II (Section Six and Clause 50);
- for 65 kiloampere discharge capacity distribution-class arresters in Table III (Section Six and Clause 50);

Note: For minimum current tests see the 1 to 100 ampere range of tests specified in this clause.

- for transmission-class arresters in Table IV (1) (Section Six and Clause 50).

Note: The standard values for restriking voltage are under consideration and pending agreement should be stated by the manufacturer.

The inherent restriking voltage of the test circuit shall be determined by one of the methods of Appendix A. It is preferable that a single frequency restriking voltage be used. (For the evaluation of the restriking voltage, see Appendix B).

The tolerance shall be:

- rate-of-rise $\begin{smallmatrix} +20\% \\ -0\% \end{smallmatrix}$
- amplitude factor $\begin{smallmatrix} +10\% \\ -0\% \end{smallmatrix}$.

Note: These positive tolerances are for testing purposes only and must not be used when determining service application.

v) *Follow current initiation*

Follow current shall be established through the arrester by an impulse current with a peak value within the range of 500 to 1 500 amperes and a time-to-half-value of the wave-tail within the range of 30 to 100 microseconds, applied at 30 electrical degrees or less after the zero value of the power-frequency voltage wave. The impulse current shall be unidirectional and of the same polarity as the half-cycle of the power-frequency voltage to which it is applied.

Si l'on n'obtient pas de courant de suite dans les limites indiquées ci-dessus pour l'instant d'application du choc, la valeur de crête du courant de choc et la durée de mi-amplitude de l'onde de courant, l'onde de courant sera appliquée à l'instant de la crête de l'onde de tension à fréquence industrielle, et la durée de mi-valeur de l'onde sera augmentée par paliers de 100 microsecondes à partir de 100 microsecondes, jusqu'à ce que le courant de suite s'établisse, ou que la valeur de 500 microsecondes soit atteinte.

Variante d'essai au choix du constructeur

Si la chambre de coupure du parafoudre est construite de telle sorte que l'arc ne s'éteigne qu'au moment du passage par zéro du courant de suite à fréquence industrielle, un mode d'exécution simplifié de l'essai peut être admis. Les éclateurs sont mis en court-circuit au moyen d'un fil conducteur fin dont les dimensions ne doivent pas excéder celles fixées par le constructeur, puis le courant de suite est établi en fermant un interrupteur.

Le circuit doit être complété de manière à réaliser des conditions d'essai identiques à celles exigées pour l'essai précédent.

vi) Interprétation des essais

Après exécution des essais de fonctionnement, on juge l'état du parafoudre comme suit:

- essais de tenue à fréquence industrielle et d'amorçage au choc en onde 1/50 effectués conformément aux articles 57 et 58 respectivement;
- relevés oscillographiques enregistrés au cours des essais. Ces relevés doivent montrer que le courant de coupure nominal maximal a été interrompu à chaque essai en moins d'une période et le courant de coupure nominal minimal en moins de trois périodes;
- examen de l'état physique du parafoudre qui ne doit pas présenter d'autre détérioration qu'une légère érosion de la chambre de coupure.

vii) Relevés oscillographiques

On doit effectuer des relevés oscillographiques complets de la tension à fréquence industrielle appliquée et du courant de suite au cours de chaque essai et enregistrer le courant présumé. Le rapport doit comprendre les valeurs:

- du courant présumé
- du facteur de puissance du circuit d'essai
- de la tension appliquée
- de la tension de rétablissement à fréquence industrielle
- de la tension transitoire de rétablissement propre au circuit d'essai.

Les enregistrements oscillographiques effectués avec le parafoudre en circuit peuvent comporter des valeurs différentes du courant présumé, car la présence du parafoudre peut modifier les caractéristiques du circuit d'essai.

Les valeurs nominales du courant de coupure doivent correspondre au courant présumé.

C. ESSAIS DE CONTRÔLE DE FABRICATION ET ESSAIS DE RÉCEPTION

63. Essais individuels

Le constructeur doit effectuer comme essai individuel au moins l'essai de tenue à sec à fréquence industrielle du parafoudre à expulsion complet (article 57).

If follow current is not obtained within the above ranges of initiating time, surge current peak, and time-to-half-value of surge, the application of the surge shall be timed on the peak of the power-frequency voltage wave and the time-to-half-value of the wave-tail shall be increased above 100 microseconds in steps of 100 microseconds until fault current is established, or to a maximum of 500 microseconds.

Alternative test at discretion of manufacturer

If the arcing chamber of the arrester is constructed in such a way that the arc extinguishes only at the zero point of the power-frequency follow current, a simplified testing procedure shall be permitted. After the spark-gaps have been bridged by a thin conductive wire not to exceed the size as determined by the manufacturer, the follow current is established by closing a switch.

The circuit shall be closed to provide test conditions the same as are required in the preceding test.

vi) *Evaluation of test*

After the completion of the operating-duty tests the condition of the arrester shall be judged by the following:

- power-frequency withstand and 1/50 impulse sparkover tests made in accordance with Clauses 57 and 58 respectively;
- oscillographic records taken during the tests. These records shall demonstrate that the maximum rated interrupting current was interrupted within one cycle in each case and the minimum rated interrupting current within three cycles;
- physical condition of the arrester shall show no deterioration other than minor erosion of the arcing chamber.

vii) *Records*

Complete oscillographic records of applied power-frequency voltage and follow current shall be made of each test and of the prospective current. The report shall include the values of:

- prospective current
- power-factor of the test circuit
- applied voltage
- recovery voltage
- inherent restriking voltage of the test circuit

The oscillographic records made with the arrester in the circuit may not show values equal to, or the same as, the prospective current because the arrester may modify the test-circuit characteristics. The current-interrupting ratings shall be based on the prospective current.

C. MANUFACTURER'S CONTROL TESTS AND ACCEPTANCE TESTS

63. **Routine tests**

The minimum requirement for routine tests to be made by the manufacturer shall be the dry power-frequency voltage withstand test on the complete expulsion-type arrester (Clause 57).

64. Essais de contrôle du constructeur

Le constructeur est responsable du choix et de l'exécution de tous essais individuels ou de prélèvement jugés nécessaires sur chaque parafoudre ou éléments et matériaux pour s'assurer que les appareils réalisés sont en tous points conformes aux caractéristiques établies par les essais de type.

65. Essais de réception normaux

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

- a) essai de tenue à sec à fréquence industrielle du parafoudre complet (article 57);
- b) essai d'amorçage au choc en onde 1/50 (article 58).

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

64. Manufacturer's control tests

It shall be the responsibility of the manufacturer to determine and to carry out whatever routine or sampling tests are necessary on each arrester or on representative samples, parts and materials, to ensure that the product uniformly meets the characteristics established by the type tests.

65. Standard acceptance tests

When the purchaser specifies acceptance tests in the purchase agreement, the following tests shall be made on the nearest higher whole number to the cube root of the number of arresters to be supplied:

- a) dry power-frequency voltage withstand test on the complete arrester (Clause 57);
- b) 1/50 impulse sparkover test (Clause 58).

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

Withdrawing
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60093-2:1962

SECTION SIX — TABLEAUX

TABLEAU II

Valeurs normales du domaine nominal des courants de coupure à fréquence industrielle, des tensions transitoires de rétablissement nominales et des facteurs de puissance du court-circuit des parafoudres à expulsion

Parafoudres de la classe « poste de distribution » de pouvoir de décharge 30 kiloampères (1)

Tension nominale du para-foudre kV (eff.)	Domaine nominal des courants de coupure des para-foudres kA (eff.) (régime symétrique)		Tension transitoire de rétablissement nominale						Facteur de puissance du court-circuit (3) (4)	
			Vitesse d'accroissement V/ μ s		Facteur d'amplitude		Fréquence propre pour une tension transitoire de rétablissement à fréquence unique (3) Hz			
	min.	max.	courant min.	courant max.	courant min.	courant max.	courant min.	courant max.	courant min.	courant max.
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
3	Le para-foudre doit couper tous les courants jusqu'aux valeurs maximales de la colonne 3	1,5 3	2-10 ⁽²⁾	40	1,3	1,3	180-910 ⁽²⁾	3 640	0,7	0,2
4,5		1,5 3	2-10 ⁽²⁾	40	1,3	1,3	120-610 ⁽²⁾	2 430	0,7	0,2
6		1,5 3	3-15 ⁽²⁾	60	1,3	1,3	135-680 ⁽²⁾	2 730	0,7	0,2
9		1,5 3	3-15 ⁽²⁾	60	1,3	1,3	90-450 ⁽²⁾	1 800	0,7	0,2
12		1,5 3	4-20 ⁽²⁾	80	1,3	1,3	90-450 ⁽²⁾	1 830	0,7	0,2
15		1,5 3	5-25 ⁽²⁾	100	1,3	1,3	90-455 ⁽²⁾	1 820	0,7	0,2
18		1,5 3	5-25 ⁽²⁾	100	1,3	1,3	75-380 ⁽²⁾	1 820	0,7	0,2
20		1,5 3,0 6,0	6-30 ⁽²⁾	120	1,3	1,3	80-410 ⁽²⁾	1 640	0,7	0,2
25		1,5 3,0 6,0	6-30 ⁽²⁾	120	1,3	1,3	65-325 ⁽²⁾	1 300	0,7	0,2
30		1,5 3,0 6,0	7-35 ⁽²⁾	140	1,3	1,3	65-320 ⁽²⁾	1 280	0,7	0,2
37		1,5 3,0 6,0	7-35 ⁽²⁾	140	1,3	1,3	50-260 ⁽²⁾	1 036	0,7	0,2
40		1,5 3,0 6,0	7-35 ⁽²⁾	140	1,3	1,3	50-235 ⁽²⁾	956	0,7	0,2

Pour les notes voir page 46.

SECTION SIX — TABLES

TABLE II

Standard power-frequency current-interrupting ratings, rated restriking voltages and short-circuit power-factors of expulsion-type arresters

30 kiloampere discharge capacity distribution-class arresters (1)

Arrester voltage rating kV (r.m.s.)	Arrester current-interrupting ratings kA (sym. r.m.s.)		Rated restriking voltage						Short-circuit power-factor (3) (4)	
			Rate-of-rise V/ μ s		Amplitude factor		Natural frequency for single-frequency restriking voltage (3) Hz(c/s)			
	Min.	Max.	At min. current	At max. current	At min. current	At max. current	At min. current	At max. current	At min. current	At max. current
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
3	Must clear all currents up to maximum values in column 3	1.5 3	2-10 ⁽²⁾	40	1.3	1.3	180-910 ⁽²⁾	3 640	0.7	0.2
4.5		1.5 3	2-10 ⁽²⁾	40	1.3	1.3	120-610 ⁽²⁾	2 430	0.7	0.2
6		1.5 3	3-15 ⁽²⁾	60	1.3	1.3	135-680 ⁽²⁾	2 730	0.7	0.2
9		1.5 3	3-15 ⁽²⁾	60	1.3	1.3	90-450 ⁽²⁾	1 800	0.7	0.2
12		1.5 3	4-20 ⁽²⁾	80	1.3	1.3	90-450 ⁽²⁾	1 830	0.7	0.2
15		1.5 3	5-25 ⁽²⁾	100	1.3	1.3	90-455 ⁽²⁾	1 820	0.7	0.2
18		1.5 3	5-25 ⁽²⁾	100	1.3	1.3	75-380 ⁽²⁾	1 820	0.7	0.2
20		1.5 3.0 6.0	6-30 ⁽²⁾	120	1.3	1.3	80-410 ⁽²⁾	1 640	0.7	0.2
25		1.5 3.0 6.0	6-30 ⁽²⁾	120	1.3	1.3	65-325 ⁽²⁾	1 300	0.7	0.2
30		1.5 3.0 6.0	7-35 ⁽²⁾	140	1.3	1.3	65-320 ⁽²⁾	1 280	0.7	0.2
37		1.5 3.0 6.0	7-35 ⁽²⁾	140	1.3	1.3	50-260 ⁽²⁾	1 035	0.7	0.2
40		1.5 3.0 6.0	7-35 ⁽²⁾	140	1.3	1.3	50-235 ⁽²⁾	955	0.7	0.2

For notes see page 47.

Notes: (1) Ces valeurs correspondent à celles utilisées dans quelques pays européens.

(2) Les valeurs les plus faibles correspondent aux essais à 1 ampère et les valeurs les plus élevées aux essais à 100 ampères. Interpoler pour les valeurs comprises entre les valeurs minimales et maximales du tableau.

(3) Le passage de la fréquence propre à la vitesse d'accroissement et au facteur d'amplitude a été effectué en utilisant les formules suivantes:

$$s = 2af \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} E_m \text{ -- où } E_m = \text{tension entre phases}$$

$$s = 2af\sqrt{2} E_m \text{ -- où } E_m = \text{tension nominale du parafoudre ou tension entre phase et neutre}$$

f = fréquence propre

s = V.A.T.R.

a = facteur d'amplitude

E_m = tension

(4) Voir à l'annexe D, figure 9, la relation entre le facteur de puissance du court-circuit, le rapport X/R et le facteur de multiplication. Voir à l'annexe C la mesure du facteur de puissance du court-circuit (rapport X/R).

Withdrawing
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60099-2:1962

Notes: (1) These values are based on those used in some European countries.

(2) The low values are for 1 A tests and the high values are for 100 A tests. Interpolate for values between the minimum and maximum values in the table.

(3) Use the following formula for conversion from natural frequency to rate-of-rise and amplitude.

$$s = 2af \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} E_m \text{ -- where } E_m = \text{phase-to-phase voltage}$$

$$s = 2af\sqrt{2} E_m \text{ -- where } E_m = \text{arrester rated voltage or phase-to-neutral voltage}$$

f = natural frequency

s = r. r. r. v.

a = amplitude factor

E_m = voltage

(4) See Appendix D, Figure 9, for relation between short-circuit power-factor, X/R ratio and multiplying factor. See Appendix C for measurement of short-circuit power-factor (X/R ratio).

Withdawn
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60099-2:1962

TABLEAU III

Valeurs normales du domaine nominal des courants de coupure à fréquence industrielle, des tensions transitoires de rétablissement nominales et des facteurs de puissance du court-circuit des parafoudres à expulsion

Parafoudres de la classe « poste de distribution » de pouvoir de décharge 65 kiloampères (1)

Tension nominale du parafoudre kV (eff.)	Domaine nominal des courants de coupure des parafoudres, kA (eff.) régime symétrique		Tension transitoire de rétablissement nominale						Facteur de puissance (4) du court-circuit		
			Vitesse d'accroissement V/ μ s		Facteur d'amplitude		Fréquence propre pour une tension transitoire de rétablissement à fréquence unique (3) Hz		courant minimal	courant maximal	
	min.	max.	courant min.	courant max.	courant min.	courant max.	courant min.	courant max.		à l'extérieur sur la ligne (5)	à la sous-station
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
3	Le parafoudre doit pouvoir couper tous les courants jusqu'aux valeurs maximales de la colonne 3	2,0							0,7	0,2	0,16
		5,0							0,7	0,2	0,13
		10,0							0,7	0,2	0,10
6 et 9		2,0	Valeurs normales à l'étude, voir note (2)						0,7	0,2	0,14
		5,0							0,7	0,2	0,10
		10,0							0,7	0,2	0,08
12 et 15		2,0							0,7	0,13	0,11
		5,0							0,7	0,13	0,08
		10,0							0,7	0,13	0,065
18		1,2							0,7	0,10	0,09
		2,0							0,7	0,10	0,08
		5,0							0,7	0,10	0,07
		10,0							0,7	0,10	0,06

Notes: (1) Ces valeurs sont basées sur celles en usage au Canada et aux Etats-Unis.

(2) En attendant que l'accord soit réalisé, ces valeurs doivent être indiquées par le constructeur.

(3) Le passage de la fréquence propre à la vitesse d'accroissement a été effectué en utilisant les formules suivantes:

$$s = 2af \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} E_m \text{ — où } E_m = \text{tension entre phases}$$

$$s = 2af \sqrt{2} E_m \text{ — où } E_m = \text{tension nominale du parafoudre ou tension entre phase et neutre}$$

f = fréquence propre

s = V.A.T.R.

a = facteur d'amplitude

E_m = tension

(4) Voir à l'annexe D, figure 9, la relation entre le facteur de puissance du court-circuit, le rapport X/R et le facteur de multiplication.

Voir à l'annexe C la mesure du facteur de puissance du court-circuit (Rapport X/R)

(5) Pour installation en ligne à une distance du poste au moins égale à:

1/4 mile (402 mètres) pour des tensions nominales de 3 à 9 kV

1/2 mile (805 mètres) pour des tensions nominales égales ou supérieures à 12 kV.

TABLE III

Standard power-frequency current-interrupting ratings, rated restriking voltages and short-circuit power-factors of expulsion-type arresters

65 kiloampere discharge capacity distribution-class arresters (1)

Arrester voltage rating kV (r.m.s.)	Arrester current interrupting-rating kA (sym. r.m.s.)		Rated restriking voltage						Short-circuit power-factor (4)		
			Rate-of-rise V/ μ s		Amplitude factor Hz(c/s)		Natural frequency, for single-frequency restriking voltage (3) Hz (c/s)		At min. current	At max. current	
	Min.	Max.	At min. current	At max. current	At min. current	At max. current	At min. current	At max. current		For arresters out on line (5)	For arresters at sub-station
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
3	Must clear all currents up to maximum values in column 3	2.0							0.7	0.2	0.16
		5.0							0.7	0.2	0.13
		10.0							0.7	0.2	0.10
6 and 9		2.0	Standard values under consideration, see footnote (2)						0.7	0.2	0.14
		5.0							0.7	0.2	0.10
		10.0							0.7	0.2	0.08
12 and 15		2.0							0.7	0.13	0.11
		5.0							0.7	0.13	0.08
		10.0							0.7	0.13	0.065
18		1.2							0.7	0.10	0.09
		2.0							0.7	0.10	0.08
		5.0							0.7	0.10	0.07
		10.0							0.7	0.10	0.06

Notes: (1) These values are based on those used in Canada and the U.S.A.

(2) Pending agreement, values should be stated by the manufacturer.

(3) Use the following formula for conversion from natural frequency to rate-of-rise and amplitude.

$$s = 2af \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} E_m \text{ — where } E_m = \text{phase-to-phase voltage.}$$

$$s = 2af \sqrt{2} E_m \text{ — where } E_m = \text{arrester rated voltage or phase-to-neutral-voltage.}$$

f = natural frequency

s = r. r. r. v.

a = amplitude factor

E_m = voltage

(4) See Appendix D, Figure 9 for relation between power-factor, X/R ratio and multiplying factor. See Appendix C for measurement of short-circuit power-factor (X/R ratio).

(5) For application on lines at a distance from substation of at least
1/4 mile (402 metres) for voltage ratings 3 to 9 kV and
1/2 mile (805 metres) for voltage ratings 12 kV and higher.

TABEAU IV

Valeurs normales du domaine nominal des courants de coupure à fréquence industrielle, des tensions transitoires de rétablissement nominales et des facteurs de puissance du court-circuit des parafoudres à expulsion

Parafoudres de la classe « ligne »

Tension nominale du parafoudre kV (eff.)	Domaine nominal des courants de coupure des parafoudres kA (eff.) régime symétrique		Tension transitoire de rétablissement nominale						Facteur de puissance du court-circuit (3)	
			Vitesse d'accroissement V/ μ s		Facteur d'amplitude		Fréquence propre pour une tension transitoire de rétablissement à fréquence unique (2) Hz			
	min.	max.	courant min.	courant max.	courant min.	courant max.	courant min.	courant max.	courant min.	courant max.
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
9, 12, 15 18, 20 et 25	0,3	1,5							0,7	0,1
	0,4	3,0							0,7	0,1
	0,6	6,0							0,7	0,1
	1,0	10,0							0,7	0,1
30 et 37	0,3	1,5	Valeurs normales à l'étude, voir note (1)						0,7	0,1
	0,4	3,0							0,7	0,1
	0,9	6,0							0,7	0,1
	1,0	10,0							0,7	0,1
40 et 50	0,3	1,5							0,7	0,1
	0,4	3,0							0,7	0,1
	0,9	5,0							0,7	0,1
	1,0	10,0							0,7	0,1
60, 73, 90 97, 123 et 145	0,3	1,5							0,7	0,1
	0,4	3,0							0,7	0,1
	0,9	5,0							0,7	0,1
	1,0	10,0							0,7	0,1

Notes: (1) En attendant que l'accord soit réalisé, ces valeurs doivent être indiquées par le constructeur.

(2) Le passage de la fréquence propre à la vitesse d'accroissement a été effectué en utilisant les formules suivantes:

$$s = 2\pi f \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} E_m \text{ — où } E_m = \text{tension entre phases}$$

$$s = 2\pi f \sqrt{2} E_m \text{ — où } E_m = \text{tension nominale de parafoudre ou tension entre phase et neutre}$$

f = fréquence propre

s = V.A.T.R.

a = facteur d'amplitude

E_m = tension

(3) Voir à l'annexe D, figure 9, la relation entre le facteur de puissance du court-circuit, le rapport X/R et le facteur de multiplication.

Voir à l'annexe C la mesure du facteur de puissance du court-circuit.

TABLE IV

Standard power-frequency current-interrupting ratings, rated restriking voltages and short-circuit power-factors for expulsion-type arresters

Transmission-class arresters

Arrester voltage rating kV (r.m.s.)	Arrester current-interrupting ratings kA (sym. r.m.s.)		Rated restriking voltage						Short-circuit power-factor (3)	
			Rate-of-rise V/ μ s		Amplitude factor		Natural frequency, for single-frequency restriking voltage (2) Hz(c/s)			
	Min.	Max.	At min. current	At max. current	At min. current	At max. current	At min. current	At max. current	At min. current	At max. current
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
9, 12, 15 18, 20 and 25	0.3 0.4 0.6 1.0	1.5 3.0 6.0 10.0							0.7 0.7 0.7 0.7	0.1 0.1 0.1 0.1
30 and 37	0.3 0.4 0.9 1.0	1.5 3.0 6.0 10.0	Standard values under consideration, see footnote (1)						0.7 0.7 0.7 0.7	0.1 0.1 0.1 0.1
40 and 50	0.3 0.4 0.9 1.0	1.5 3.0 5.0 10.0							0.7 0.7 0.7 0.7	0.1 0.1 0.1 0.1
60, 73, 90 97, 123 and 145	0.3 0.4 0.9 1.0	1.5 3.0 5.0 10.0							0.7 0.7 0.7 0.7	0.1 0.1 0.1 0.1

Notes: (1) Pending agreement values should be stated by the manufacturer.

(2) Use the following formula for conversion from natural frequency to rate-of-rise and amplitude.

$$s = 2af \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} E_m \text{ — where } E_m = \text{phase-to-phase voltage.}$$

$$s = 2af \sqrt{2} E_m \text{ — where } E_m = \text{arrester rated voltage or phase-to-neutral voltage.}$$

f = natural frequency

a = amplitude factor

s = r. r. v.

E_m = voltage

(3) See Appendix D, Figure 9 for relation between power-factor, X/R and multiplying factor.

See Appendix C for measurement of short-circuit power-factor (X/R ratio).

TABLEAU V

*Prescriptions d'essai et caractéristiques de fonctionnement
des parafoudres à expulsion de la classe « poste de distribution » de pouvoir de décharge de 30 et
65 kiloampères*

Tension nominale du para-foudre kV (eff.)	Tension de tenue à fréquence industrielle de l'isolation du parafoudre kV (eff.) (voir article 56)			Tension de tenue à fréquence industrielle du para-foudre complet kV (eff.) (v. art. 57)	Tension maximale d'amorçage à l'onde de choc 1/50 kV (crête) (voir article 58)		Raideur virtuelle pour les essais d'amorçage sur front d'onde kV/ μ s (v. art. 42)	Tension maximale d'amorçage sur front d'onde kV (crête) (voir article 59)	
	Série I (1)	Série II (1)			Série I (1)	Série II (1)		Série I (1)	Série II (1)
	1 min à sec ou sous pluie	1 min à sec	10 s sous pluie						
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
3	20	15	13	4,5	35	40	25	44	44
4,5	23	21	20	7	40	—	37	50	—
6	25	21	20	9	45	50	50	57	60
9	30	27	24	14	55	55	75	75	80
12	35	35	30	18	65	65	100	90	96
15	40	35	30	23	70	70	125	100	110
18	46	42	36	27	80	90	150	120	137
20	49	—	—	30	90	—	170	130	—
25	58	—	—	38	110	—	210	150	—
30	66	—	—	45	130	—	250	175	—
37	79	—	—	56	150	—	310	200	—
40	84	—	—	60	162	—	335	236	—

Note: (1) Les parafoudres de la Série I sont basés sur les essais diélectriques en vigueur en Europe; les parafoudres de la Série II sont basés sur les essais diélectriques en vigueur aux Etats-Unis et au Canada. Il est recommandé à chaque Comité national de n'adopter qu'une seule de ces deux séries.

TABLE V

*Test requirements and performance characteristics
for 30 and 65 kiloamperes low discharge capacity distribution-class expulsion-type arresters*

Arrester voltage rating kV (r.m.s.)	Power-frequency vol- tage withstand tests of arrester insulation kV (r.m.s.) (see Clause 56)			Power- frequency withstand- voltage test on complete arrester kV (r.m.s.) (see Cl. 57)	Maximum 1/50 im- pulse sparkover test voltage kV (peak) (see Clause 58)		Virtual steepness of front- of-wave sparkover tests kV/ μ s (see Cl. 42)	Maximum front-of- wave impulse spark- over test voltage kV (peak) (see Clause 59)	
	Series I (1)	Series II (1)			Series I	Series II		Series I	Series II
	1 min wet or dry	1 min dry	10 s wet						
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
3	20	15	13	4.5	35	40	25	44	44
4.5	23	21	20	7	40	—	37	50	—
6	25	21	20	9	45	50	50	57	60
9	30	27	24	14	55	55	75	75	80
12	35	35	30	18	65	65	100	90	96
15	40	35	30	23	70	70	125	100	110
18	46	42	36	27	80	90	150	120	137
20	49	—	—	30	90	—	170	130	—
25	58	—	—	38	110	—	210	150	—
30	66	—	—	45	130	—	250	175	—
37	78	—	—	56	150	—	310	200	—
40	84	—	—	60	162	—	335	236	—

Note: (1) Series I arresters are based on dielectric test practices in Europe and Series II arresters are based on dielectric test practices in Canada and the U.S.A. It is recommended that each National Committee use only one of these series.

TABLEAU VI

*Prescriptions d'essai et caractéristiques de fonctionnement
des parafoudres à expulsion de la classe « ligne »*

Tension nominale du parafoudre kV (eff.)	Tension de tenue à fréquence industrielle de l'isolation du parafoudre kV (eff.) (voir article 56)			Tension de tenue à fréquence industrielle du parafoudre complet kV (eff.) (v. art. 57)	Tension maximale d'amorçage à l'onde de choc 1/50 kV (crête) (voir art. 58) Série I (1) et Série II (1)	Raideur virtuelle pour les essais d'amorçage sur front d'onde kV/ μ s (voir art. 42)	Tension maximale d'amorçage sur front d'onde kV (crête) (voir art. 59) Série I (1) et Série II (1)
	Série I (1)	Série II (1)					
	1 min à sec ou sous pluie	1 min à sec	10 s sous pluie				
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
9	30	21	20	14	127	75	155
12	35	27	24	18	150	100	165
15	40	35	30	23	178	125	218
18	46	42	36	27	210	150	275
20	49	48	43	30	250	170	322
25	58	54	49	38	280	210	380
30	66	65	57	45	328	250	415
37	78	78	70	56	410	310	575
40	83	96	83	60	485	335	640
50	100	107	97	75	550	415	750
60	117	128	113	90	620	500	850
73	140	159	140	110	740	610	1 035
90	176	191	167	135	875	750	1 220
97	180	200	180	145	1 020	810	1 450
123	230	252	230	185	1 360	1 020	1 850

Note: (1) Les parafoudres de la Série I sont basés sur les essais diélectriques en vigueur en Europe; les parafoudres de la Série II sont basés sur les essais diélectriques en vigueur aux Etats-Unis et au Canada. Il est recommandé à chaque Comité national de n'adopter qu'une seule de ces deux séries.

TABLE VI

*Test requirements and performance characteristics
for transmission-class expulsion-type arresters*

Arrester voltage rating kV (r.m.s.)	Power-frequency voltage withstand tests of arrester insulation kV (r.m.s.) (see Clause 56)			Power- frequency withstand- voltage test on complete arrester kV (r.m.s.) (see Clause 57)	Maximum 1/50 impulse sparkover test voltage kV (peak) (see Clause 58) Series I (1) and Series II (1)	Virtual steepness of front-of-wave sparkover tests kV/ μ s (see Clause 42)	Maximum front-of-wave impulse sparkover test voltage kV (peak) (see Clause 59) Series I (1) and Series II (1)
	Series I (1)	Series II (1)					
	1 min wet or dry	1 min dry	10 s wet				
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
9	30	21	20	14	127	75	155
12	35	27	24	18	150	100	165
15	40	35	30	23	178	125	218
18	46	42	36	27	210	150	275
20	49	48	43	30	250	170	322
25	58	54	49	38	280	210	380
30	66	65	57	45	328	250	415
37	78	78	70	56	410	310	575
40	83	96	83	60	485	335	640
50	100	107	97	75	550	415	750
60	117	128	113	90	620	500	850
73	140	159	140	110	740	610	1 035
90	167	191	167	135	875	750	1 220
97	180	200	180	145	1 020	810	1 450
123	230	252	230	185	1 360	1 020	1 850

Note: (1) Series I arresters are based on dielectric test practices in Europe and Series II arresters are based on dielectric test practices in Canada and the U.S.A. It is recommended that each National Committee use only one of these series.

ANNEXE A

MÉTHODES DE DÉTERMINATION DES FORMES DE L'ONDE DE LA TENSION TRANSITOIRE DE RÉTABLISSEMENT PROPRE A UN CIRCUIT

Préambule

La forme d'onde de la tension transitoire de rétablissement consécutive à la coupure du courant dépend de nombreux facteurs qui sont, d'une part, ceux dépendant des caractéristiques du réseau (inductance, capacitance, résistance ohmique, impédance d'onde, effets couronne et de saturation) et, d'autre part, ceux provenant des caractéristiques du disjoncteur ou du parafoudre (tension d'arc, arrachement du courant avant le passage naturel au zéro, conductibilité post-arc et résistance en parallèle, dans le cas d'un disjoncteur équipé de résistances intercalaires).

Il y a des méthodes recommandées pour déterminer avec la plus grande précision qu'il soit possible d'atteindre en pratique la forme d'onde de la tension transitoire de rétablissement qui ne serait due qu'aux seules caractéristiques du réseau. Dans ce qui suit il sera fait référence à cette tension transitoire de rétablissement sous la dénomination de « tension transitoire de rétablissement propre à un circuit ».

Il existe des méthodes utilisables aussi bien pour l'étude des tensions transitoires de rétablissement dans les stations d'essais de court-circuit que pour celles de ces tensions dans les réseaux de transport d'énergie. Les méthodes recommandées grâce auxquelles il est possible de déterminer la forme d'onde de la tension transitoire de rétablissement propre au circuit sont énumérées et décrites brièvement. Les chiffres entre parenthèses se rapportent à la bibliographie donnée à la page 72. Les diverses méthodes sont également rassemblées dans le tableau VII en vue de leur comparaison, en mettant l'accent sur leurs limitations spécifiques.

I. Résumé général des méthodes recommandées

Cinq méthodes de base sont recommandées pour la détermination des formes de l'onde de la tension transitoire de rétablissement propre à un circuit. Les méthodes 1, 2 et 3 conviennent pour les stations d'essais de court-circuit. Les méthodes 1, 4 et 5 sont recommandées pour les réseaux. Les méthodes 2 et 3 peuvent également être appliquées aux éléments hors tension de réseaux de transport d'énergie.

- Méthode N° 1 — Coupure directe d'un courant de court-circuit
- 2 — Coupure à vide des transformateurs d'essai
- 3 — Injection d'une impulsion de courant
- 4 — Modèles de réseaux (tables à calcul)
- 5 — Calcul à partir des paramètres du réseau.

a) Méthode N° 1 — Coupure directe d'un courant de court-circuit

Cette méthode consiste à couper un courant de court-circuit réel dans le réseau en étude et à enregistrer la tension transitoire de rétablissement résultante au moyen d'oscillographes. Les erreurs produites par l'influence de l'arc dans le disjoncteur peuvent être compensées dans les résultats tirés des oscillogrammes, comme cela sera décrit ultérieurement.

APPENDIX A

METHODS OF DETERMINING INHERENT RESTRIKING VOLTAGE WAVEFORMS

Foreword

The waveform of the restriking voltage resulting from the breaking of current depends on many factors: on the one hand, those dependent on the system (network) characteristics (inductance, capacitance, ohmic resistance, surge-impedance, corona and saturation effects); and on the other, those arising from the circuit-breaker or lightning arrester characteristics (arc voltage, interruption prior to natural current zero, post-arc conductivity and, if present, shunt resistance, of circuit-breaker switching resistors).

Methods are recommended for determining with the highest degree of accuracy attainable in practice the waveform of the restriking voltage as produced solely by the test circuit or system characteristics. This restriking voltage will be referred to as the "inherent restriking voltage" in the pages which follow.

Methods are available for the examination both of short-circuit testing plants and power systems. The recommended methods by which the inherent restriking voltage waveform may be determined are enumerated and briefly described. The numerals in brackets refer to the bibliography given on page 72. The various methods are also listed in Table VII for comparison purposes, with due regard to their specific limitations.

I. General summary of the recommended methods

Five basic methods of determining the inherent restriking-voltage waveforms are recommended. Methods 1, 2 and 3 are recommended for short-circuit testing plants and Methods 1, 4 and 5 for power systems. Methods 2 and 3 can also be used for de-energized portions of power systems.

- Method No. 1 — Direct short-circuit switching
2 — No-load switching of testing transformers
3 — Current impulse injection
4 — Model networks (systems)
5 — Calculation from system parameters.

a) Method No. 1 — Direct short-circuit switching

This method involves the breaking of an actual short-circuit current established by means of a solid metallic short-circuit in the system under investigation and the recording of the resultant restriking voltage on oscillograms. The errors caused by the influence of the circuit-breaker arc may be compensated for in the results obtained from the oscillograms, as described later.

Les erreurs dues à la conductibilité post-arc et qui peuvent se présenter dans les cas où il y a des fréquences d'oscillation très élevées, particulièrement avec les disjoncteurs ayant une action extinctrice de l'arc douce, ne peuvent pas être compensées pour le moment.

Il est recommandé d'autre part, d'employer cette méthode par beau temps.

b) Méthode N° 2 — Coupure à vide des transformateurs d'essai

Cette méthode consiste à couper les transformateurs d'essai à circuit secondaire ouvert et à enregistrer à l'oscillographe l'allure de la tension transitoire de rétablissement aux bornes de la coupure du circuit secondaire.

c) Méthode N° 3 — Injection d'une impulsion de courant (1) (2) (12) (15)

Le dispositif d'injection de l'impulsion du courant est connecté au circuit mis hors tension au point d'installation de l'appareil en essai après avoir débranché ce dernier. Ce dispositif injecte dans le réseau un courant ayant la même forme d'onde que la partie initiale du courant de court-circuit. La tension aux bornes des contacts enregistrée sur l'oscillogramme qui résulte de l'injection d'un tel courant et qui ne tient pas compte des erreurs dues à l'effet couronne et des imperfections du dispositif d'injection, présente en principe la même forme que la tension transitoire de rétablissement du réseau (principe de Thévenin-Heaviside).

d) Méthode N° 4 — Modèles de réseaux (3) (4) (5) (6) (7)

Avec cette méthode, les constantes réparties des lignes doivent être représentées avec une précision suffisante par des constantes concentrées équivalentes. L'influence de l'effet couronne ne peut pas être facilement reproduite par cette méthode.

On devra prendre soin que les modèles de réseaux soient de vraies imitations des réseaux réels en ce qui concerne les résistances et les réactances, à des fréquences au moins égales à celle de la tension transitoire de rétablissement en étude.

e) Méthode N° 5 — Calcul à partir des paramètres du réseau (8) (9) (10) (11) (12) (18)

Dans des cas relativement simples, la tension transitoire de rétablissement peut être déterminée par le calcul en partant des paramètres du réseau. Dans les réseaux plus compliqués, les approximations supplémentaires nécessaires conduisent à des résultats moins précis. Une méthode de détermination de la tension transitoire de rétablissement des réseaux a été exposée dans la littérature.

II. Étude détaillée des méthodes recommandées

Les cinq méthodes sont décrites plus en détail dans cette section.

a) Méthode N° 1 — Coupure directe d'un courant de court-circuit

La méthode directe, c'est-à-dire la coupure des courants réels de court-circuit est également applicable aux stations d'essais et aux réseaux qui peuvent être court-circuités en service. Cependant, dans la méthode directe, les influences du disjoncteur (tension d'arc, arrachement du courant, résistance d'insertion et conductibilité post-arc) peuvent altérer la forme de la tension transitoire de rétablissement. Les figures 1 a) à 1 d) pages 68 et 69, illustrent les principaux effets de ces influences.

Ne pas employer un disjoncteur équipé de résistances d'insertion.

The errors produced by post-arc conductivity, which may be present in cases of very high oscillation frequencies, particularly with circuit-breakers having a smooth arc-extinguishing action, cannot be compensated for reliably at the present time.

It is recommended that this method should be used under good weather conditions.

b) Method No. 2 — No-load switching of testing transformers (13)

This method consists of connecting-in the testing transformers on open-circuit and recording, by oscillograms, the behaviour of the transient voltage at the open gap of the secondary circuit.

c) Method No. 3 — Current impulse injection (1) (2) (12) (15)

The current-impulse injector is connected to the dead system at the location of the test specimen with the test specimen removed. It injects into the system a current having the same waveform as that of the initial part of the short-circuit current. The voltage (recorded on oscillograms) across the location of the test specimen resulting from the injection of such a current, ignoring errors due to corona and to imperfections of the injector apparatus, represents, in principle, the form of the restriking voltage of the system (Thévenin-Heaviside principle).

d) Method No. 4 — Model networks (3) (4) (5) (6) (7)

With this method, the distributed line constants have to be represented with sufficient accuracy by equivalent lumped constants. The influence of corona cannot easily be reproduced by this method.

Care should be taken that the models are true imitations, as regards resistances and reactances, of the full-scale network at frequencies up to at least that of the restriking voltage under consideration.

e) Method No. 5 — Calculation from system parameters (8) (9) (10) (11) (12) (18)

In relatively uncomplicated cases, the restriking voltage can be evaluated by calculations employing the parameters of the system. In the more complicated systems, the further approximations required lead to less accurate results. A method of estimating the restriking voltages of systems has been developed in the literature.

II. Detailed consideration of the recommended methods

The five methods are described in greater detail in this section.

a) Method No. 1 — Direct short-circuit switching

The direct method, i.e. the breaking of genuine short-circuits, is applicable both to test plants, and power systems which can be short-circuited while in service. However in the direct method the circuit-breaker characteristics such as arc voltage, premature current zero, and post-arc conductivity can affect the form of the restriking voltage. Figures 1 *a)* to 1 *d)* pages 68 and 69 illustrate the main effects of these influences.

Do not use a circuit-breaker with switching resistances.

Un disjoncteur avec une tension d'arc et une conductivité post-arc aussi faibles que possible est très satisfaisant pour la méthode directe étant donné que ses caractéristiques sont plus proches des caractéristiques du disjoncteur idéal (figure 1 a). Le facteur d'amplitude peut être supérieur à ce qu'il serait dans le cas d'un disjoncteur idéal (figure 1 a), en raison des faits suivants:

1. Du fait de la tension d'arc, la tension aux bornes des contacts des disjoncteurs peut ne pas être nulle à l'instant de l'extinction de l'arc et de ce fait, la tension transitoire de rétablissement du disjoncteur ne part pas de zéro mais de la valeur de la tension d'arc à l'instant d'extinction. La tension transitoire de rétablissement du disjoncteur commence donc au-dessous de la ligne de tension nulle pour traverser cette dernière (figure 1 b).

L'influence de la tension d'arc peut être compensée par la prise en considération des points suivants (figure 2, page 70):

i) La fréquence naturelle f relevée sur l'oscillogramme est la même que la fréquence naturelle propre au réseau.

ii) Le facteur d'amplitude propre $\frac{A+B}{B}$ calculé d'après l'oscillogramme est $\frac{A_1+B+C}{B+C}$.

iii) Le taux d'accroissement propre de la tension transitoire de rétablissement est donc, pour le réseau particulier étudié:

$$V.A.T.R. = 2E_m f \cdot \frac{A_1+B+C}{B+C}$$

On devra être très circonspect en compensant l'effet de la tension d'arc dans certains cas où la valeur de la tension d'arc est très grande, comme c'est le cas pour les disjoncteurs à soufflage magnétique. La compensation de la tension d'arc n'est pas suffisamment précise lorsque la tension d'arc, immédiatement avant l'extinction, est supérieure à 25% de la tension instantanée aux bornes des contacts du disjoncteur à l'instant de l'extinction de l'arc.

2. Un arrachement de courant qui peut être causé par l'instabilité de l'arc (figure 1 c).

L'arrachement du courant n'a pratiquement aucun effet sur la précision de la compensation.

3. La conductivité post-arc, c'est-à-dire la conductivité existant entre les contacts du disjoncteur pendant l'accroissement de la tension, peut influencer sur la forme d'onde de celle-ci en réduisant sa vitesse d'accroissement et son amplitude (figure 1 d).

La compensation de l'effet de la conductibilité post-arc ne peut être faite de façon sûre, comme cela a été dit à la section 1 a.

Dans le cas d'une tension transitoire de rétablissement à plusieurs fréquences, la compensation peut être erronée lorsqu'il y a une instabilité de l'arc ou une montée rapide de la tension immédiatement avant le passage à zéro du courant, parce que ces conditions augmentent l'amplitude de la composante à la fréquence la plus élevée proportionnellement plus que celle de la composante à la fréquence la plus basse. De ce fait, la compensation proposée corrige trop la crête de la fréquence la plus basse et ne corrige pas assez la crête de la fréquence la plus élevée.

Comme cela est bien connu, la tension de rétablissement d'un générateur après un court-circuit n'atteint sa valeur normale de crête qu'après une ou plusieurs demi-périodes de la fréquence d'alimentation, étant même quelque peu plus petite à la première amplitude. Ce phénomène ne se présente pas dans l'emploi des méthodes Nos 2, 3, 4 et 5 bien qu'il soit présent à des degrés variés pendant un court-circuit sur un réseau de transport d'énergie. Dans les quatre méthodes mentionnées ci-dessus, l'évaluation de la tension transitoire de rétablissement est faite sur la base d'une tension de rétablissement correspondant à 100% de la tension nominale.

A circuit-breaker with the smallest possible arc voltage and post-arc conductivity is most suitable for use with the direct method since its characteristics more closely approach those of the ideal breaker (Figure 1 a). The amplitude factor may be larger than in the case of an ideal circuit-breaker (Figure 1 a), because of the following factors:

1. Due to the voltage of the arc, the voltage across the circuit-breaker contacts may not be zero at the instant of current extinction, and hence the circuit-breaker restriking voltage does not rise from zero but from the value of the arc voltage at the instant of extinction. The restriking voltage thus commences below the voltage zero axis and then crosses it (Figure 1 b).

The influence of the arc voltage may be compensated for by consideration of the following points (Figure 2, page 70):

- i) The natural frequency f as derived from the oscillogram is the same as the inherent natural frequency of the system.
- ii) The inherent amplitude factor $\frac{A+B}{B}$ calculated from the oscillogram is: $\frac{A_1+B+C}{B+C}$
- iii) The inherent rate-of-rise of restriking voltage for the particular system is thus:

$$\text{r.r.v.} = 2E_m f \cdot \frac{A_1+B+C}{B+C}$$

Caution must be exercised in compensating for the effect of arc voltage in certain cases where the value of arc voltage is very high, e.g. magnetic air circuit-breakers. The compensation for arc voltage is not sufficiently accurate when the arc voltage immediately before extinction is greater than 25% of the momentary value of the recovery voltage at the instant of arc extinction.

2. A markedly premature current zero (current chopping) which may occur due to instability of the arc (Figure 1 c).

Current chopping has practically no effect on the accuracy of the compensation.

3. Post-arc conductivity (i.e. the conductivity existing between the circuit-breaker contacts during the rise of voltage) could influence the waveform of the latter by reducing its rate-of-rise and amplitude (Figure 1 d).

Compensation for the effect of post-arc conductivity cannot be made reliably, as mentioned in Section I a.

In the case of a multi-frequency restriking voltage, the compensation may be in error when there is arc instability or a rapid rise of voltage just before current zero, because these conditions increase the amplitude of the higher frequency component more, in proportion, than that of the lower frequency component. Hence, the proposed compensation over-corrects the lower frequency peak and under-corrects the higher frequency peak.

It is known that the recovery voltage after a short-circuit of a generator does not attain its normal peak value until after one to several half-cycles of the supply frequency, being somewhat smaller at the first amplitude. This phenomenon is not present when using Methods Nos. 2, 3, 4 and 5, although it will be present in varying degrees during a short-circuit on a power system. In the four methods mentioned above, the restriking voltage evaluation is made on the basis of a recovery voltage corresponding to 100% rated voltage.

En vue de traiter sur les mêmes bases le cas des circuits d'essai et celui des réseaux de transport d'énergie, il est habituel d'évaluer la crête de la tension transitoire de rétablissement dans la méthode N° 1 à partir de la tension de rétablissement mesurée¹⁾ et le facteur d'amplitude déterminé à partir de la forme de l'onde de la tension transitoire de rétablissement enregistrée, bien que la crête de la tension transitoire de rétablissement réelle soit légèrement plus petite à l'instant de l'interruption.

b) Méthode N° 2 — Coupure à vide des réseaux d'essais comprenant des transformateurs

Cette méthode est applicable aux stations d'essais de court-circuit dans le cas des circuits d'essais alimentés par des transformateurs, pourvu que la capacitance du côté de l'alimentation soit négligeable comparée à celle des circuits d'essai, compte tenu du rapport de transformation. Cette méthode est également applicable à un élément hors tension d'un réseau de transport d'énergie alimenté par un ou plusieurs transformateur(s) lorsqu'il est possible d'isoler cet élément.

Les transformateurs d'essai sont mis sous tension en couplage monophasé à la tension normale à fréquence de service, le circuit d'essai étant ouvert à un endroit convenable selon qu'il s'agit d'étudier un circuit d'essai triphasé ou monophasé. La tension transitoire résultante qui est superposée à la tension à fréquence de service a la même forme que la tension transitoire de rétablissement qui serait obtenue lors d'un essai de coupure de court-circuit sur le même réseau.

Si les transformateurs sont mis sous tension sur la partie inclinée du front de l'onde de tension à fréquence de service, une correction de la variation de la tension à fréquence de service est nécessaire pour obtenir la vraie forme de la tension transitoire de rétablissement.

En vue d'éviter cette correction et aussi pour obtenir l'amplitude maximale de la tension transitoire de rétablissement, il est nécessaire d'enclencher le transformateur à la crête de l'onde de la tension à fréquence de service ou près de celle-ci.

Dans le cas de tensions transitoires à plusieurs fréquences, les rapports entre les amplitudes des différentes composantes seront différents lorsque les transformateurs sont enclenchés à vide de ceux apparaissant à la suite de l'ouverture d'un court-circuit.

c) Méthode N° 3 — Injection d'une impulsion de courant

Cette méthode peut être employée dans le cas de stations d'essais alimentées par un ou plusieurs générateurs ou transformateurs ou dans le cas d'autres circuits d'essais qui peuvent être mis hors tension. Cette méthode peut être appliquée à un élément d'un réseau de transport d'énergie lorsqu'il est possible d'isoler et de mettre hors tension cet élément.

Il n'est pas tenu compte dans la méthode d'injection d'une impulsion de courant du fait que, par suite de l'emploi de tensions très faibles de l'ordre de 100 volts, les effets d'influence telles que l'effet couronne et la saturation ne se manifestent pas: sur des réseaux de tensions plus élevées, ces influences peuvent apparaître avec la tension transitoire de rétablissement réelle.

Il est important que le dispositif d'injection d'une impulsion de courant applique une onde de courant sinusoïdale sur l'élément de réseau en étude. S'il est appliqué une onde de courant croissant linéairement au lieu d'une onde de courant sinusoïdale, des erreurs supplémentaires peuvent être produites aux fréquences propres inférieures à 500 Hz, puisque l'oscillation transitoire de la tension transitoire de rétablissement dure normalement, à ces fréquences, jusqu'à ce que la différence entre l'onde de courant

¹⁾ Voir l'article 60 de la Publication 56 de la C.E.I., Chapitre I.

In order to treat testing and power systems on the same basis, it is usual to evaluate the restriking-voltage peak in Method No. 1 from the measured recovery voltage¹⁾ and the amplitude factor from the recorded restriking-voltage waveform, although the actual restriking-voltage peak will be slightly smaller at interruption.

b) Method No. 2 — No-load switching of testing systems including transformers

This method is applicable to short-circuit testing plants which are fed by transformers, provided that the capacitance on the supply side is negligible compared with the capacitance of the testing circuits, taking into account the transformation ratio. This method is also applicable to an unenergized portion of a power system supplied by a transformer(s) when it is convenient to isolate that portion.

The testing transformers are energized in single-phase connection at normal power-frequency voltage, with the testing circuit open-circuited at an appropriate position, depending on whether a three-phase or a single-phase testing circuit is under investigation. The resulting transient voltage, which is superimposed on the power-frequency voltage, is of the same form as the restriking voltage that would be obtained on a short-circuit breaking test with the same system.

If the transformers are energized on the sloping part of the power-frequency voltage wavefront, a correction for the changing power-frequency voltage is required to obtain the true restriking voltage waveform.

In order to avoid making this correction and also to obtain the maximum amplitude of the restriking voltage, it is necessary to switch-in the transformers at or near the peak of the power-frequency voltage wave.

In the case of multi-frequency transients, the ratios of the amplitudes of the various components will be different when the transformers are switched on no-load from those occurring as a result of short-circuit interruption.

c) Method No. 3 — Current-impulse injection

This method is applicable to test plants supplied from local generator(s) or transformer(s) or to other test circuits that can be de-energized. The method may be applied to a portion of a power system when it is convenient to isolate and make dead that portion.

No allowance is made in the current-impulse injection method for the fact that, due to the use of very small voltages in the region of 100 V, the effects of such influences as corona and saturation are not present: on the higher voltage systems these might show themselves on the full-scale restriking voltage.

It is very important that the current-impulse injector impresses a current with a sinusoidal waveform upon that part of the system to be investigated. If a linearly-rising instead of a sinusoidal current waveform is impressed, additional errors will be caused at natural frequencies below 500 Hz(c/s), since the transient restriking voltage oscillation normally lasts, at these frequencies, until the difference between the linearly-rising and the sinusoidal current waveforms is considerable. In the case of multi-frequency voltages, this

¹⁾ See Clause 60, I.E.C. Publication 56, Chapter 1.

croissant linéairement et celle sinusoïdale soit déjà importante. Dans le cas de tension à plusieurs fréquences, il en résulte une surestimation des fréquences basses par rapport aux fréquences élevées. Comme les fréquences inférieures à 500 Hz sont tout à fait normales pour la tension transitoire de rétablissement des réseaux à haute et à très haute tension, il est très important que le dispositif d'injection produise une onde de courant de forme sinusoïdale.

La figure 3, page 71, montre, par exemple, la détermination incorrecte de la tension transitoire de rétablissement qui peut résulter d'une onde de courant croissant linéairement, sur un réseau supposé avoir une tension de rétablissement de 100 kV en valeur de crête:

Forme d'onde du dispositif d'injection du courant	Fréquence propre f Hz	Facteur d'amplitude	Taux d'accroissement de la tension transitoire de rétablissement $V/\mu s$
Croissant linéairement	100	1,8	38,3
	200	1,8	75,0
Sinusoïdale $\omega = 314$	100	1,43	36,7
	200	1,67	75,0

En fonction de la tension à circuit ouvert apparaissant au parafoudre à expulsion après l'interruption du courant, les erreurs susmentionnées peuvent être corrigées en retranchant la quantité $1 - \cos \omega t$ multipliée par la valeur de crête de la tension de rétablissement des oscillations transitoires enregistrées lorsqu'un courant croissant linéairement est injecté dans le réseau.

d) Méthode N° 4 — Modèles de réseaux (tables à calculs)

Dans cette méthode, un modèle de réseau est composé d'éléments qui doivent être une représentation exacte des éléments du réseau réel de transport d'énergie. Il est nécessaire d'imiter les éléments du réseau réel qui ont des constantes réparties par des éléments de modèle ayant des constantes concentrées. Aussi est-il essentiel que les caractéristiques d'impédance (particulièrement de réactance et de résistance) des éléments du modèle réduits soient, d'aussi près que possible, une véritable imitation de ces caractéristiques des éléments du réseau réel à des fréquences atteignant au moins celle de la tension transitoire de rétablissement à l'étude.

Cette méthode a l'avantage, bien qu'elle exige un travail important de préparation pour l'étude, de ne pas nécessiter de mettre hors service le réseau réel de transport d'énergie. Cette méthode est valable pour l'étude de projets de nouveaux réseaux de transport d'énergie et des extensions des réseaux existants.

e) Méthode N° 5 — Calcul à partir des paramètres du réseau

Les fréquences propres et les amplitudes de la tension transitoire de rétablissement peuvent être calculées à partir des valeurs de l'inductance et de la capacitance existant dans le réseau étudié. Mais la méthode ne tient pas compte des facteurs d'amortissement qui existent dans un réseau de transport d'énergie ou dans un circuit d'une station d'essais. De ce fait, les valeurs calculées des crêtes et des taux d'accroissement de la tension transitoire de rétablissement sont supérieures à celles existant en pratique.

Dans les réseaux plus compliqués, les approximations supplémentaires nécessaires mènent à des résultats moins précis.

III. Comparaison des méthodes

Les méthodes sont classées dans le tableau VII avec leurs caractéristiques et leurs avantages et désavantages.

TABEAU VII

Principales méthodes de détermination des formes d'onde de la tension transitoire de rétablissement propre à un circuit

Méthode		Influences du réseau dont il est tenu compte par la méthode						Critique des méthodes	
N°	Nom	Cas dans lesquels la méthode convient	Inductance et capacité	Résistance ohmique	Charge du réseau (pas applicable aux stations d'essais)	Effet couronne (tensions élevées)	Une correction est-elle nécessaire pour tenir compte de l'influence du disjoncteur ?	Avantages	Désavantages
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
1	Coupure directe d'un courant de court-circuit	Pour les stations d'essais de court-circuit et pour les réseaux de transport d'énergie	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui, à moins qu'on ne dispose d'un disjoncteur idéal	Essais effectués dans les conditions réelles	Pour déterminer l'allure réelle de la tension transitoire de rétablissement propre au réseau, il devra être tenu compte de toutes les influences éventuelles du disjoncteur. Des précautions doivent être prises si la tension d'arc est trop importante. La prise en considération de la conductibilité post-arc est impossible à l'heure actuelle. Pour les déterminations sur réseaux de transport d'énergie, le réseau doit être court-circuité pendant le service.
2	Coupure à vide des transformateurs d'essai	Pour les stations d'essais de court-circuit et pour les éléments de réseau alimenté par un ou plusieurs transformateur(s)	Oui	Oui	Non	Oui, si l'on emploie la pleine tension nominale	Non	Nécessite moins de calculs	Nécessite un vrai circuit d'essai de court-circuit alimenté par un ou plusieurs transformateur(s). Les corrections sont nécessaires pour tenir compte du front de l'onde de tension à fréquence de service à moins que les transformateurs ne soient enclenchés à la crête de l'onde de tension ou près de cette crête. Applicable seulement aux circuits à fréquence simple. Pour les déterminations sur réseaux de transport d'énergie, le réseau doit être isolé pour l'essai.
3	Injection d'une impulsion de courant	Pour les stations d'essais de court-circuit et pour les éléments de réseau	Oui	Oui	Non	Non	Non	Supprime les calculs	L'injection d'un courant non sinusoïdal peut amener des erreurs pendant les oscillations à basse fréquence, mais il y a possibilité d'en tenir compte. Pour les déterminations sur le réseau de transport d'énergie, la mise hors tension du réseau est nécessaire.
4	Modèle de réseaux	Pour réseaux de transport d'énergie	Simplifiées et concentrées	Simplifiées et concentrées	Possible	Possible jusqu'à un certain point	Non	Ne nécessite pas la disposition du réseau réel	La reproduction du réseau nécessite la connaissance des constantes réparties des lignes et leur conversion en valeurs concentrées simplifiées équivalentes. La négligence de l'effet couronne donne des valeurs trop grandes. On devra prendre garde à ce que les modèles soient de véritables imitations, en ce qui concerne les résistances et les réactances du réseau réel à toutes les fréquences au moins jusqu'à celle de la tension transitoire de rétablissement à l'étude.
5	Calcul à partir des paramètres du réseau	Pour les réseaux de transport d'énergie	Simplifiées et concentrées	En général non	Non	Non	Non	Ne nécessite aucune mesure et n'exige pas la disposition du réseau réel	Valeurs trop fortes parce qu'il n'est pas tenu compte de l'amortissement. Calculs compliqués.

results in lower frequencies being over-estimated relative to the higher frequencies. Since frequencies below 500 Hz (c/s) are quite normal for the restriking voltage in high and very high voltage systems, it is very important that the injector should generate a current of sinusoidal waveform.

Figure 3 on page 71 shows for example the incorrect determination of the restriking voltage that may arise as a result of a linearly rising current on a system assumed to have a recovery voltage peak value of 100 kV.

Waveform of the injector current	Natural frequency f Hz (c/s)	Amplitude factor	Rate-of-rise of restriking voltage V/ μ s
Rising linearly	100	1.8	38.3
	200	1.8	75.0
Sinusoidal $\omega = 314$	100	1.43	36.7
	200	1.67	75.0

In terms of the open-circuit voltage appearing across the expulsion-type arrester after current interruption, the above-mentioned error may be corrected by subtracting the quantity $1 - \cos \omega t$ multiplied by the peak value of the recovery voltage from the transient recorded when a linearly rising current is injected into the system.

d) Method No. 4 — Model networks

In this method a model network is assembled from units which must be a true representation of the parts of the full-scale power system. It is necessary to imitate parts of the full-scale system which have distributed constants by model units having lumped constants. Also, it is essential that the impedance (especially reactance and resistance) characteristics of the model units shall be as nearly as possible a true imitation of those characteristics of the full-scale parts at frequencies up to at least that of the restriking voltage under consideration.

This method, although it requires much work in preparation for the investigation, has the advantage that it does not require the full-scale power system to be taken out of service. The method is valuable for investigating proposed new power systems and extensions of existing systems.

e) Method No. 5 — Calculation from system parameters

The natural frequencies and amplitudes of the restriking voltage can be calculated from the values of inductance and capacitance present in the system under consideration, but the method does not take into account the damping effects which occur in a power system or a testing plant circuit. Hence, the calculated values of peak and rate-of-rise of restriking voltage are greater than those occurring in practice.

In the more complicated systems, the further approximations required lead to less accurate results.

III. Comparison of the methods

The methods are listed in Table VII, with their characteristics and advantages and disadvantages.

TABLE VII

Main methods of determining inherent restriking voltage waveforms

Method		Influences of the system taken into consideration by the method					Is correction necessary for influences of the circuit-breaker?	Criticism of the methods	
No.	Name	Suitability	Inductance and capacitance	Ohmic resistance	System load (not applicable to testing plants)	Corona on higher voltage systems		Advantages	Disadvantages
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
1	Direct short-circuit switching	For short-circuit testing plants and for power systems	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes, unless an ideal circuit-breaker is used	Carried out under genuine conditions	To determine true behaviour of the inherent restriking voltage, allowance must be made for any circuit-breaker influences, if present. Precautions required if arc voltage is excessive. Allowance for post-arc conductivity not practicable. For determinations on power systems: short-circuiting the system while in service is required.
2	No-load switching of testing transformers	For short-circuit testing plants and portions of power systems, supplied by a transformer(s)	Yes	Yes	No	Yes, if full rated voltage is used	No	Fewer calculations required	Requires actual short-circuit test circuit supplied by a transformer(s). Corrections necessary for power-frequency voltage waveform unless the transformers are energized at or near the peak of the voltage wave. Applicable only for single-frequency circuits. For determinations on power systems: the system must be isolated for the test.
3	Current-impulse injection	For short-circuit testing plants and portions of power systems	Yes	Yes	No	No	No	Cuts down calculations	Non-sinusoidal injection current may introduce errors during long period oscillations but allowances can be made. For determination on power system: requires the system to be dead.
4	Model networks	For power systems	Simplified and concentrated	Simplified and concentrated	Possible	Possible to a certain extent	No	Does not require the actual system	Copying of the system requires knowledge of the line distributed constants and their conversion to simplified equivalent lumped values. Neglect of the corona effects produces over-estimated values. Care should be taken that the models are true imitations, as regards resistances and reactances of the full-scale system at frequencies up to at least that of the restriking voltage under consideration.
5	Calculation from system parameters	For power systems	Simplified and concentrated	Mostly no	No	No	No	Uses no measurements and does not require the actual system	Over-estimated values due to neglect of damping. Intricate calculations.

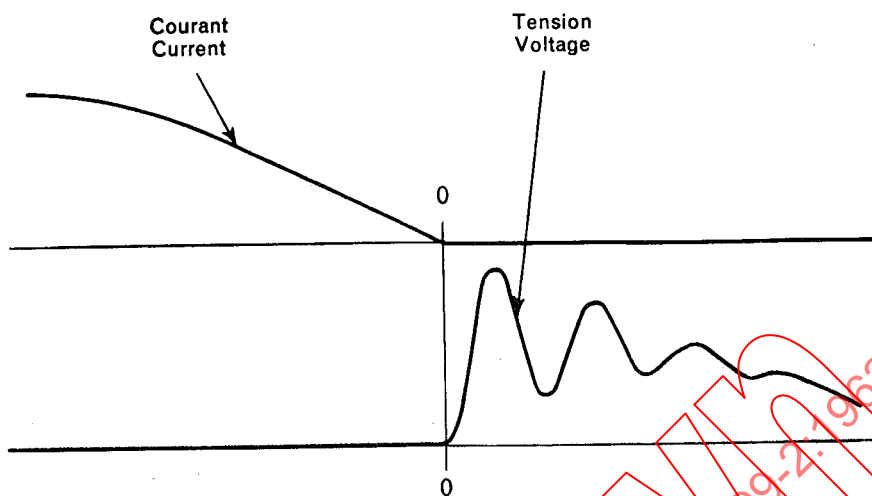


FIG. 1a: Coupure idéale
Ideal breaking

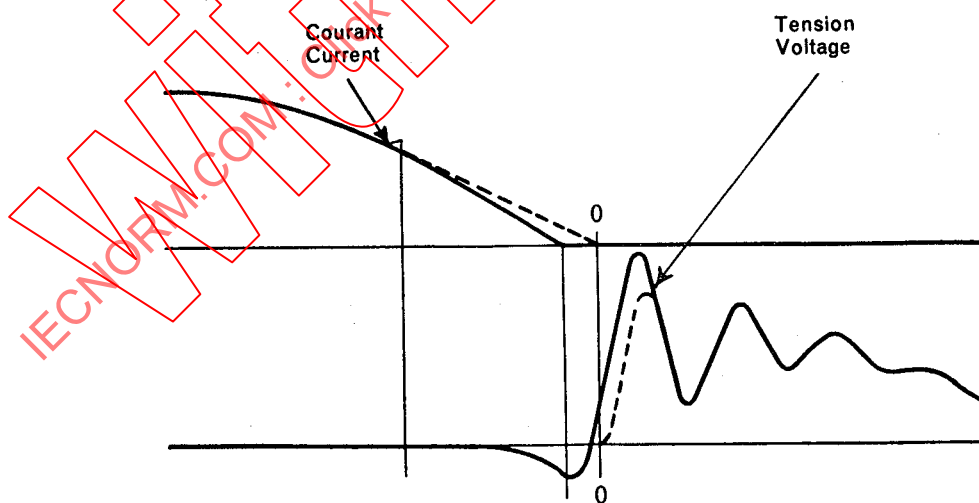


FIG. 1b: Coupure avec seulement la présence d'une tension d'arc
Breaking with only arc voltage present

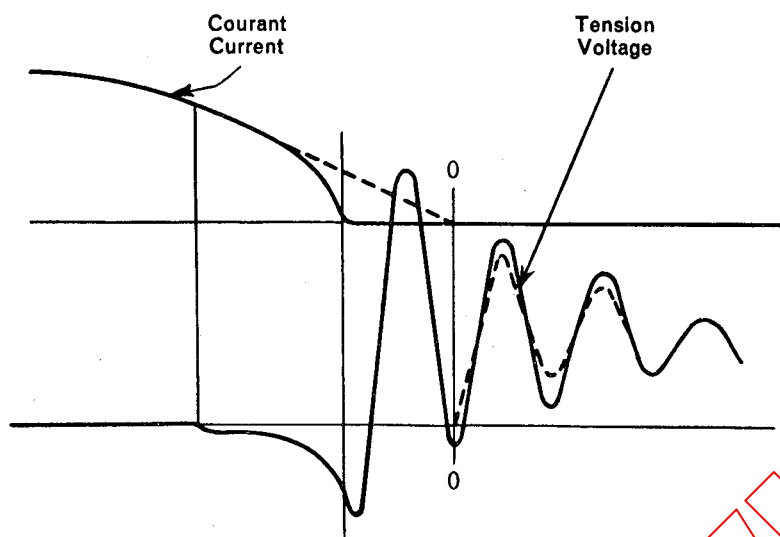


FIG. 1c: Coupure avec arrachement prononcé du courant
Breaking with pronounced premature current zero

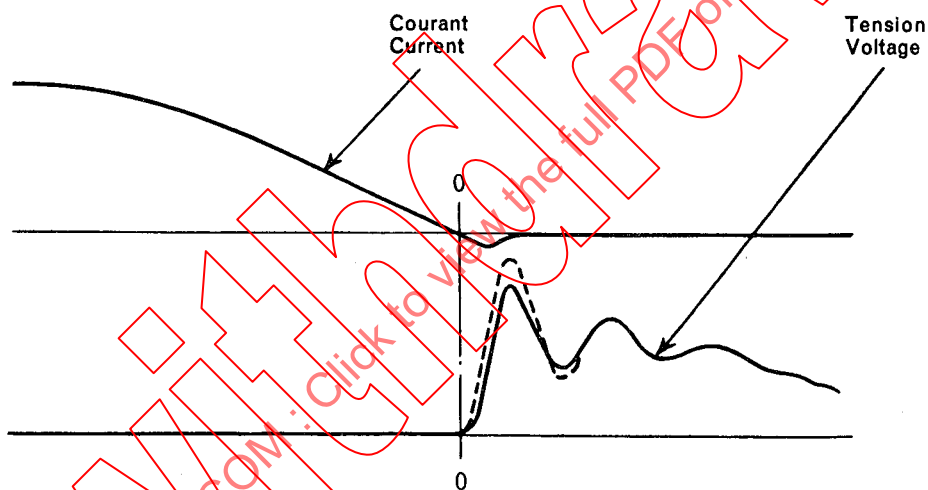


FIG. 1d: Coupure avec conductibilité post-arc
Breaking with post-arc conductivity

FIG. 1

Influence de l'arc, de l'arrachement du courant et de la conductibilité post-arc sur la tension transitoire de rétablissement.

Les lignes en tirets représentent dans les figures 1b, c et d l'allure de la courbe dans le cas de la coupure idéale. (Ces figures ne concernent pas les disjoncteurs équipés de résistances d'insertion.)

Influence of the arc, of premature current zero, and of post-arc conductivity on the restriking voltage.

The chain-dotted lines in Figures 1b, c and d represent the behaviour following ideal breaking. (These figures do not apply to circuit-breakers with switching resistances.)

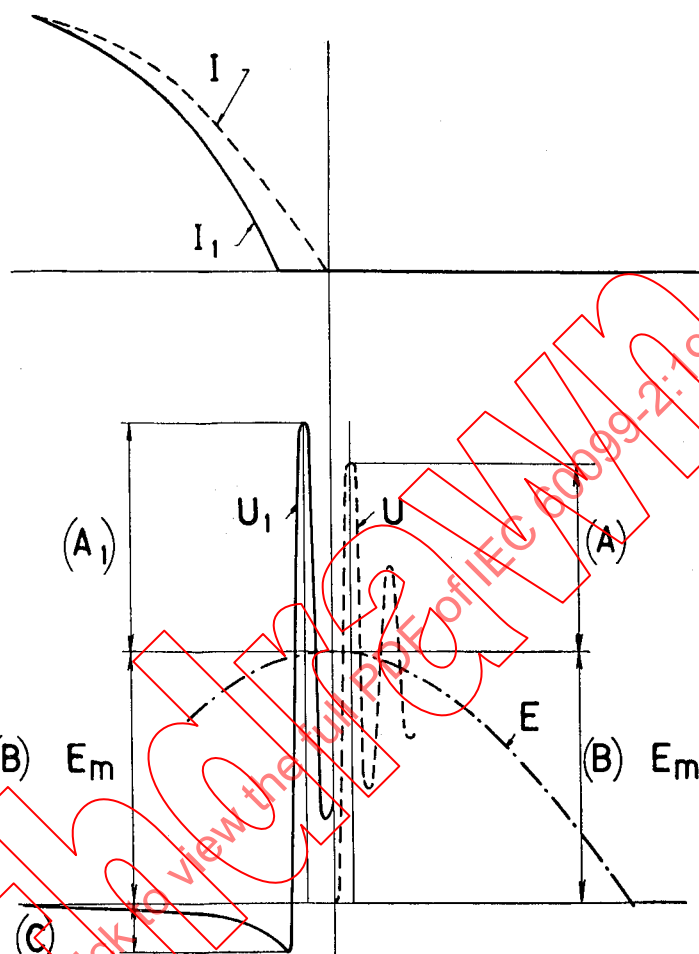


FIG. 2 — Relation entre les valeurs du courant et de la tension transitoire de rétablissement apparaissant lors de l'essai et celles propres au réseau.

Relationship between the values of current and restriking voltage occurring in test and those inherent to the system

I_1, U_1 = Courant et tension apparaissant lors de l'essai
Current and voltage arising in test, respectively

I, U = Courant et tension propres au réseau
Inherent current and voltage, respectively, of system

E = Tension de rétablissement
Recovery voltage

$$\frac{A + B}{B} = \frac{A_1 + B + C}{B + C}$$

Facteur d'amplitude propre au circuit
Inherent amplitude factor

f = Fréquence propre
Natural frequency

$$2E_m f = \frac{A_1 + B + C}{B + C}$$

V.A.T.R. propre au circuit
Inherent rate-of-rise of restriking voltage (r.r.v.)

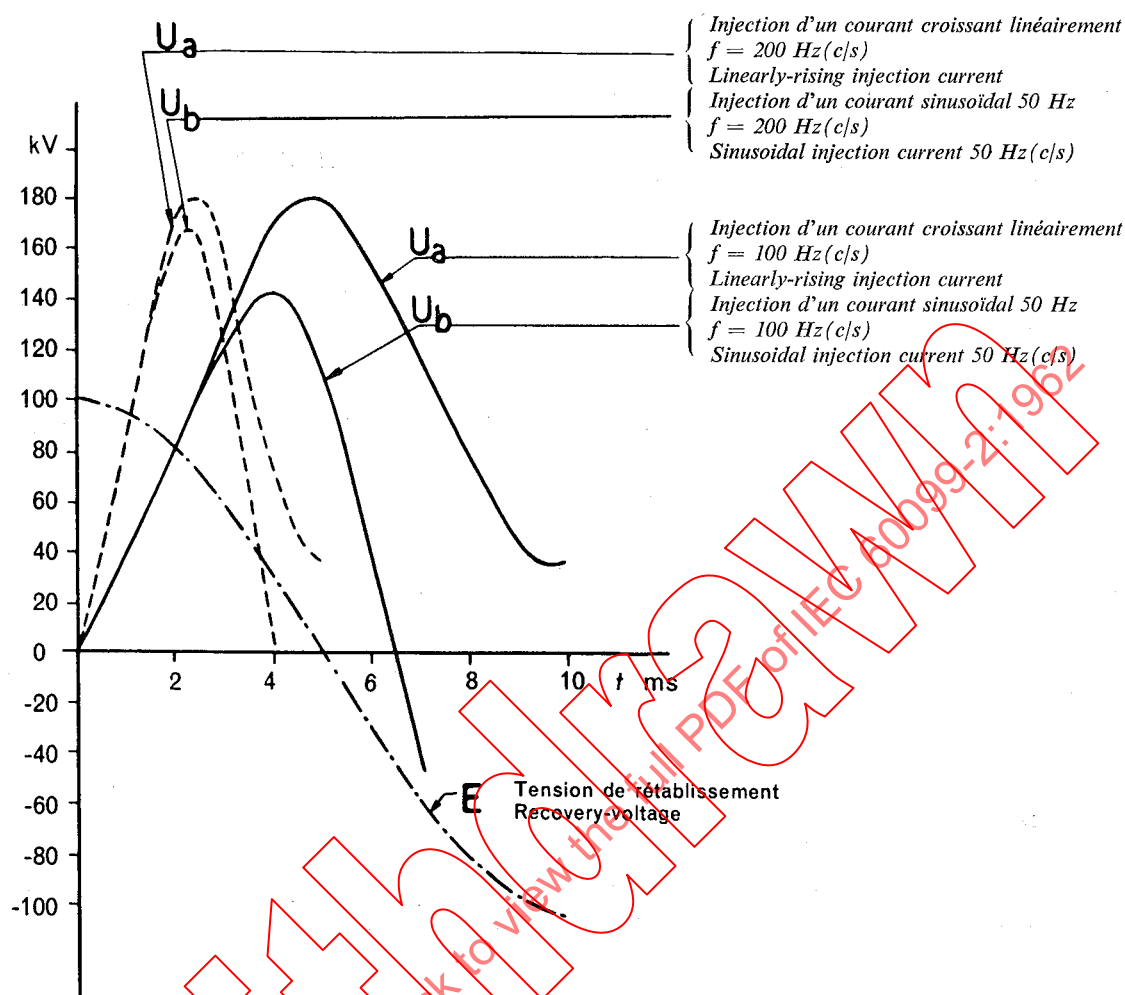


FIG. 3 — Tension transitoire de rétablissement obtenue avec le dispositif d'injection d'une impulsion de courant.

Restriking voltage obtained with the current impulse injector.

- U_a pour un courant croissant linéairement
with linearly-rising current
- U_b pour un courant sinusoïdal à la fréquence d'alimentation (50 Hz)
with sinusoidal current at supply frequency (50 Hz (c/s))
- f = fréquence propre
 f = natural frequency

BIBLIOGRAPHIE — BIBLIOGRAPHY

1. C. DANNATT and S. E. GOODALL: Circuit-breaker operation. The inherent voltage recovery rate. *Electrician* **114** (1935), pp. 539-542.
2. H. TRENCHAM and K.J.R. WILKINSON: Restriking voltage and its import in circuit-breaker operation. *Journal Institution of Electrical Engineers* **80** (1937), pp. 460-480.
3. L. GOSLAND and J. S. VOSPER: Network analyser study of inherent restriking-voltage transients on the British 132 kV grid. C.I.G.R.E. 1952, *Report* 120.
4. A.I.E.E. Joint Sub-Committee on Distribution circuit recovery voltages; transient fault current and voltage recovery characteristics of distribution systems, *Power Apparatus and Systems*, October, 1952, No. 2, page 768.
5. Dr. H. MEYER: C.I.G.R.E. 1952, Tome 1 (Discussions), pp. 242-244.
6. R. PÉLISSIER: La propagation des ondes transitoires et périodiques le long des lignes électriques. *Revue générale de l'Electricité*, sept., oct., nov. 1950, vol. 59.
7. M. MONNET: Utilisation d'un réseau miniature et d'un oscillographe à répétition pour l'étude directe de la propagation des surtensions dues à la foudre dans les postes. *Annales de l'Institut Polytechnique de Grenoble*, vol. III, 1954, N° 2.
8. Dr. W. WANGER and J. K. BROWN: Calculation of the oscillations of the recovery voltage after the rupture of short-circuits. *Brown-Boveri Review* (1937), pp. 283-302.
9. P. FOURMARIER and J. K. BROWN: Determination of the behaviour of the recovery voltage after rupturing short-circuits by means of a high-frequency resonance method. *Brown-Boveri Review* (1937), pp. 217-223.
10. P. HAMMARLUND: Transient recovery voltage subsequent to short-circuit interruption with special reference to Swedish power systems. *Ingenjors Vetenskaps Akademien Handlingar* Nr. 189/1946.
11. ADAMS, SKEATS, VAN SICKLE and SILLERS: Practical calculations of circuit transient recovery voltages. *Transactions A.I.E.E.* 1942, Vol. 61, p. 771.
12. W. C. KOTHEIMER: A Method for studying circuit transient recovery voltage characteristics of electric power systems. *Power Apparatus and Systems*, Dec., 1955, No. 21, p. 1083.
13. M. MAURY: C.I.G.R.E. 1950, Vol. 1, Discussions.
14. A. HOCHRAINER and K. KRIECHBAUM: Verfahren zum Bestimmen der Einschwingspannung. *ETZ-A*, Heft 20 (1956).
15. R. GERT: Die Wiederkehrende Spannung in den Netzen der CSR. *Energietechnik*, Mai 1955, Vol. 5, N° 5.
16. P. FOURMARIER: La détermination des fréquences propres des réseaux. *Bulletin Scientifique AIM*, N°s 7, 8, 9 de juillet/septembre 1950.
17. P. FOURMARIER: Méthodes expérimentales nouvelles de détermination de la tension de rétablissement. Résultats obtenus sur les réseaux belges. C.I.G.R.E. 1950, *Rapport* 117.
18. S. B. GRISCOM, D. M. SAUTER and H. M. ELLIS: Transient recovery voltages on power systems, Part II, Practical methods of determination — A.I.E.E. Paper No. 57-599, *Power Apparatus and Systems* No. 37, August 1958, pp. 592-604.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60099-2:1962

ANNEXE B

MÉTHODES D'ÉVALUATION DU FACTEUR D'AMPLITUDE ET DE LA VITESSE D'ACCROISSEMENT DE LA TENSION TRANSITOIRE DE RÉTABLISSEMENT PROPRE AUX CIRCUITS D'ESSAI

1. Introduction

D'après l'article 21, la tension transitoire de rétablissement nominale comporte une composante transitoire oscillant à une seule fréquence, et, selon l'article 22, sa vitesse d'accroissement effective est représentée par l'inclinaison de la ligne droite partant de l'origine et passant par la première crête de l'onde.

Si possible, il en sera de même pour la tension transitoire de rétablissement propre au circuit d'essai.

Sa vitesse d'accroissement sera alors déterminée comme indiqué à l'article 2 ci-dessous.

En pratique, il n'est pas toujours possible d'obtenir des oscillations à fréquence unique et il est, par suite, nécessaire de prévoir une méthode pour l'évaluation du facteur d'amplitude et de la vitesse d'accroissement des ondes à fréquence multiple en vue de la comparaison avec la tension transitoire de rétablissement de référence.

Des investigations sur des circuits comportant différentes formes d'ondes de tension transitoire de rétablissement ont montré que, dans la majorité des cas, la partie critique de la tension transitoire de rétablissement est comprise entre zéro et 100 % de la valeur de crête de la tension de rétablissement.

En l'absence de données plus exactes concernant le comportement de différents types de parafoudres vis-à-vis des ondes de tension transitoire de rétablissement à fréquence multiple, la vitesse d'accroissement de la tension transitoire de rétablissement est provisoirement déterminée par la mesure de la partie de la courbe qui se trouve à l'intérieur de cette zone et qui se trouve comprise entre zéro et la première crête de la tension transitoire de rétablissement, si celle-ci excède la valeur de crête de la tension de rétablissement, au moyen d'une méthode empirique faisant intervenir une construction géométrique simple et fournissant une vitesse d'accroissement équivalente.

Lorsque les essais sont effectués par d'autres que le constructeur, on doit employer si possible des circuits donnant des oscillations de tension transitoire de rétablissement à fréquence simple. Si cela est impossible, le constructeur doit être consulté en vue d'un accord sur la forme d'onde acceptable dans les limites de la tension transitoire de rétablissement prévue.

2. Méthode d'évaluation pour une tension transitoire de rétablissement ne comportant qu'une seule fréquence

La vitesse d'accroissement de la tension transitoire de rétablissement (v.a.t.r.) est représentée par l'inclinaison d'une ligne partant de l'origine et passant par la première crête de l'onde comme montré à la figure 4, page 78, dans laquelle :

e_m = la valeur de crête de la tension transitoire de rétablissement exprimée en volts,

t_m = le temps en microsecondes compté depuis l'origine jusqu'au moment du passage de la tension transitoire de rétablissement par sa valeur de crête,

E_m = la valeur de crête de la tension de rétablissement à fréquence de service exprimée en volts.

APPENDIX B

METHOD OF EVALUATING THE AMPLITUDE FACTOR AND RATE-OF-RISE OF INHERENT RESTRIKING VOLTAGE OF TEST CIRCUITS

1. Introduction

According to Clause 21, the rated restriking voltage has a single-frequency transient component, and, according to Clause 22, its effective rate-of-rise is taken as the slope of the straight line from the voltage zero to the first peak of the wave.

Where possible, the inherent restriking voltage of the test circuit should also be of the same form.

The rate-of-rise of such a curve is therefore determined as given in Clause 2 below.

In practice, it is not always possible to obtain single-frequency waves and it is therefore necessary to have a method for evaluating the amplitude factor and the rate-of-rise of multi-frequency waves for comparison with the reference restriking voltage.

Investigations on circuits having different waveforms of restriking voltage have shown that in the majority of cases the critical portion of the restriking voltage lies between zero and 100% of the peak value of the recovery voltage.

Pending more exact knowledge regarding the behaviour of various types of arresters with respect to multi-frequency restriking-voltage waves, the rate-of-rise of restriking voltage is tentatively determined by the measurement of that part of the curve lying between zero and the first peak of the restriking voltage and where this exceeds the peak value of the recovery voltage, by means of an empirical method using a simple geometrical construction giving as its result an equivalent rate-of-rise.

When tests are made by an authority other than the manufacturer, circuits giving single-frequency restriking-voltage oscillations should be used if possible. If this is impossible, the manufacturer must be consulted and should agree as to the waveform which is acceptable, within the limits of the prescribed restriking voltage.

2. Method of evaluation for single-frequency curves

The rate-of-rise of restriking voltage (r.r.v.) is the slope of a line from voltage zero to the first peak of the wave as shown in Figure 4, page 78, in which:

e_m = peak restriking voltage in volts,

t_m = time in microseconds between voltage zero and voltage peak,

E_m = peak value of the recovery voltage in volts.

Le facteur d'amplitude est égal à: $\frac{e_m}{E_m}$.

La v.a.t.r. est égale à: $\frac{e_m}{t_m}$ volts par microseconde.

La fréquence d'oscillation est égale à: $\frac{10^3}{2t_m}$ kHz.

3. Procédé graphique quand la tension de rétablissement transitoire comporte plusieurs fréquences

Le procédé graphique à utiliser dépend de l'amplitude de la première crête de la tension transitoire de rétablissement.

a) Si la première crête de l'oscillation à plusieurs fréquences a une amplitude égale ou supérieure à E_m (comme indiqué sur la figure 5), la v.a.t.r. équivalente sera caractérisée par une ligne droite partant de l'origine, passant par la première crête et prolongée jusqu'au point où, après une durée de temps t_m partant de l'origine, son ordonnée atteint la valeur e_m . Les valeurs de e_m , t_m et E_m ainsi obtenues seront utilisées pour évaluer le facteur d'amplitude, la v.a.t.r. et la fréquence d'oscillation selon les formules de l'article 2.

La v.a.t.r. pourra aussi être calculée à l'aide de la durée de temps t partant de l'origine jusqu'à la première crête, par la formule:

$$\text{V.A.T.R.} = \frac{e}{t} \text{ volts par microseconde.}$$

b) Si la première crête de l'oscillation à plusieurs fréquences a une amplitude inférieure à E_m (comme montré dans la figure 6), on utilisera alors le procédé graphique suivant pour déterminer la vitesse d'accroissement.

a, b, c, etc. sont les crêtes successives correspondant aux valeurs de tension de Oa' , Ob' , Oc' , etc., jusqu'au point où la tension de rétablissement atteint la valeur E_m . Ce point devra toujours être considéré comme la dernière crête et les crêtes suivantes seront négligées pour l'évaluation de la v.a.t.r. En outre, seulement les crêtes dont l'amplitude dépasse celles de toutes les précédentes seront considérées. Des lignes Oa , Ob , Oc , etc. seront tracées de l'origine jusqu'aux points a, b, c, etc. Une ligne aB sera tracée parallèlement à Ob du point « a » et s'arrêtera à la ligne $b'b$. Une autre ligne BC sera tracée parallèlement à Oc jusqu'à la ligne $c'c$. S'il y a encore des crêtes on répétera le procédé pour toutes les crêtes qui seront à considérer pour le procédé. La dernière ligne devra en conséquence toujours s'arrêter à la ligne correspondant à la tension E_m .

Finalement, une ligne droite OC sera tracée de l'origine au point C, de l'intersection entre la dernière ligne BC et la ligne cc' correspondant à la valeur de crête de la tension de rétablissement. Cette ligne sera prolongée jusqu'au point où, après une durée de temps t_m partant de l'origine, son ordonnée atteindra la valeur de crête de la tension transitoire de rétablissement e_m .

Les formules données à l'article 2, seront ensuite utilisées pour déterminer le facteur d'amplitude, la v.a.t.r. et la fréquence d'oscillation. La vitesse d'accroissement pourra aussi être déterminée en partant de la durée de temps t correspondant au point C par la formule:

$$\text{V.A.T.R.} = \frac{E_m}{t}$$

c) Les courbes à plusieurs fréquences montrent quelquefois des points d'inflexion caractérisés par un changement marqué de l'inclinaison, mais sans une crête suivie d'une dépression. On en trouve un exemple en « b » à la figure 7. Dans ce cas une ligne sera tracée tangentielllement et le point de tangence sera pris comme la crête correspondante. Pour le reste, la construction sera identique à celle de l'article 3b ci-dessus, figure 6 et les formules données à l'article 2, seront utilisées pour le calcul.

The amplitude factor is: $\frac{e_m}{E_m}$.

The r.r.r.v is: $\frac{e_m}{t_m}$ volts per microsecond.

The natural frequency is: $\frac{10^3}{2t_m}$ kHz (kc/s).

3. Graphical construction for multi-frequency curves

The method depends upon the amplitude of the first crest of the restriking-voltage.

a) If the first crest of the multi-frequency curve has an amplitude of E_m or more, as in Figure 5, the equivalent r.r.r.v. is characterized by a straight line from the point of zero voltage to the first crest, extended until after a time t_m from voltage zero, its ordinate reaches the value e_m . With the values e_m , t_m and E_m thus obtained, the amplitude factor, the r.r.r.v. and the natural frequency can be calculated by means of the expressions given in Clause 2.

The r.r.r.v. can also be determined by means of the time t from voltage zero to the first crest using the formula:

$$\text{r.r.r.v.} = \frac{e}{t} \text{ volts per microsecond}$$

b) If the first crest of the multi-frequency curve has an amplitude less than E_m , as shown in Figure 6, then the following geometrical construction is used for determining the rate-of-rise.

a, b, c, etc., are the successive crests having voltage values of Oa' , Ob' , Oc' , etc., up to the point where the recovery voltage attains a voltage of E_m . This point is always considered as the last crest and subsequent crests are ignored in the evaluation of the r.r.r.v. Furthermore, only those crests which have a higher amplitude than all preceding crests are used. Lines Oa , Ob , Oc , etc., are drawn from zero voltage to the points a, b, c, etc. A line aB from point "a" is drawn parallel to Ob stopping at the line $b'b$. BC is drawn parallel to Oc stopping at the line $c'c$. If there are more crests the process is repeated until all crests to be used in the construction have been dealt with. The last line thus always terminates on the line corresponding to the voltage E_m .

Finally, a straight line OC is drawn from zero voltage to the point C where the last line BC intersects the line CC' corresponding to the peak recovery voltage E_m and this line is extended until, after a time t_m from voltage zero, its ordinate attains the peak restriking voltage e_m .

The expression given in Clause 2 are then used to determine the amplitude factor, the r.r.r.v. and the natural frequency. The rate-of-rise can also be determined from the time t corresponding to the point C using the formula:

$$\text{r.r.r.v.} = \frac{E_m}{t}$$

c) Multi-frequency curves sometimes show points of inflexion accompanied by marked changes in slope but no crest with a subsequent trough. An example is given at "b" in Figure 7. In this case a line is drawn tangentially and the point of touch is taken as the corresponding crest. Otherwise the construction is the same as in Clause 3b, Figure 6 and the expressions given in the Clause 2 are used for the calculation.

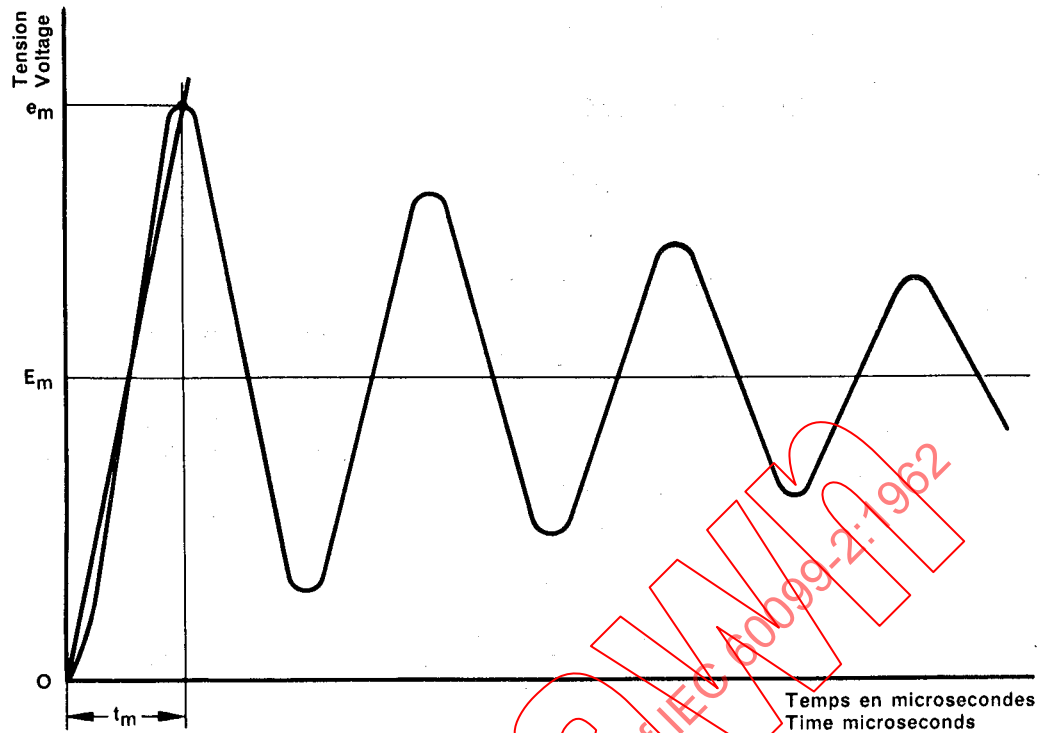


FIG. 4 — Méthode d'évaluation pour une tension transitoire de rétablissement ne comportant qu'une seule fréquence.

Method of evaluation for single-frequency curves.

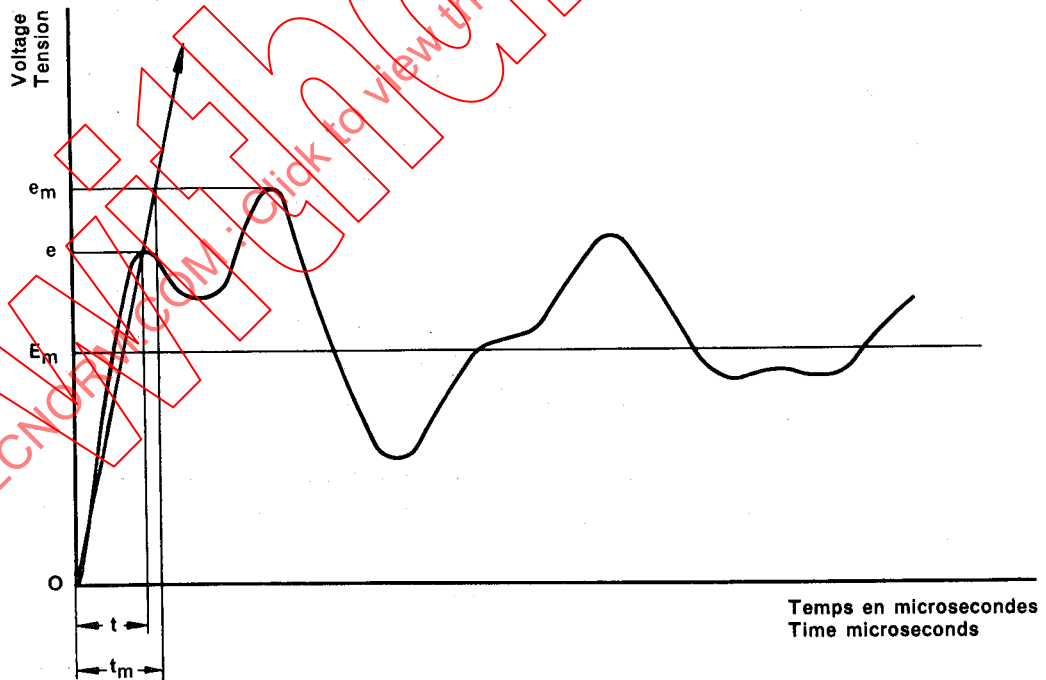


FIG. 5 — Procédé graphique quand la tension transitoire de rétablissement comporte plusieurs fréquences.

Graphical construction for multi-frequency curves.

FIG. 7 — Procédé graphique quand la tension transitoire de rétablissement comporte plusieurs fréquences.
Graphical construction for multi-frequency curves.

ANNEXE C

MESURE DU FACTEUR DE PUISSANCE D'UN COURT-CIRCUIT (OU DU RAPPORT X/R)

Il n'existe pas de méthode permettant de déterminer avec précision le facteur de puissance d'un court-circuit (ou le rapport X/R) mais, pour l'application des présentes règles, la détermination du facteur de puissance de court-circuit de chaque phase de circuit d'essai pourra être effectuée avec une précision suffisante par celle des trois méthodes suivantes qui sera la plus appropriée.

Méthode 1 — Calcul d'après les constantes du circuit

Le facteur de puissance du court-circuit (ou le rapport X/R) pourra être calculé comme étant égal au cosinus d'un angle φ dont la tangente est donnée par le rapport: $\operatorname{tg} \varphi = X/R$, X et R étant respectivement les valeurs de la réactance et de la résistance du circuit d'essai pendant la période d'établissement du courant de court-circuit.

En raison de la nature transitoire du phénomène, aucune méthode précise ne peut être indiquée pour déterminer X et R , mais pour l'application des présentes règles, leurs valeurs pourront être déterminées par la méthode indiquée ci-dessous:

R sera mesuré sur le circuit d'essai lui-même avec du courant continu; si le circuit comporte un transformateur, on mesurera séparément la résistance R_1 du circuit primaire et la résistance R_2 du circuit secondaire et on déterminera R par la formule $R = R_2 + R_1 r^2$ dans laquelle r sera le rapport de transformation du transformateur.

X sera alors déduit de la formule $\sqrt{R^2 + X^2} = \frac{E}{I}$.

Le rapport $\frac{E}{I}$ (impédance de circuit) étant déduit de l'oscillogramme comme indiqué à la figure 8, page 82.

Méthode 2 — Détermination d'après la composante apériodique

L'angle φ peut être déterminé d'après la courbe de la composante apériodique de l'onde du courant asymétrique entre l'instant du court-circuit et l'instant de la séparation des contacts comme suit:

1. La formule de la composante apériodique est: $i_d = I_{d0} \varepsilon^{-Rt/L}$ dans laquelle:

- i_d est la valeur de la composante apériodique à tout instant,
- I_{d0} est la valeur initiale de la composante apériodique,
- L/R est la constante du circuit en secondes,
- t est l'intervalle de temps en secondes, entre i_d et I_{d0} ,
- ε est la base des logarithmes népériens.

La constante de temps L/R peut être déterminée d'après les formules ci-dessus comme suit:

- a) mesure de la valeur de I_{d0} à l'instant du court-circuit et de la valeur de i_d à tout instant avant la séparation des contacts,

APPENDIX C

MEASUREMENT OF THE SHORT-CIRCUIT POWER-FACTOR (OR X/R RATIO)

There is no method by which the short-circuit power-factor (or X/R ratio) can be determined with precision, but for the purpose of the present rules, the determination of the short-circuit power-factor in each phase of the test circuit may be made with sufficient accuracy by whichever of the three following methods is the more appropriate.

Method 1 — Calculation from circuit constants

The short-circuit power-factor (or the X/R ratio) may be calculated as the cosine of an angle φ where $\varphi = \arctan X/R$, X and R being respectively the reactance and resistance of the test circuit while the short-circuit exists.

Owing to the transitory nature of the phenomenon, no accurate method can be given for determining X and R , but for compliance with these rules the values may be determined by the following method:

R is measured in the test circuit with direct current; if the circuit includes a transformer, the resistance R_1 of the primary circuit and the resistance R_2 of the secondary circuit are measured separately and the required value R is then given by the formula: $R = R_2 + R_1 r^2$ in which r is the ratio of transformation of the transformer.

X is then obtained from the formula: $\sqrt{R^2 + X^2} = \frac{E}{I}$.

The ratio $\frac{E}{I}$ (circuit impedance) being obtained from the oscillogram as indicated in Figure 8, page 83.

Method 2 — Determination from d.c. component

The angle φ may be determined from the curve of the d.c. component of the asymmetrical current wave between the incidence of short-circuit and the instant of contact separation as follows:

1. The formula for the d.c. component is: $i_d = I_{d0} \varepsilon^{-Rt/L}$ where

i_d is the value of the d.c. component at any instant,
 I_{d0} is the initial value of the d.c. component,
 L/R is the time-constant of the circuit in seconds,
 t is the time interval, in seconds, between i_d and I_{d0} ,
 ε is the base of Napierian logarithms.

The time-constant L/R can be ascertained from the above formula as follows:

- a) Measure the value of I_{d0} at the instant of short-circuit and the value of i_d at any other time t before contact separation,

- b) détermination de la valeur $\varepsilon R/L$ en divisant i_a par I_{a0} ,
 - c) déterminer la valeur de $-X$ correspondant au rapport i_a/I_{a0} à partir d'une table des valeurs de ε^{-X} ,
 - d) la valeur X représentant Rt/L , le rapport R/L est déterminé en divisant X par t , puis on obtient L/R .
2. Déterminer l'angle φ à partir de la relation:
- $$\varphi = \arctan \omega L/R$$
- où $\omega = 2\pi$ fois la fréquence réelle.
3. La figure 9 de l'annexe D permet de calculer le rapport X/R à partir du facteur de puissance. Cette méthode ne doit pas être utilisée quand les courants sont mesurés au moyen des transformateurs de courant.

Méthode 3 — Détermination au moyen d'un générateur pilote

Quand un générateur pilote est branché sur le même arbre que le générateur d'essai, la tension à ses bornes peut être comparée en ce qui concerne la phase, au moyen d'un oscillographe, avec la tension puis le courant du générateur d'essai.

La différence entre les déphasages des tensions du générateur pilote et du générateur principal d'une part et des courants du générateur pilote et du générateur d'essai d'autre part, donne le déphasage de la tension et du courant du générateur d'essai, ce qui permet de déterminer le facteur de puissance.

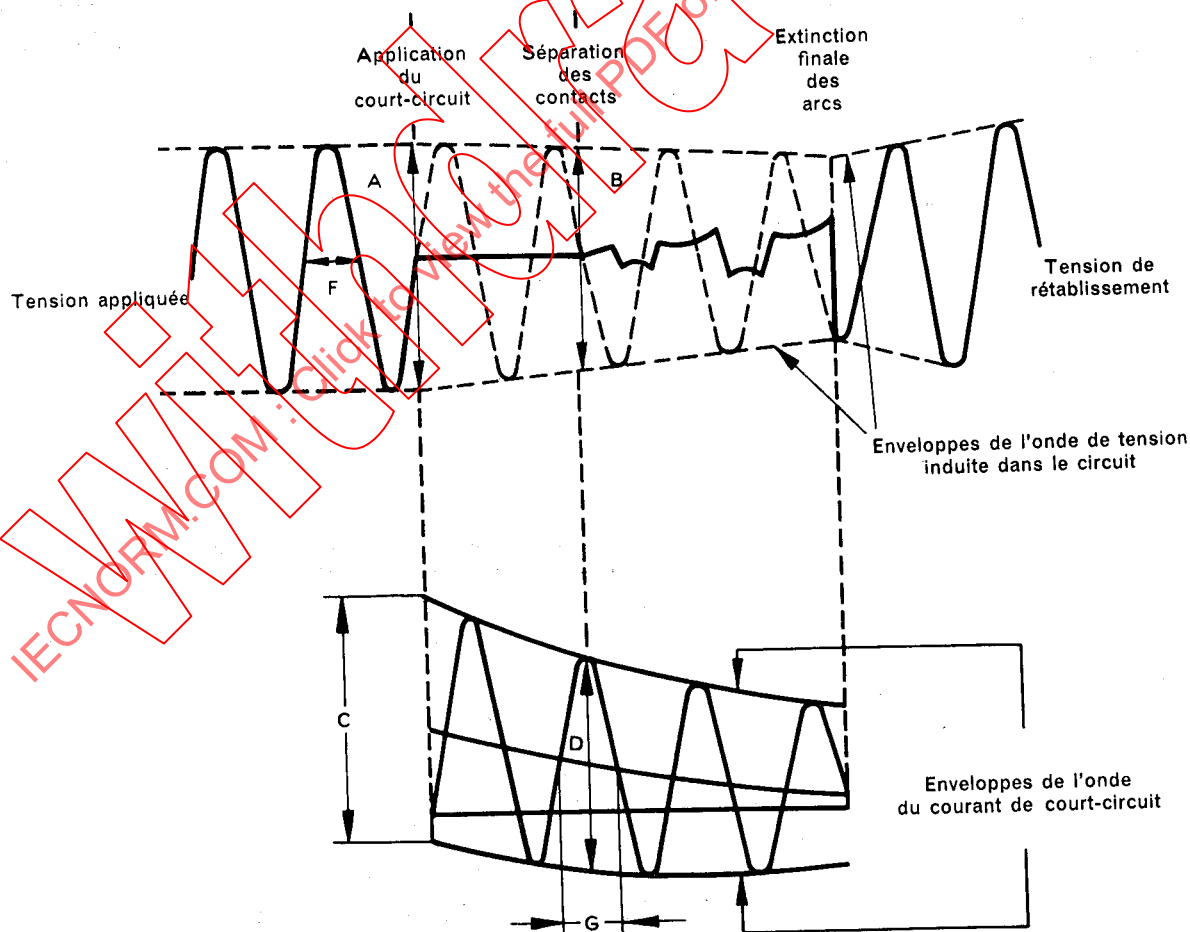


FIG. 8 — Détermination de l'impédance du circuit pour le calcul du facteur de puissance selon la méthode 1.

2. Determine the angle φ from:

Contact separation

where ω is 2π times the actual frequency.

3. Use Figure 9 in Appendix D to convert the power-factor to the X/R ratio.

This method should not be used when the currents are measured by current transformers.

Method 3 — Determination with pilot generator

When a pilot generator is used on the same shaft as the test generator, the voltage of the pilot generator on the oscillogram may be compared in phase first with the voltage of the test generator and then with the current of the test generator.

The difference between the phase angles between pilot generator voltage and main generator voltage on the one hand and pilot generator and test generator current on the other hand gives the phase angle between the voltage and current of the test generator, from which the power-factor can be determined.

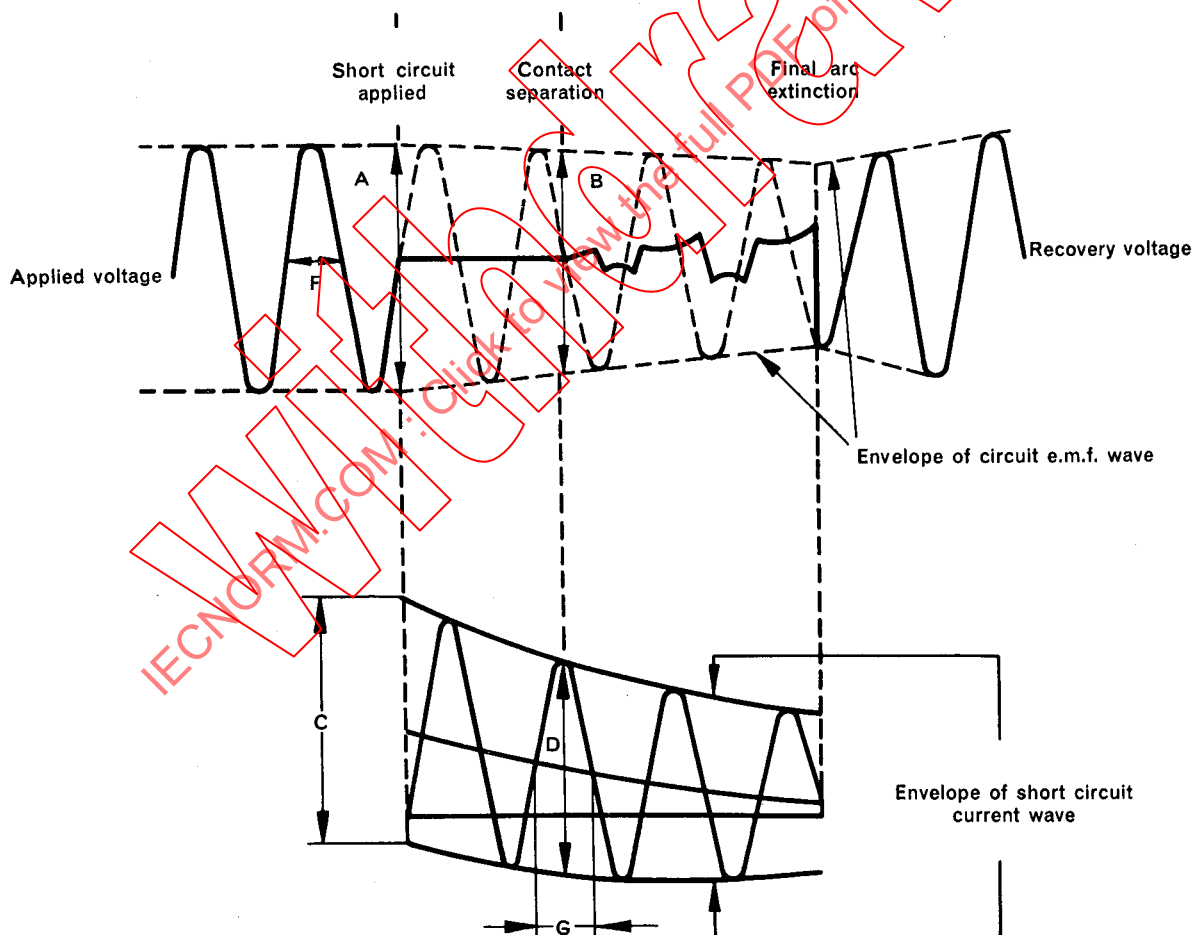


FIG. 8 — Determination of circuit impedance for calculation of power-factor in accordance with Method 1.

$$\text{Impédance du circuit} = \frac{E}{I} = \frac{B}{D} = \frac{A}{C} \times \frac{F}{G}$$

dans laquelle:

E = Force électromotrice introduite dans le circuit au moment de la séparation des contacts = $\frac{B}{2\sqrt{2}}$ exprimée en volts,

I = Courant coupé = $\frac{D}{2\sqrt{2}}$ exprimé en ampères,

A = Deux fois l'amplitude de la tension appliquée, exprimée en volts,

C = Deux fois l'amplitude de la composante symétrique de l'onde de courant au début du court-circuit, exprimée en ampères,

F = Durée en secondes d'une demi-période de l'onde de tension appliquée,

G = Durée en secondes d'une demi-période de l'onde de courant au moment de la séparation des contacts.

Withdrawing
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60099-2:1962

$$\text{Circuit impedance} = \frac{E}{I} = \frac{B}{D} = \frac{A}{C} \times \frac{F}{G}$$

where:

E = circuit e.m.f. at contact separation = $\frac{B}{2\sqrt{2}}$ expressed in volts,

I = breaking current = $\frac{D}{2\sqrt{2}}$ expressed in amperes,

A = twice the peak value of the applied voltage expressed in volts,

C = twice the peak value of the symmetrical component of the current wave at the beginning of the short-circuit expressed in amperes,

F = duration in seconds of one half-cycle of the applied-voltage wave,

G = duration in seconds of one half-cycle of the current wave at the instant of contact separation.

Withdrawing
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60099-2:1962

ANNEXE D

GUIDE D'APPLICATION DES PARAFONDRES A EXPULSION

Ce guide se rapporte à l'application des parafoudres à expulsion des classes « postes de distribution » et « ligne ». Ces deux classes diffèrent par leur construction et leur utilisation. Les parafoudres de la classe « postes de distribution » sont utilisés pour la protection de l'appareillage. Les parafoudres de la classe « ligne » sont utilisés principalement pour éviter le contournement des isolateurs de ligne. Certaines différences dans les méthodes d'utilisation conduisent à donner des instructions spéciales assorties de méthodes simplifiées dans la section D pour les parafoudres de la classe « poste de distribution » et dans la section E pour les parafoudres de la classe « ligne ». Des applications spéciales des parafoudres de la classe « ligne » sont étudiées dans la section G. Les facteurs fondamentaux suivants intéressent les deux types.

A. GUIDE POUR LE CHOIX DE LA TENSION NOMINALE DU PARAFONDRE

1. Cas normaux d'utilisation

Lorsqu'un parafoudre est branché entre phase et terre sur un réseau triphasé, sa tension nominale doit être égale ou supérieure à la valeur efficace la plus élevée de la tension à fréquence industrielle qui peut lui être appliquée dans des conditions normales ou anormales de fonctionnement, y compris les conditions de défaut, si l'on veut éviter le risque de détérioration du parafoudre. Alors que la tension entre phase et terre peut éventuellement devenir plus élevée que la tension de service normale entre phase et terre pour beaucoup de raisons (défauts sur le réseau, réglage de tensions ou de puissance, survitesse des machines génératrices, résonance, etc.), on a trouvé qu'il était en général satisfaisant pour l'emploi des parafoudres de ne tenir compte que de la tension qui apparaît entre les phases saines et la terre lors de défauts à la terre sur le réseau. Cette tension est exprimée en fonction de la tension la plus élevée du réseau par le coefficient de l'état du réseau par rapport à la terre (article 28). L'expérience montre que la majorité des réseaux peuvent être classés en un nombre de catégories limité en fonction des conditions de mise à la terre du neutre et que les tensions nominales des parafoudres peuvent être déterminées pour ces catégories de réseaux sans pousser plus loin les calculs, comme suit :

a) Réseau à neutre effectivement à la terre

On admet que les neutres du réseau sont effectivement à la terre quand le coefficient de l'état du réseau par rapport à la terre ne dépasse pas 80 %.

Une valeur ne dépassant pas 80 % est obtenue généralement lorsque, dans toutes les conditions d'un réseau, le rapport de la réactance homopolaire à la réactance directe (X_0/X_1) est compris entre zéro et plus trois et le rapport de la réactance homopolaire à la réactance directe (R_0/X_1) est compris entre zéro et plus un. Le parafoudre doit alors avoir une tension nominale au moins égale à 80 % de la tension entre phases la plus élevée du réseau.

- Notes: 1) Sur certains réseaux de distribution du type à 4 fils où les neutres des transformateurs et le conducteur neutre sont directement reliés à la terre en de nombreux points le long du circuit, le coefficient de l'état du réseau par rapport à la terre peut être inférieur à 80 %. Dans ces conditions, la tension nominale du parafoudre peut être inférieure à 80 % de la tension entre phases la plus élevée du réseau.
- 2) Dans beaucoup de réseaux de transport à haute tension, le coefficient de l'état du réseau par rapport à la terre ne dépasse pas 75 %. Dans ces conditions, la tension nominale du parafoudre peut être 75 % de la tension entre phases la plus élevée du réseau.

APPENDIX D

GUIDE TO THE APPLICATION OF EXPULSION-TYPE LIGHTNING ARRESTERS

This guide covers the application of expulsion-type arresters of the distribution and the transmission classes. The two classes differ in construction and use. The distribution-class arresters are used for the protection of apparatus. The transmission-class arresters are used principally for the prevention of line insulator flashover. There are some differences in the application practices so specific instructions with simplified methods are given in Section D for distribution-class arresters and in Section E for transmission-class arresters. Special applications of transmission-class arresters are discussed in Section C. The following basic factors apply to both types.

A. GUIDE FOR SELECTION OF ARRESTER VOLTAGE RATING

1. Normal applications

When an arrester is connected between phase and earth on a three-phase system, the rated voltage of the arrester must equal or exceed the highest r.m.s. value of the power-frequency voltage which can be applied to it under normal or abnormal conditions of operation, including fault conditions, if risk of damage to the arrester is to be avoided. While the possible phase-to-earth voltage can become greater than the normal operating phase-to-earth voltage for a variety of reasons (system faults, regulation, over-speeding of prime movers, resonance, etc.), it has been found generally satisfactory for arrester application to consider only the voltage produced between unfaulted phases and earth as a result of system earth faults. This voltage is expressed in relation to the highest system voltage by the coefficient of earthing of the system (Clause 28). Experience shows that the majority of systems can be classified into a limited number of groups, depending upon neutral earthing conditions, and that arrester voltage ratings can be determined for these groups of systems without further calculation, as follows:

a) *Effectively earthed neutral system*

The system neutrals are considered to be effectively earthed when the coefficient of earthing does not exceed 80%.

A value not exceeding 80% is obtained generally when, for all system conditions, the ratio of zero-sequence reactance to positive-sequence reactance (X_0/X_1) is between zero and plus three and the ratio of zero-sequence resistance to positive-sequence reactance (R_0/X_1) is between zero and plus one. The arrester should have a voltage rating equal to at least 80% of the highest phase-to-phase system voltage.

Notes: 1) On certain distribution systems of the 4-wire type where the transformer neutrals and neutral conductor are directly earthed at frequent points along the circuit, the coefficient of earthing may be limited to less than 80%. Under these conditions, the arrester voltage rating may be correspondingly less than 80% of the highest phase-to-phase system voltage.

2) On many high-voltage transmission systems the coefficient of earthing will not exceed 75%. Under these conditions, the arrester voltage rating may be 75% of the highest phase-to-phase system voltage.

b) Réseau à neutre non effectivement à la terre (y compris réseau à bobine d'extinction)

Les neutres du réseau sont considérés comme n'étant pas effectivement reliés à la terre s'ils sont reliés à la terre par des résistances ou des réactances de telle façon que le coefficient de l'état du réseau par rapport à la terre pendant un défaut quelconque puisse être supérieur à 80 %. Cette catégorie correspond à des réseaux dont les neutres sont reliés à la terre par une bobine d'extinction et, dans certains cas, le coefficient de l'état du réseau par rapport à la terre peut être supérieur à 100 %. La tension nominale du parafoudre doit être égale ou supérieure à la tension entre phases la plus élevée du réseau.

c) Réseau à neutre isolé

Si les neutres du réseau sont isolés de la terre, le coefficient de l'état du réseau par rapport à la terre peut être 100 % ou, dans certains cas, supérieur à 100 %. Dans ces réseaux, la réactance homopolaire (X_0) est capacitive et le rapport de réactances (X_0/X_1) est négatif. Si le rapport de réactances (X_0/X_1) est compris entre moins 40 et moins l'infini, la tension nominale du parafoudre devrait être égale ou supérieure à la tension entre phases la plus élevée du réseau.

Note: Si le rapport de réactances (X_0/X_1) est compris entre zéro et moins 40, des conditions de résonance peuvent apparaître et on ne peut proposer aucune règle générale pour la tension nominale des parafoudres.

2. Cas spéciaux d'utilisation

Ces cas spéciaux d'applications concernent les parafoudres à expulsion utilisés pour la protection d'un appareil, comme par exemple le parafoudre de la classe « poste de distribution ».

a) Tensions de réseau anormales

Les tensions nominales des parafoudres données aux tableaux VIII et IX, pages 96 et 100, en fonction des tensions de réseau sont basées sur l'hypothèse qu'en service normal la tension la plus élevée du réseau n'est dépassée que dans des conditions de fonctionnement très exceptionnelles et que la probabilité de la coïncidence du fonctionnement d'un parafoudre avec l'apparition d'une tension supérieure à la tension la plus élevée du réseau est très réduite. Si, par suite de circonstances spéciales, des tensions anormales peuvent apparaître fréquemment, permettant le fonctionnement des parafoudres dans de telles conditions, il peut être nécessaire d'utiliser un parafoudre ayant une tension nominale supérieure à celle qui est recommandée à la section A1 en fonction des circonstances particulières. Plusieurs exemples de ces conditions anormales d'exploitation du réseau sont indiquées plus loin, au paragraphe d).

b) Résistance de terre élevée ou distances excessives entre parafoudres et appareils protégés

Il est conseillé de réunir électriquement entre elles les terres de tous les parafoudres et celles du matériel à protéger.

Si la résistance de terre du parafoudre est élevée ou si les connexions entre le parafoudre et l'appareil protégé sont d'une longueur excessive, les tensions de choc qui apparaissent aux bornes de l'appareil protégé peuvent être sensiblement plus élevées que celles aux bornes du parafoudre. Afin d'obtenir les niveaux de protection désirés pour l'appareil et pour améliorer ces conditions, il peut être nécessaire, soit de choisir un parafoudre ayant des caractéristiques de protection abaissées, soit d'utiliser un parafoudre de tension nominale inférieure à celle indiquée aux tableaux VIII et IX. Ce dernier procédé entraînera un risque de claquage pour le parafoudre s'il vient à fonctionner lorsque la tension alternative à ses bornes est supérieure à sa tension nominale.

c) Faible niveau de tenue du matériel protégé

La protection d'un matériel possédant un faible niveau de tenue peut exiger un examen spécial pour le choix ou l'étude du parafoudre et il y a lieu de consulter le constructeur à ce sujet.

b) Non-effectively earthed neutral system (including resonant earthed system)

The system neutrals are considered to be non-effectively earthed when they are earthed through resistances or reactances such that the coefficient of earthing under any fault condition can exceed 80%. This category includes systems whose neutrals are earthed through ground fault neutralizer (arc suppression) coils and in some instances the coefficient of earthing may even exceed 100%. The arrester voltage rating should equal or exceed the highest phase-to-phase system voltage.

c) Isolated neutral system

If the system neutrals are isolated from earth, the coefficient of earthing may be 100%, or in some instances may exceed 100%. On such systems, the zero-sequence reactance (X_0) is capacitive and the reactance ratio (X_0/X_1) is negative. If the reactance ratio (X_0/X_1) lies between minus 40 and minus infinity, the arrester rating should equal or exceed the highest phase-to-phase system voltage.

Note: If the reactance ratio X_0/X_1 lies between zero and minus 40, resonance conditions may exist and no general rule for arrester voltage ratings is practicable.

2. Special applications

These special applications apply to expulsion-type arresters used for protection of apparatus, such as the distribution-class arresters.

a) Abnormal system voltages

The selection of the arrester voltage ratings corresponding to the system voltages given in Tables VIII and IX, pages 97 and 101, is based on the assumption that in service the highest system voltage is only exceeded under very abnormal operating conditions and that the probability of an arrester operation coinciding with a voltage exceeding the highest system voltage is very small. If abnormal system voltages are likely to be a frequent occurrence and arrester operations are likely to take place during such conditions, then it may be necessary to use an arrester with a voltage rating slightly higher than recommended in Section A1 depending upon the particular circumstances. Several examples of such abnormal system conditions are given in Paragraph *d)* which follows.

b) High earth resistance or excessive separation

It is recommended that the earths of all arresters and equipment be connected together electrically.

If the arrester earth resistance is high, or if the connections between the arrester and the protected apparatus are of excessive length, the impulse voltages which appear at the protected apparatus may be substantially higher than those across the terminals of the arrester. In order to obtain the desired degree of protection for the apparatus, it may be necessary either to improve these conditions, to select an arrester type with lower protective characteristics, or to use an arrester with a lower voltage rating than indicated by Tables VIII and IX. The latter procedure will result in a risk of failure of the arrester if it is required to operate when the power-frequency voltage across its terminals exceeds the voltage rating.

c) Low apparatus insulation strength

The protection of apparatus having low insulation strength may require special consideration in the selection or design of the arrester and should be referred to the manufacturer.