

**NORME  
INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL  
STANDARD**

**CEI  
IEC  
143-2**

Première édition  
First edition  
1994-07

---

---

**Condensateurs série destinés à être installés  
sur des réseaux –**

**Partie 2:**  
Matériel de protection pour les batteries  
de condensateurs série

**Series capacitors for power systems –**

**Part 2:**  
Protective equipment for series capacitor banks



Numéro de référence  
Reference number  
CEI/IEC 143-2: 1994

## Validité de la présente publication

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

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles auprès du Bureau Central de la CEI.

Les renseignements relatifs à ces révisions, à l'établissement des éditions révisées et aux amendements peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et dans les documents ci-dessous:

- **Bulletin de la CEI**
- **Annuaire de la CEI**  
Publié annuellement
- **Catalogue des publications de la CEI**  
Publié annuellement et mis à jour régulièrement

## Terminologie

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 50: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI), qui se présente sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini. Des détails complets sur le VEI peuvent être obtenus sur demande. Voir également le dictionnaire multilingue de la CEI.

Les termes et définitions figurant dans la présente publication ont été soit tirés du VEI, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

## Symboles graphiques et littéraux

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera:

- la CEI 27: *Symboles littéraux à utiliser en électro-technique;*
- la CEI 417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles;*
- la CEI 617: *Symboles graphiques pour schémas;*

et pour les appareils électromédicaux,

- la CEI 878: *Symboles graphiques pour équipements électriques en pratique médicale.*

Les symboles et signes contenus dans la présente publication ont été soit tirés de la CEI 27, de la CEI 417, de la CEI 617 et/ou de la CEI 878, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

## Publications de la CEI établies par le même comité d'études

L'attention du lecteur est attirée sur les listes figurant à la fin de cette publication, qui énumèrent les publications de la CEI préparées par le comité d'études qui a établi la présente publication.

## Validity of this publication

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

Information relating to the date of the reconfirmation of the publication is available from the IEC Central Office.

Information on the revision work, the issue of revised editions and amendments may be obtained from IEC National Committees and from the following IEC sources:

- **IEC Bulletin**
- **IEC Yearbook**  
Published yearly
- **Catalogue of IEC publications**  
Published yearly with regular updates

## Terminology

For general terminology, readers are referred to IEC 50: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV), which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field. Full details of the IEV will be supplied on request. See also the IEC Multilingual Dictionary.

The terms and definitions contained in the present publication have either been taken from the IEV or have been specifically approved for the purpose of this publication.

## Graphical and letter symbols

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications:

- IEC 27: *Letter symbols to be used in electrical technology;*
- IEC 417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets;*
- IEC 617: *Graphical symbols for diagrams;*

and for medical electrical equipment,

- IEC 878: *Graphical symbols for electromedical equipment in medical practice.*

The symbols and signs contained in the present publication have either been taken from IEC 27, IEC 417, IEC 617 and/or IEC 878, or have been specifically approved for the purpose of this publication.

## IEC publications prepared by the same technical committee

The attention of readers is drawn to the end pages of this publication which list the IEC publications issued by the technical committee which has prepared the present publication.

**NORME  
INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL  
STANDARD**

**CEI  
IEC  
143-2**

Première édition  
First edition  
1994-07

---

---

**Condensateurs série destinés à être installés  
sur des réseaux –**

**Partie 2:  
Matériel de protection pour les batteries  
de condensateurs série**

**Series capacitors for power systems –**

**Part 2:  
Protective equipment for series capacitor banks**

© CEI 1994 Droits de reproduction réservés — Copyright — all rights reserved

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

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

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

---

---



Commission Electrotechnique Internationale  
International Electrotechnical Commission  
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX  
PRICE CODE **XA**

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

## SOMMAIRE

|                                                                | Pages |
|----------------------------------------------------------------|-------|
| AVANT-PROPOS .....                                             | 6     |
| Articles                                                       |       |
| SECTION 1: GÉNÉRALITÉS                                         |       |
| 1.1 Domaine d'application et objet .....                       | 8     |
| 1.2 Références normatives .....                                | 10    |
| 1.3 Définitions .....                                          | 14    |
| SECTION 2: PRESCRIPTIONS POUR LA QUALITÉ ET LES ESSAIS         |       |
| 2.1 Protection contre les surtensions .....                    | 24    |
| 2.1.1 Eclateur de protection .....                             | 26    |
| 2.1.1.1 But .....                                              | 26    |
| 2.1.1.2 Classification .....                                   | 26    |
| 2.1.1.3 Essais .....                                           | 26    |
| 2.1.2 Résistance non linéaire (varistance) .....               | 30    |
| 2.1.2.1 But .....                                              | 30    |
| 2.1.2.2 Classification .....                                   | 30    |
| 2.1.2.3 Essais .....                                           | 32    |
| 2.2 Disjoncteur shunt .....                                    | 42    |
| 2.2.1 But .....                                                | 42    |
| 2.2.2 Classification .....                                     | 42    |
| 2.2.3 Essais .....                                             | 44    |
| 2.3 Sectionneurs .....                                         | 48    |
| 2.3.1 But .....                                                | 48    |
| 2.3.1.1 Sectionneur shunt .....                                | 48    |
| 2.3.1.2 Sectionneur série .....                                | 48    |
| 2.3.2 Classification .....                                     | 48    |
| 2.3.3 Essais .....                                             | 48    |
| 2.4 Matériel d'amortissement et de limitation du courant ..... | 50    |
| 2.4.1 But .....                                                | 50    |
| 2.4.2 Classification .....                                     | 50    |
| 2.4.3 Essais .....                                             | 52    |
| 2.5 Bobine de décharge .....                                   | 58    |
| 2.5.1 But .....                                                | 58    |
| 2.5.2 Classification .....                                     | 58    |
| 2.5.3 Essais .....                                             | 58    |

## CONTENTS

|                                              | Page |
|----------------------------------------------|------|
| FOREWORD .....                               | 7    |
| Clause                                       |      |
| SECTION 1: GENERAL                           |      |
| 1.1 Scope and object .....                   | 9    |
| 1.2 Normative references .....               | 11   |
| 1.3 Definitions .....                        | 15   |
| SECTION 2: QUALITY REQUIREMENTS AND TESTS    |      |
| 2.1 Overvoltage protector .....              | 25   |
| 2.1.1 Protective spark gap .....             | 27   |
| 2.1.1.1 Purpose .....                        | 27   |
| 2.1.1.2 Classification .....                 | 27   |
| 2.1.1.3 Tests .....                          | 27   |
| 2.1.2 Non-linear resistor (varistor) .....   | 31   |
| 2.1.2.1 Purpose .....                        | 31   |
| 2.1.2.2 Classification .....                 | 31   |
| 2.1.2.3 Tests .....                          | 33   |
| 2.2 By-pass circuit-breaker .....            | 43   |
| 2.2.1 Purpose .....                          | 43   |
| 2.2.2 Classification .....                   | 43   |
| 2.2.3 Tests .....                            | 45   |
| 2.3 Disconnectors .....                      | 49   |
| 2.3.1 Purpose .....                          | 49   |
| 2.3.1.1 By-pass disconnector .....           | 49   |
| 2.3.1.2 Series disconnector .....            | 49   |
| 2.3.2 Classification .....                   | 49   |
| 2.3.3 Tests .....                            | 49   |
| 2.4 Current-limiting damping equipment ..... | 51   |
| 2.4.1 Purpose .....                          | 51   |
| 2.4.2 Classification .....                   | 51   |
| 2.4.3 Tests .....                            | 53   |
| 2.5 Discharge reactor .....                  | 59   |
| 2.5.1 Purpose .....                          | 59   |
| 2.5.2 Classification .....                   | 59   |
| 2.5.3 Tests .....                            | 59   |

| Articles                                                                                                        | Pages |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 2.6 Transformateur de tension .....                                                                             | 60    |
| 2.6.1 But .....                                                                                                 | 60    |
| 2.6.2 Classification .....                                                                                      | 60    |
| 2.6.3 Essais .....                                                                                              | 62    |
| 2.7 Transformateur de courant .....                                                                             | 62    |
| 2.7.1 But .....                                                                                                 | 62    |
| 2.7.2 Classification .....                                                                                      | 62    |
| 2.7.3 Essais .....                                                                                              | 62    |
| 2.8 Colonne de signal .....                                                                                     | 62    |
| 2.8.1 But .....                                                                                                 | 62    |
| 2.8.2 Classification .....                                                                                      | 64    |
| 2.8.3 Essais .....                                                                                              | 64    |
| 2.9 Protection par relais, matériel de commande et matériel de liaison entre la<br>plate-forme et le sol .....  | 64    |
| 2.9.1 But .....                                                                                                 | 64    |
| 2.9.2 Classification .....                                                                                      | 66    |
| 2.9.3 Essais .....                                                                                              | 70    |
| <b>SECTION 3: GUIDE</b>                                                                                         |       |
| 3.1 Généralités .....                                                                                           | 70    |
| 3.2 Données spécifiques pour les condensateurs série .....                                                      | 70    |
| 3.3 Eclateur de protection .....                                                                                | 72    |
| 3.4 Résistance non linéaire (varistance) .....                                                                  | 74    |
| 3.5 Disjoncteur shunt .....                                                                                     | 88    |
| 3.6 Sectionneurs .....                                                                                          | 90    |
| 3.7 Matériel d'amortissement et de limitation du courant .....                                                  | 90    |
| 3.8 Bobine de décharge .....                                                                                    | 94    |
| 3.9 Transformateur de tension .....                                                                             | 96    |
| 3.10 Transformateur de courant .....                                                                            | 96    |
| 3.11 Protection par relais, matériel de commande et matériel de liaison entre la<br>plate-forme et le sol ..... | 96    |
| 3.12 Essais avant la mise en service .....                                                                      | 96    |
| 3.13 Essais de mise en service .....                                                                            | 98    |
| Annexe A – Bibliographie .....                                                                                  | 100   |

| Clause                                                                                        | Page |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 2.6 Voltage transformer .....                                                                 | 61   |
| 2.6.1 Purpose .....                                                                           | 61   |
| 2.6.2 Classification .....                                                                    | 61   |
| 2.6.3 Tests .....                                                                             | 63   |
| 2.7 Current transformer .....                                                                 | 63   |
| 2.7.1 Purpose .....                                                                           | 63   |
| 2.7.2 Classification .....                                                                    | 63   |
| 2.7.3 Tests .....                                                                             | 63   |
| 2.8 Signal column .....                                                                       | 63   |
| 2.8.1 Purpose .....                                                                           | 63   |
| 2.8.2 Classification .....                                                                    | 65   |
| 2.8.3 Tests .....                                                                             | 65   |
| 2.9 Relay protection, control equipment and platform to ground communication equipment .....  | 65   |
| 2.9.1 Purpose .....                                                                           | 65   |
| 2.9.2 Classification .....                                                                    | 67   |
| 2.9.3 Tests .....                                                                             | 71   |
| <b>SECTION 3: GUIDE</b>                                                                       |      |
| 3.1 General .....                                                                             | 71   |
| 3.2 Specification data for series capacitors .....                                            | 71   |
| 3.3 Protective spark gap .....                                                                | 73   |
| 3.4 Non-linear resistor (varistor) .....                                                      | 75   |
| 3.5 By-pass circuit-breaker .....                                                             | 89   |
| 3.6 Disconnectors .....                                                                       | 91   |
| 3.7 Current-limiting damping equipment .....                                                  | 91   |
| 3.8 Discharge reactor .....                                                                   | 95   |
| 3.9 Voltage transformer .....                                                                 | 97   |
| 3.10 Current transformer .....                                                                | 97   |
| 3.11 Relay protection, control equipment and platform to ground communication equipment ..... | 97   |
| 3.12 Precommissioning tests .....                                                             | 97   |
| 3.13 Commissioning tests .....                                                                | 99   |
| Annex A – Bibliography .....                                                                  | 101  |

# COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

## CONDENSATEURS SÉRIE DESTINÉS À ÊTRE INSTALLÉS SUR DES RÉSEAUX –

### Partie 2: Matériel de protection pour les batteries de condensateurs série

#### AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI, entre autres activités, publie des Normes internationales. Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par les comités d'études 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.
- 3) Ces décisions constituent des recommandations internationales publiées sous forme de normes, de rapports techniques ou de guides et agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.

La Norme internationale CEI 143-2 a été établie par le comité d'études 33 de la CEI: Condensateurs de puissance.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

| DIS       | Rapport de vote |
|-----------|-----------------|
| 33(BC)115 | 33(BC)124       |

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

La CEI 143 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général: Condensateurs de puissance:

- 143: 1992, Condensateurs série destinés à être installés sur des réseaux (une fois révisée, cette norme portera le numéro CEI 143-1);
- 143-2: 1994, Condensateurs série destinés à être installés sur des réseaux – Partie 2: Matériel de protection pour les batteries de condensateurs série

D'autres parties sont à l'étude.



## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**SERIES CAPACITORS  
FOR POWER SYSTEMS –****Part 2: Protective equipment for series  
capacitor banks**

## FOREWORD

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

International Standard IEC 143-2 has been prepared by IEC technical committee 33: Power capacitors.

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

| DIS       | Report on Voting |
|-----------|------------------|
| 33(CO)115 | 33(CO)124        |

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

IEC 143 consists of the following parts, under the general title: Power capacitors:

- 143: 1992, Series capacitors for power systems (when revised, this standard will become IEC 143-1);
- 143-2: 1994, Series capacitors for power systems – Part 2: Protective equipment for series capacitor banks.

Other parts are under consideration.

## CONDENSATEURS SÉRIE DESTINÉS À ÊTRE INSTALLÉS SUR DES RÉSEAUX –

### Partie 2: Matériel de protection pour les batteries de condensateurs série

#### Section 1: Généralités

##### 1.1 Domaine d'application et objet

La présente partie de la CEI 143 concerne les matériels de protection pour les batteries de condensateurs série, de puissance supérieure à 10 Mvar par phase. Le matériel de protection est défini comme étant l'appareillage du circuit principal et du matériel auxiliaire, qui font partie de l'installation des condensateurs série, mais qui sont à l'extérieur de la partie constituée par les condensateurs eux-mêmes. Les recommandations concernant les condensateurs eux-mêmes sont données dans la CEI 143. Le matériel de protection est indiqué aux articles 1.3 et 7.6 de la CEI 143.

Le matériel de protection, visé par la présente norme, comprend les matériels indiqués ci-dessous:

- appareil de protection contre les surtensions,
- éclateur de protection,
- résistance non linéaire (varistance),
- disjoncteur shunt,
- sectionneurs,
- matériel d'amortissement et de limitation du courant,
- bobine de décharge,
- transformateur de tension,
- transformateur de courant,
- colonne de signal,
- protection par relais, matériel de commande et matériels de liaison entre la plate-forme et le sol.

Voir la figure 1

Les principes impliqués par l'utilisation et l'exploitation des condensateurs série sont donnés dans la section 3.

Des exemples de scénarios de défauts sont donnés dans la section 3.

Des exemples de schémas utilisant différents moyens de protection contre les surtensions sont donnés à l'article 2.1.

## **SERIES CAPACITORS FOR POWER SYSTEMS -**

### **Part 2: Protective equipment for series capacitor banks**

#### **Section 1: General**

##### **1.1 Scope and object**

This part of IEC 143 covers protective equipment for series capacitor banks, with a size larger than 10 Mvar per phase. Protective equipment is defined as the main circuit apparatus and ancillary equipment, which are part of a series capacitor installation, but which are external to the capacitor part itself. The recommendations for the capacitor part are given in IEC 143. The protective equipment is mentioned in clauses 1.3 and 7.6 of IEC 143.

The protective equipment, treated in this standard, comprises the following items listed below.

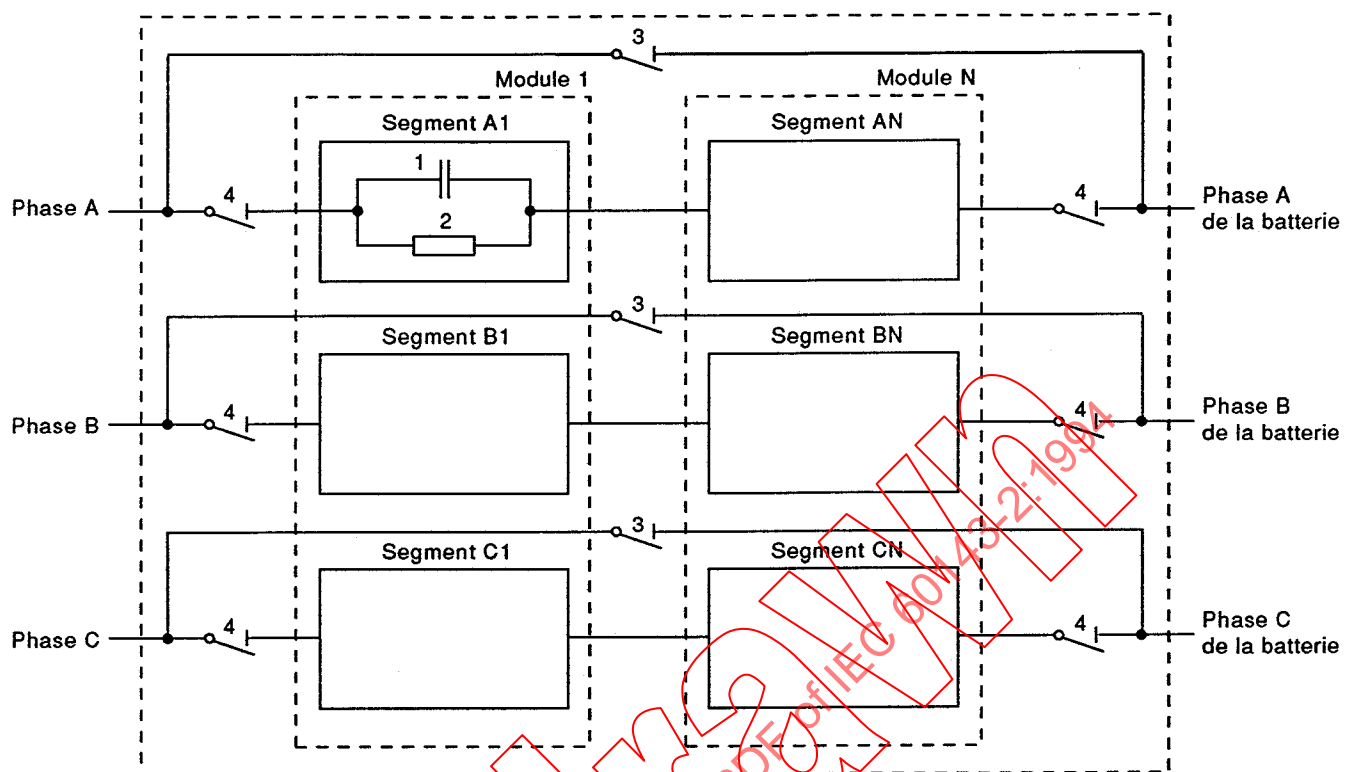
- overvoltage protector,
- protective spark gap,
- non-linear resistor (varistor),
- by-pass circuit-breaker,
- disconnectors,
- current-limiting damping equipment,
- discharge reactor,
- voltage transformer,
- current transformer,
- signal column,
- relay protection, control equipment and platform to ground communication equipment.

See figure 1.

Principles involved in the application and operation of series capacitors are given in section 3.

Examples of fault scenarios are given in section 3.

Examples of protective schemes utilizing different overvoltage protectors are given in clause 2.1.



CEI 673194

- 1 Ensemble de condensateurs unitaires,
- 2 Matériel de protection principal pour un segment,
- 3 Sectionneur shunt,
- 4 Sectionneur série.

**Figure 1 – Nomenclature relative aux batteries de condensateurs série**

NOTE – Les fusibles pour les condensateurs ne sont pas traités dans la présente norme car ils font l'objet de la CEI 143 et de la CEI 595.

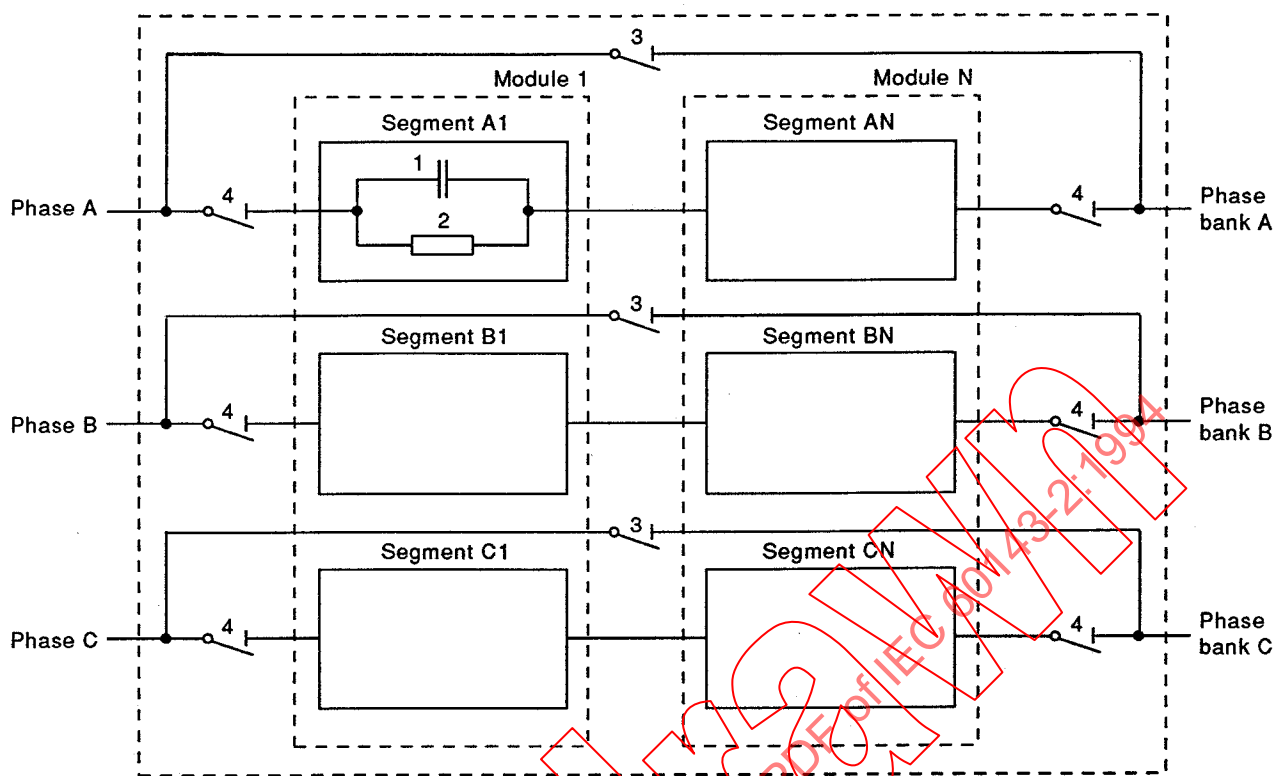
L'objet de la présente norme est de:

- formuler des règles uniformes concernant les performances, les essais et les valeurs assignées,
- d'illustrer les différentes sortes de matériels de protection contre les surtensions,
- de proposer un guide pour l'installation et l'exploitation.

## 1.2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente partie de la CEI 143. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Tout document normatif est sujet à révision et les parties prenantes aux accords fondés sur la présente partie de la CEI 143 sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

Les publications et les rapports de la CEI suivants sont cités dans la présente norme:



IEC 673/94

- 1 Assembly of capacitor units,
- 2 Main protective equipment for a segment,
- 3 By-pass disconnector,
- 4 Series disconnector.

**Figure 1 – Series capacitor bank nomenclature**

NOTE – Capacitor fuses are not treated in this standard, since they are treated in IEC 143 and IEC 595.

The object of this standard is:

- to formulate uniform rules regarding performance, testing and rating,
- to illustrate different kinds of overvoltage protectors,
- to provide a guide for installation and operation.

## 1.2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this part of IEC 143. At the time of publication, the editions indicated were valid. All normative documents are subject to revision, and parties to agreements based on this part of IEC 143 are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents indicated below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

The following IEC publications and reports are quoted in this standard:

CEI 44-4: 1980, *Transformateurs de mesure – Partie 4: Mesure des décharges partielles*

CEI 50(436): 1990, *Vocabulaire électrotechnique international (VEI), Chapitre 436: Condensateurs de puissance*

CEI 56: 1987, *Disjoncteurs à courant alternatif à haute tension*

CEI 60-1: 1989, *Technique des essais à haute tension – Première partie: Définitions et prescriptions générales relatives aux essais*

CEI 68-2-30: 1980, *Essais fondamentaux climatiques et de robustesse mécanique – Deuxième partie: Essais – Essai Db et guide: Essai cyclique de chaleur humide (cycle de 12 + 12 heures)*

CEI 76-1: 1993, *Transformateurs de puissance – Première partie: Généralités*

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

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

CEI 129: 1984, *Sectionneurs et sectionneurs de terre à courant alternatif*

CEI 143: 1992, *Condensateurs série destinés à être installés sur des réseaux*

CEI 185: 1987, *Transformateurs de courant*

CEI 186: 1987, *Transformateurs de tension*

CEI 255-6: 1988, *Relais électriques – Sixième partie: Relais de mesure et dispositifs de protection*

CEI 289: 1988, *Bobines d'inductance*

CEI 383 (Parties 1-2): 1993, *Essais des isolateurs en matière céramique ou en verre destinés aux lignes aériennes de tension nominale supérieure à 1 000 V*

CEI 595: 1977, *Coupe-circuit internes pour condensateurs série*  
Modification 2, 1987

CEI 654 (Parties 1-4): 1979-1987, *Conditions de fonctionnement pour les matériels de mesure et commande dans les processus industriels*

CEI 694: 1980, *Clauses communes pour les normes de l'appareillage à haute tension*

CEI 794-1: 1993, *Câbles à fibres optiques – Première partie: Spécification générique*

CEI 794-2: 1989, *Câbles à fibres optiques – Deuxième partie: Spécifications de produit*

NOTE – Aucune norme n'existe sur les varistances pour les condensateurs série (S.C). Les essais correspondant pour les varistances des condensateurs série sont donc traités dans la présente norme.

IEC 44-4: 1980, *Instrument transformers – Part 4: Measurement of partial discharges*

IEC 50(436): 1990, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV)– Chapter 436: Power Capacitors*

IEC 56: 1987, *High-voltage alternating-current circuit-breakers*

IEC 60-1: 1989, *High-voltage test techniques – Part 1: General definitions and test requirements*

IEC 68-2-30: 1980, *Basic environmental testing procedures – Part 2: Tests – Test Db and guidance: Damp heat, cyclic (12 + 12 hour cycle)*

IEC 76-1, 1993, *Power transformers – Part 1: General*

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

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

IEC 129: 1984, *Alternating current disconnectors and earthing switches*

IEC 143: 1992, *Series capacitors for power systems*

IEC 185: 1987, *Current transformers*

IEC 186: 1987, *Voltage transformers*

IEC 255-6: 1988, *Electrical relays – Part 6: Measuring relays and protection equipment*

IEC 289: 1988, *Reactors*

IEC 383 (Parts 1-2): 1993, *Tests on insulators of ceramic material or glass for overhead lines with a nominal voltage greater than 1 000 V*

IEC 595: 1977, *Internal fuses for series capacitors*  
Amendment 2, 1987

IEC 654 (Parts 1-4): 1979-1987, *Operating conditions for industrial-process measurement and control equipment*

IEC 694: 1980, *Common clauses for high-voltage switchgear and controlgear standards*

IEC 794-1: 1993, *Optical fibre cables – Part 1: Generic specification*

IEC 794-2: 1989, *Optical fibre cables – Part 2: Product specifications*

NOTE – No standard exists for varistors for series capacitors (S.C.). The relevant tests for series capacitors varistors are therefore dealt with in this standard.



### 1.3 Définitions

Pour les besoins de la présente partie de la CEI 143, les définitions suivantes s'appliquent:

**1.3.0 Définitions pour la partie relative aux condensateurs et aux accessoires:** Celles-ci sont conformes à la CEI 143.

**1.3.1 éclateur de secours:** Eclateur supplémentaire qui peut être réglé pour s'amorcer à un niveau de tension supérieur à celui du dispositif de protection principal et qui est normalement mis en parallèle avec celui-ci.

**1.3.2 protection de batterie:** Terme général concernant tous les matériels de protection relatifs à une batterie de condensateurs, ou à une partie de celle-ci.

**1.3.3 courant de shunt:** Courant circulant dans le ou les dispositifs de shuntage installés en parallèle avec les condensateurs série. Ce courant peut être un courant de défaut ou un courant normal.

**1.3.4 dispositif de shuntage:** Dispositif tel qu'un interrupteur, ou un disjoncteur, mis en parallèle avec un condensateur série et son dispositif de protection contre les surtensions, pour dériver le courant du réseau, pendant une durée spécifiée, ou de façon permanente. Outre le fait de shunter le condensateur, ce dispositif peut aussi permettre d'insérer le condensateur dans un circuit et transiter un courant spécifié.

**1.3.5 disjoncteur shunt:** Dispositif pour court-circuiter le condensateur série après que celui-ci ait été shunté par le dispositif de shuntage.

**1.3.6 courant de défaut dérivé:** Courant circulant dans la batterie de condensateurs série shuntée et provoqué par un défaut sur le réseau.

**1.3.7 éclateur shunt (éclateur de protection):** Eclateur ou système d'éclateurs, destiné à protéger le condensateur (de type K) contre les surtensions, ou la résistance non linéaire (de type M) contre les surcharges, en détournant des parties protégées, la charge transmise ou le courant de défaut, pendant une durée spécifiée.

**1.3.8 dispositif de verrouillage pour le shuntage:** Dispositif qui impose que les trois pôles du dispositif de shuntage soient dans la même position d'ouverture ou de fermeture.

**1.3.9 protection de déséquilibre de capacité:** Dispositif pour déceler un déséquilibre de capacité sur une phase, entre groupes de condensateurs, tels que ceux provoqués par le fonctionnement d'un fusible ou le défaut d'un condensateur, et qui déclenche une alarme ou qui ferme le dispositif de shuntage, ou les deux.

**1.3.10 plate-forme de condensateur:** Structure qui supporte les racks de condensateurs ainsi que tous les équipements associés et les dispositifs de protection, et qui est installée sur des isolateurs compatibles avec les prescriptions d'isolement entre phase et terre.

**1.3.11 gradin de condensateurs:** Voir module.

**1.3.12 tension de service en régime permanent (COV = MCOV) ( $U_c$ ) (d'une varistance):** La tension de service en régime permanent (maximale) (COV) est la valeur



### 1.3 Definitions

For the purpose of this part of IEC 143, the following definitions apply:

**1.3.0 definitions of capacitor parts and accessories:** They are in accordance with IEC 143.

**1.3.1 back-up gap:** Supplementary gap which may be set to spark over at a voltage level higher than the protective level of the primary protective device, and which is normally placed in parallel with the primary protective device.

**1.3.2 bank protection:** General term for all protective equipment for a capacitor bank, or part thereof.

**1.3.3 by-pass current:** Current flowing through the by-pass device or devices in parallel with the series capacitor. This current can either be a fault current or a normal current.

**1.3.4 by-pass device:** Device such as a switch or a circuit-breaker used in parallel with a series capacitor and its overvoltage protector to shunt line current for a specified time, or continuously. Besides by-passing the capacitor, this device may also have the capability of inserting the capacitor into a circuit and carrying a specified current.

**1.3.5 by-pass disconnecter:** Device to short-circuit the series capacitor after it is by-passed by the by-pass device.

**1.3.6 by-pass fault current:** Current flowing through the by-passed series capacitor bank caused by a fault on the line.

**1.3.7 by-pass gap (protective gap):** Gap, or system of gaps, to protect either the capacitor (Type K) against overvoltage or the non-linear resistor (Type M) against overload by carrying load or fault current around the protected parts for a specified time.

**1.3.8 by-pass interlocking device:** Device that requires all three poles of the by-pass device to be in the same open or closed position.

**1.3.9 capacitance unbalance protection:** Device to detect unbalance in capacitance between capacitor groups within a phase, such as that caused by blown capacitor fuses or faulted capacitors, and to initiate an alarm or the closing of the by-pass device, or both.

**1.3.10 capacitor platform:** Structure that supports the capacitor/rack assemblies and all associated equipment and protective devices, and is supported on insulators compatible with phase-to-earth insulation requirements.

**1.3.11 capacitor switching step:** See module.

**1.3.12 continuous operating voltage (COV = MCOV) ( $U_c$ ) (of a varistor):** The (Maximum) Continuous Operating Voltage, COV, is the designated permissible r.m.s. value of power

efficace reconnue comme admissible de la tension à fréquence industrielle qui peut être appliquée en permanence aux bornes de la varistance.

#### NOTES

1 La COV d'une varistance pour batterie série est habituellement égale à la tension assignée de la batterie série. Cette définition diffère de celle de la COV pour un parafoudre ZnO, selon la CEI 99-4.

2 Il convient de tenir compte des surtensions de courte durée sur les condensateurs série, telles que les tensions produites par les courants d'oscillation et les courants de surcharge, pour déterminer le niveau de protection de la varistance.

**1.3.13 matériel d'amortissement et de limitation du courant:** Bobine, ou bobine et résistance en parallèle, destinée à limiter l'amplitude du courant et sa fréquence et à produire un amortissement suffisant des oscillations de décharge des condensateurs pendant le fonctionnement de l'éclateur ou du dispositif de shuntage (voir figure 1).

**1.3.14 dispositif de décharge:** Dispositif relié en permanence aux bornes du condensateur ou intégré à celui-ci, capable de réduire la tension résiduelle aux bornes du condensateur après que ce dernier ait été déconnecté du réseau.

**1.3.15 tension de décharge (d'une varistance):** Voir tension résiduelle.

**1.3.16 défaut externe:** Défaut survenant en dehors de la partie de réseau protégée contenant la batterie de condensateurs série.

**1.3.17 défaut à l'intérieur d'une batterie de condensateurs:** Défaut apparaissant au sein d'une batterie de condensateurs (par exemple changements de la capacité à l'intérieur d'un segment, défaut sur une plate-forme, etc). Il convient que de tels défauts soient traités par la protection de la batterie de condensateurs série et éliminés sans coupure du réseau.

**1.3.18 protection contre un défaut de plate-forme:** Dispositif destiné à détecter un défaut d'isolement sur la plate-forme produisant la circulation d'un courant entre les éléments de circuit transportant normalement le courant et la plate-forme, et destiné à déclencher la fermeture du dispositif de shuntage.

**1.3.19 insertion:** Ouverture du dispositif de shuntage afin de mettre les condensateurs série en service avec ou sans circulation d'un courant de charge.

**1.3.20 courant d'insertion:** Valeur efficace du courant en régime permanent circulant à travers le condensateur série après l'ouverture du dispositif de shuntage.

**1.3.21 tension d'insertion:** Valeur efficace de la tension en régime permanent apparaissant aux bornes du condensateur série après coupure du courant dérivé, après l'ouverture du dispositif de shuntage.

**1.3.22 défaut interne:** Défaut survenant dans la partie du réseau protégée contenant la batterie de condensateurs série.

**1.3.23 niveau d'isolement:** Combinaison des valeurs des tensions d'essai (à la fois à la fréquence industrielle et en ondes de choc) qui caractérise l'isolement de la batterie de condensateurs en regard de son aptitude à supporter les contraintes électriques existant entre la plate-forme et la terre, entre phases, entre les bornes de tous les équipements et entre les équipements montés sur la plate-forme et la plate-forme elle-même.

r.m.s. frequency voltage that may be applied continuously between the varistor terminals.

#### NOTES

1 COV of the series capacitor varistor is usually equal to the rated voltage of the series capacitor. This definition is different from the definition of COV for a ZnO arrester according to IEC 99-4.

2 Consideration to short-time overvoltages of the series capacitor, such as voltages produced by swing currents and overload currents, should be taken into account when the protective level of the varistor is determined.

**1.3.13 current-limiting damping equipment:** Reactor or a reactor with a parallel connected resistor to limit the current magnitude and frequency and to provide a sufficient damping of the oscillation of the discharge of the capacitors upon operation of the by-pass gap or the by-pass device (see figure 1).

**1.3.14 discharge device:** Device permanently connected across the terminals of the capacitor or built into the capacitor unit, capable of reducing the residual voltage across the capacitor after the capacitor has been disconnected from the supply.

**1.3.15 discharge voltage (of a varistor):** See residual voltage.

**1.3.16 external fault:** Line fault occurring outside the protected line section containing the series capacitor bank.

**1.3.17 fault within the capacitor bank:** Fault appearing within the capacitor bank (for example changes of the capacitance within a segment, platform fault, etc.). Such faults should be handled by the protection of the series capacitor bank and cleared without the interruption of the transmission line.

**1.3.18 fault-to-platform protection:** Device to detect insulation failure on the platform that results in current flowing from normal current-carrying circuit elements to the platform and to initiate the closing of the by-pass device.

**1.3.19 insertion:** Opening of the by-pass device to place the series capacitor in service with or without load current flowing.

**1.3.20 insertion current:** Steady-state root-mean-square current that flows through the series capacitor after the by-pass device has opened.

**1.3.21 insertion voltage:** Steady-state root-mean-square voltage appearing across the series capacitor upon interruption of the by-pass current with the opening of the by-pass device.

**1.3.22 internal fault:** Line fault occurring within the protected line section containing the series capacitor bank.

**1.3.23 insulation level:** Combination of test voltage values (both power-frequency and impulse) which characterizes the insulation of the capacitor bank with regard to its capability of withstanding the electric stresses between platform and earth, between phases, between terminals of all equipment and between platform-mounted equipment and the platform.

**1.3.24 courant de fuite (de la varistance):** Courant circulant en permanence dans la varistance quand celle-ci est alimentée à la tension assignée à fréquence industrielle.

NOTE – Pour la COV, et pour une température d'élément de varistance égale à la température ambiante, le courant de fuite est habituellement capacitif.

**1.3.25 tension limite ( $U_{lim}$ ):** Tension maximale instantanée apparaissant entre les bornes du condensateur divisée par  $\sqrt{2}$ . Cette tension apparaît soit pendant le fonctionnement de la varistance soit immédiatement avant l'amorçage de l'éclateur.

**1.3.26 protection contre la perte de commande de puissance:** Moyen pour provoquer la fermeture du dispositif de shuntage dès la perte de commande normale de puissance.

**1.3.27 espace principal:** Partie de l'éclateur de protection qui doit supporter le courant de défaut pendant une durée spécifiée, comprenant deux électrodes ou plus, pour service intense.

**1.3.28 MCOV:** Voir tension de service en régime permanent (d'une varistance).

**1.3.29 varistance à oxyde métallique:** Voir varistance.

**1.3.30 élément de varistance à oxyde métallique:** Voir élément de varistance.

**1.3.31 colonne de varistances à oxyde métallique:** Voir colonne de varistance.

**1.3.32 groupe de varistances à oxyde métallique:** Voir groupe de varistances.

**1.3.33 unité de varistances à oxyde métallique:** Voir unité de varistance.

**1.3.34 tension minimale de référence  $U_{MRef}$  (d'une varistance):** Tension minimale de référence admissible d'une varistance complète ou d'une unité de varistances, mesurée à une température spécifiée, typiquement  $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$ . (voir la figure 3 et les commentaires dans la section 3)

**1.3.35 module (gradin de condensateurs):** Unité triphasée comprenant un segment de condensateurs (ou plusieurs) par phase avec la possibilité d'enclencher les dispositifs de shuntage monophasés (voir la figure 1).

**1.3.36 résistance non linéaire (varistance):** Dispositif agissant comme protection d'un condensateur contre les surtensions, composé de résistances dont une a une valeur variant de façon non linéaire avec la tension (normalement varistances à oxyde métallique).

**1.3.37 protection contre les surtensions:** Dispositif à action rapide limitant la tension instantanée aux bornes des condensateurs série à une valeur admissible, en cas de défaut ou de conditions anormales du réseau.

**1.3.38 alimentation de commande de la plate-forme:** Source(s) d'énergie disponible(s) au potentiel de la plate-forme pour assurer les fonctions d'exploitation et de commande.

**1.3.39 équipements de communication entre la plate-forme et le sol:** Dispositifs destinés à transmettre les signaux d'exploitation, de commande et d'alarme entre la plate-forme et le sol lors de l'exploitation ou du fonctionnement des dispositifs de protection.

**1.3.24 leakage current (of a varistor):** The leakage current is the continuous current flowing through the varistor when energized at a specified power-frequency voltage.

NOTE – At COV, and at a varistor element temperature equal to normal ambient temperature, the leakage current is usually capacitive.

**1.3.25 limiting voltage ( $U_{lim}$ ):** The maximum instantaneous voltage appearing between the capacitor terminals divided by  $\sqrt{2}$ . This voltage appears either during operating of the varistor or immediately before ignition of the spark gap.

**1.3.26 loss-of-control-power protection:** A means to initiate the closing of the by-pass device upon the loss of normal control power.

**1.3.27 main gap:** That part of the protective spark gap, that shall carry the fault current during a specified time, comprising two or more heavy-duty electrodes.

**1.3.28 MCOV:** See continuous operating voltage (of a varistor).

**1.3.29 metal-oxide varistor:** See varistor.

**1.3.30 metal-oxide varistor element:** See varistor element.

**1.3.31 metal-oxide varistor column:** See varistor column.

**1.3.32 metal-oxide varistor group:** See varistor group.

**1.3.33 metal-oxide varistor unit:** See varistor unit.

**1.3.34 minimum reference voltage  $U_{MRef}$  (of a varistor):** The minimum permissible reference voltage for a complete varistor or varistor unit measured at a specified temperature, typically  $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$  (see figure 3 and comments in section 3).

**1.3.35 module (capacitor switching step):** A three-phase function unit, that consists of one capacitor segment (possibly several) per phase with provision for interlocked operation of the single-phase by-pass devices (see figure 1).

**1.3.36 non-linear resistor (varistor):** A device to act as overvoltage protection of the capacitor consisting of resistors with a non-linear voltage-dependent resistance (normally metal-oxide varistors).

**1.3.37 overvoltage protection:** A quick-acting device which limits the instantaneous voltage across the series capacitor to a permissible value at power-system faults or other abnormal network conditions.

**1.3.38 platform control power:** Energy source(s) available at platform potential for performing operational and control functions.

**1.3.39 platform-to-ground communication equipment:** Devices to transmit operating, control and alarm signals between the platform and ground level, as a result of operation or protective actions.



**1.3.40 éclateur de protection:** Voir éclateur shunt.

**1.3.41 niveau de protection:** Tension maximale instantanée apparaissant aux bornes du condensateur immédiatement avant ou pendant le fonctionnement de l'éclateur shunt (schéma de l'éclateur) ou pour un courant spécifié instantané (schéma de la varistance). En pratique, le niveau de protection est égal à  $\sqrt{2} U_{\text{lim}}$ .

**1.3.42 énergie assignée de courte durée (d'une varistance):** Energie maximale que la varistance peut absorber pendant une courte durée, sans subir de dommage par suite du choc thermique. L'énergie de courte durée s'exprime habituellement en J, kJ ou MJ.

**1.3.43 courant de référence (d'une varistance):** Valeur crête du courant de la composante résistive à fréquence industrielle, utilisée pour déterminer la tension de référence de la varistance. Le courant de référence est choisi dans la zone de transition entre le courant de fuite et le courant de conduction, typiquement dans la gamme 1 mA à 20 mA pour une colonne simple de varistances. (voir la figure 3 de la section 3).

**1.3.44 tension de référence (d'une varistance):** Valeur crête de la tension à fréquence industrielle divisée par  $\sqrt{2}$ , mesurée pour le courant de référence de la varistance.

NOTE – La mesure de la tension de référence est nécessaire pour choisir correctement des échantillons pour l'essai de type.

**1.3.45 réinsertion:** Rétablissement dans le condensateur série du courant de charge provenant du circuit de shuntage (voir la figure 1).

**1.3.46 courant de réinsertion:** Courant transitoire circulant à travers le condensateur série pendant la réinsertion.

**1.3.47 tension de réinsertion:** Tension transitoire apparaissant aux bornes du condensateur série pendant la réinsertion.

**1.3.48 tension résiduelle (d'un condensateur):** Tension persistant entre les bornes d'un condensateur à un moment donné après la déconnexion de l'alimentation.

**1.3.49 tension résiduelle (d'une varistance):** Valeur crête de la tension apparaissant entre les bornes d'une varistance pendant le passage du courant.

**1.3.50 fraction (d'une varistance):** Partie complète d'une varistance, correctement assemblée, nécessaire pour représenter le comportement d'une varistance complète lors d'un essai particulier. Une fraction de varistance n'est pas nécessairement un élément de varistance.

**1.3.51 segment:** Assemblage monophasé de groupes de condensateurs ayant ses propres dispositifs de limitation de tension et ses propres relais pour protéger les condensateurs des surtensions et des surcharges (voir la figure 1).

**1.3.52 sectionneur série:** Dispositif pour débrancher du réseau les condensateurs série shuntés, par exemple pour l'entretien.

**1.3.53 protection contre les sous-harmoniques:** Dispositif détectant les courants sous-harmoniques de fréquence et de durée spécifiées, et déclenchant un signal d'alarme ou des actions correctrices, habituellement en shuntant la batterie de condensateurs.

1.3.40 **protective gap:** See by-pass gap.

1.3.41 **protective level:** The maximum instantaneous voltage appearing across the capacitor immediately before or during operation of the by-pass gap (gap-scheme) or at a specified instantaneous current through the varistor (varistor-scheme). In practice, the protective level is equal to  $\sqrt{2} U_{\text{lim}}$ .

1.3.42 **rated short-time energy (of a varistor):** The maximum energy the varistor can absorb within a short period of time, without being damaged due to thermal shock. The short-time energy is usually expressed in J, kJ or MJ.

1.3.43 **reference current (of a varistor):** The peak value of the resistive component of a power-frequency current used to determine the reference voltage of the varistor. It is chosen in the transition area between the leakage current and the conduction current region, typically in the range 1 mA to 20 mA for a single varistor column (see figure 3 in section 3).

1.3.44 **reference voltage (of a varistor):** The peak value of power-frequency voltage divided by  $\sqrt{2}$  measured at the reference current of the varistor.

NOTE – Measurement of the reference voltage is necessary for the selection of correct test samples in the type testing.

1.3.45 **reinsertion:** The restoration of load current to the series capacitor from the by-pass path (see figure 1).

1.3.46 **reinsertion current:** The transient current flowing through the series capacitor during the reinsertion.

1.3.47 **reinsertion voltage:** The transient voltage appearing across the series capacitor during reinsertion.

1.3.48 **residual voltage (of a capacitor):** The voltage remaining between terminals of a capacitor at a given time following disconnection of the supply.

1.3.49 **residual voltage (of a varistor):** The peak value of voltage that appears between the terminals of a varistor during passage of current.

1.3.50 **section (of a varistor):** A complete, suitably assembled part of a varistor necessary to represent the behaviour of a complete varistor with respect to a particular test. A section of a varistor is not necessarily a unit of a varistor.

1.3.51 **segment:** Single-phase assembly of groups of capacitors which has its own voltage-limiting devices and relays to protect the capacitors from overvoltages and overloads (see figure 1).

1.3.52 **series disconnect:** Devices to disconnect the by-passed series capacitor from the line, for example for maintenance.

1.3.53 **subharmonic protection:** A device that detects subharmonic current of specified frequency and duration and initiates an alarm signal or corrective action, usually by-passing the capacitor bank.



**1.3.54 protection contre le maintien du courant de shunt:** Moyen détectant l'écoulement prolongé d'un courant dans le système de protection contre les surtensions et déclenchant la fermeture du dispositif de shuntage.

**1.3.55 protection contre le maintien des surcharges:** Dispositif détectant les tensions des condensateurs supérieures à la valeur assignée mais inférieures au niveau de fonctionnement du système de protection et déclenchant un signal d'alarme ou des actions correctrices.

**1.3.56 surtension temporaire:** Tension temporaire à fréquence industrielle, supérieure à la tension assignée permanente du condensateur série.

**1.3.57 fraction thermique (d'une varistance):** Fraction, assemblée dans une enveloppe adéquate, ayant la même dissipation thermique que la varistance réelle.

**1.3.58 emballement thermique (d'une varistance):** Terme utilisé pour décrire le cas d'une varistance lorsque les pertes en régime établi augmentent régulièrement en raison de l'augmentation de température, lorsque la varistance est sous tension. La chaleur générée par les pertes des éléments de la varistance dépasse les possibilités de refroidissement de l'enveloppe, ce qui provoque un échauffement supplémentaire et finalement conduit à la destruction de la varistance.

**1.3.59 stabilité thermique (d'une varistance):** Terme utilisé pour décrire le cas d'une varistance après un échauffement provoqué par une décharge d'énergie et/ou une surtension temporaire, lorsque la varistance est alimentée à sa COV, dans des conditions de température ambiante spécifiées et quand la température des éléments de la varistance décroît avec le temps.

Cela est le contraire de «l'emballement thermique».

**1.3.60 circuit de déclenchement:** Dispositif pour déclencher l'amorçage de l'éclateur principal à un niveau de tension spécifié ou par une commande externe.

**1.3.61 varistance:** Terme utilisé quand il n'est pas nécessaire de distinguer entre un élément de varistance, une unité de varistances ou un groupe de varistances.

**1.3.62 élément de varistance:** Corps cylindrique en céramique, avec des faces extérieures métallisées parallèles, constituant le plus petit composant actif utilisé dans des assemblages pour varistances plus importants.

**1.3.63 colonne de varistances:** Colonne comprenant « $n$ » éléments de varistance raccordés en série.

**1.3.64 unité de varistances:** Assemblage d'éléments de varistance, comprenant une ou plusieurs colonnes montées dans une enveloppe adéquate.

**1.3.65 groupe de varistances:** Groupe monophasé d'unités de varistances connectées en parallèle et/ou en série, soigneusement assemblées les unes aux autres, pour former un dispositif de limitation contre les surtensions, pour un condensateur série.

**1.3.54 sustained by-pass current protection:** A means to detect prolonged current flow through the overvoltage protector and to initiate closing of the by-pass device.

**1.3.55 sustained overload protection:** A device that detects capacitor voltage above rating but below the operating level of the overvoltage protector and initiates an alarm signal or corrective action.

**1.3.56 temporary overvoltage:** A temporary power-frequency voltage higher than the continuous rated voltage of the series capacitor.

**1.3.57 thermal section (of a varistor):** A section assembled in a suitable housing with the same heat transfer capability as the actual varistor.

**1.3.58 thermal runaway (of a varistor):** Varistor condition when the sustained power losses of the varistor elements steadily increase due to increased temperature, when the varistor is energized. The heat generated by the power losses of the varistor elements exceeds the cooling capability of the varistor housing, which causes further temperature rise and finally leads to a varistor failure.

**1.3.59 thermal stability (of a varistor):** Varistor condition after a temperature rise, due to an energy discharge and/or temporary overvoltage, when the varistor is energized at its COV under specified ambient conditions and the temperature of the varistor elements decreases with time.

It is the opposite of a "thermal runaway".

**1.3.60 trigger circuit:** A device to ignite the main gap at a specified voltage level or by external command.

**1.3.61 varistor:** Term used, when it is not necessary to distinguish between varistor element, varistor unit or varistor group.

**1.3.62 varistor element:** A dense ceramic cylindrical body, with metallized parallel end surfaces, constituting the smallest active component used in larger varistor assemblies.

**1.3.63 varistor column:** A column comprising " $n$ " varistor elements connected in series.

**1.3.64 varistor unit:** An assembly of varistor elements, comprising one or several varistor columns mounted in a suitable housing.

**1.3.65 varistor group:** Single-phase group of varistor units connected in parallel and/or in series, carefully matched together, to form an overvoltage-limiting device for a series capacitor.

## Section 2: Prescriptions pour la qualité et les essais

### 2.1 Protection contre les surtensions

#### a) But

Le système de protection contre les surtensions est un dispositif qui limite rapidement la tension instantanée aux bornes de la batterie série à une valeur admissible, faute de quoi cette valeur serait dépassée par suite d'un défaut dans l'alimentation ou par suite de conditions inhabituelles dans le réseau.

#### b) Classification

Quatre cas usuels sont les suivants:

- éclateur de protection simple;
- deux éclateurs de protection individuels formant un système double d'éclateurs;
- résistance non linéaire;
- résistance non linéaire avec un éclateur shunt.

Voir la figure 2.

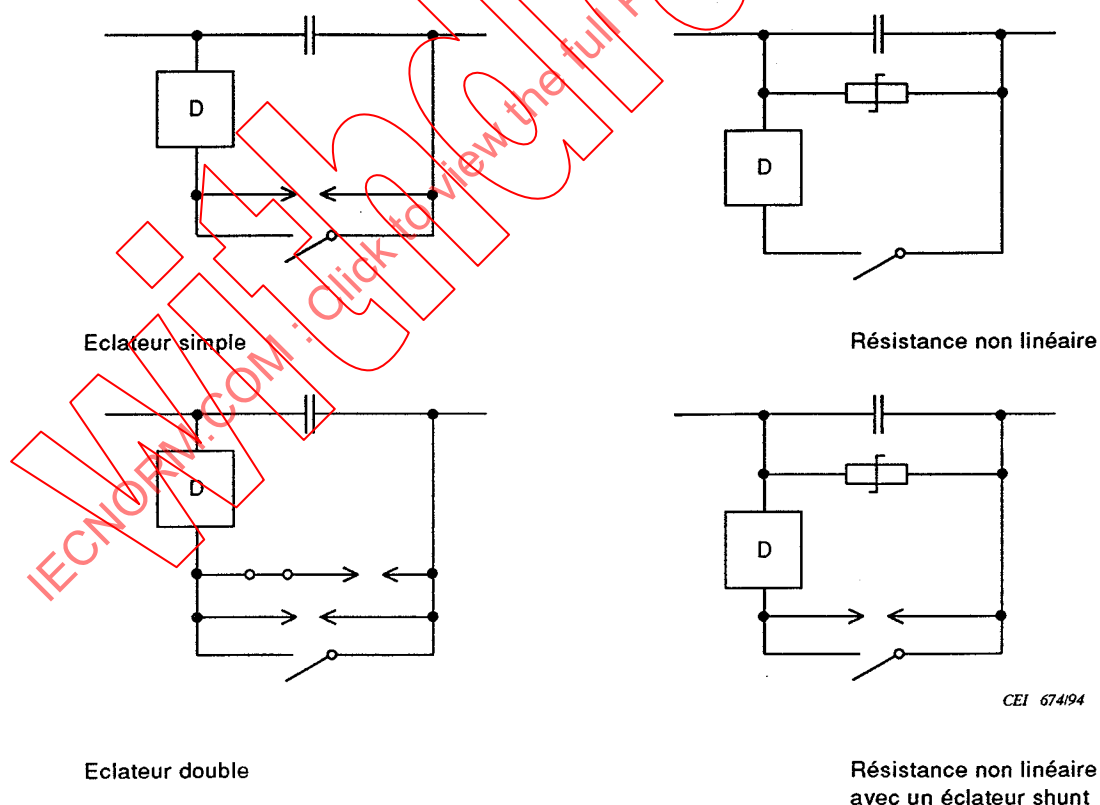


Figure 2 – Classification des systèmes de protection contre les surtensions

## Section 2: Quality requirements and tests

### 2.1 Overvoltage protector

#### a) Purpose

The overvoltage protector is a quick-acting device which limits the instantaneous voltage across the series capacitor to a permissible value when that value would otherwise be exceeded as a result of a power-system fault or other abnormal network condition.

#### b) Classification

Four common alternatives are listed below.

- single-protective spark gap;
- two different set single-protective spark gaps forming a dual-gap system;
- non-linear resistor;
- non-linear resistor with by-pass gap.

See figure 2.

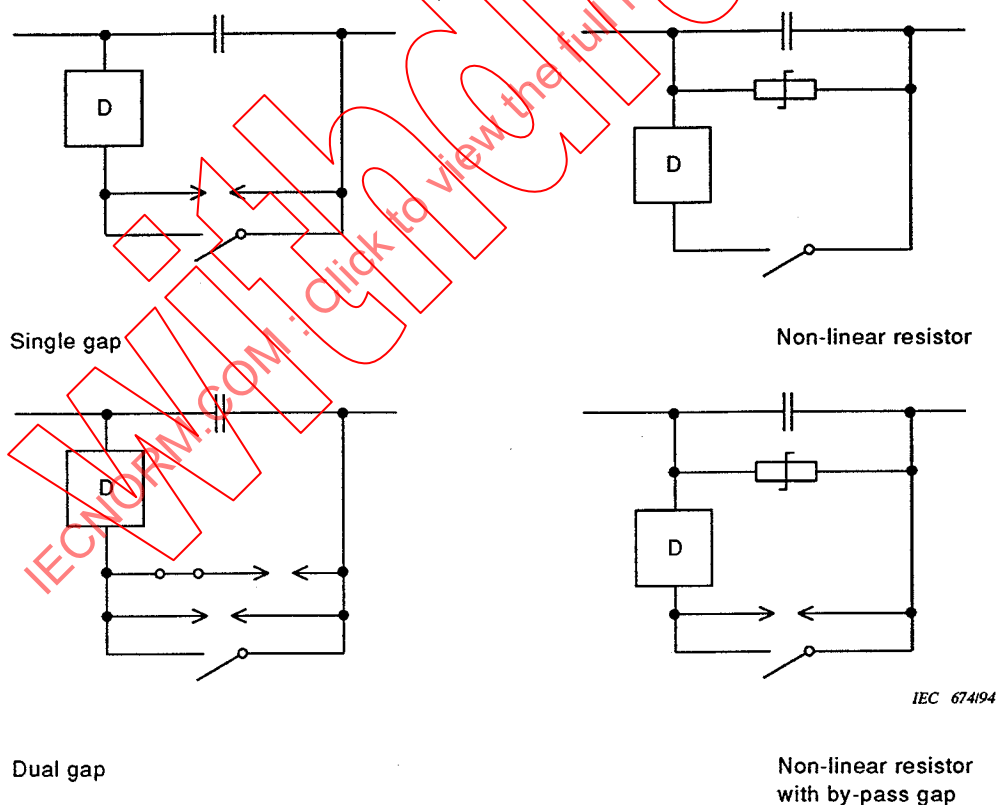


Figure 2 – Classification of overvoltage protection

### 2.1.1 *Eclateur de protection*

#### 2.1.1.1 *But*

Le but principal de l'éclateur de protection est d'agir pour protéger les condensateurs (type K, type L) contre les surtensions. Pour certaines applications, le but de l'éclateur est d'agir comme protection de secours pour les condensateurs (type K) ou comme protection pour la résistance non linéaire (type M). On fait référence au 7.6.2 de la CEI 143.

#### 2.1.1.2 *Classification*

Les éclateurs de protection peuvent être classés, en fonction de leur principe de fonctionnement, comme suit:

- type K – éclateur avec arc maintenu,
- type L – éclateur avec arcs répétitifs.

En fonction de leur principe de déclenchement, c'est-à-dire comment l'amorçage de l'espace principal est provoqué, les deux principes suivants peuvent être retenus:

- autodéclenchement;
- déclenchement forcé.

Voir plus en détail le paragraphe 7.6.2 de la CEI 143.

#### 2.1.1.3 *Essais*

Pour des raisons pratiques, on pourrait réaliser séparément certains essais sur l'éclateur principal et sur le circuit de déclenchement. Cependant un essai de type sur l'éclateur dans sa totalité est également nécessaire. L'essai doit permettre de vérifier que l'éclateur complet, comprenant l'éclateur principal et l'éclateur de déclenchement fonctionne correctement.

##### 2.1.1.3.1 *Eclateur principal*

##### 2.1.1.3.1.1 *Essais de type*

##### *Essai de courant de défaut*

On doit tenir compte des facteurs suivants:

- on ne doit réaliser l'essai qu'une fois;
- l'amplitude du courant d'essai doit être conforme à la valeur efficace du courant maximal de défaut à fréquence industrielle traversant l'éclateur de protection,
- la durée du courant d'essai doit être conforme à celle correspondant au courant de défaut traversant l'éclateur à l'emplacement de la batterie de condensateurs série. On doit prendre en compte les situations de défaut et la durée maximale d'élimination du défaut par un disjoncteur de secours. (Des situations typiques de défaut sont données à la section 3 du guide);
- critère d'acceptation de l'essai: ni érosion excessive ni changement significatif de la tension d'amorçage dans l'éclateur ne doivent apparaître.

### 2.1.1 *Protective spark gap*

#### 2.1.1.1 *Purpose*

The main purpose of the protective spark gap is to act as overvoltage protector for the capacitor (type K, type L). In certain applications, the purpose of the spark gap is to act as back-up protection for the capacitor (type K) or protection for the non-linear resistor (type M). Reference is made to subclause 7.6.2 of IEC 143.

#### 2.1.1.2 *Classification*

The protective spark gaps can be classified as follows, with regard to the working principle:

- type K – spark gap with sustained arc
- type L – spark gap with repetitive arc

With regard to triggering principles, i.e. how spark over of the main gap is initiated, the following two principles can be distinguished:

- self triggering;
- forced triggering

See further IEC 143, subclause 7.6.2.

#### 2.1.1.3 *Tests*

For practical reasons, certain tests could be performed on the main gap and trigger circuit separately. However, a type test on the total gap assembly is also necessary. The test shall verify that the complete gap, comprising main gap and trigger gap operates correctly.

##### 2.1.1.3.1 *Main gap*

##### 2.1.1.3.1.1 *Type tests*

##### *Fault current test*

The following factors shall be considered:

- the test shall be made only once;
- magnitude of test current shall conform with maximum power-frequency fault current (r.m.s.) through the protective gap;
- duration of test current shall conform with duration of fault current through the gap at the series capacitor bank location. Fault scenarios and maximum back-up line circuit-breaker fault-clearing time shall be taken into account (typical fault scenarios are given in section 3 of the guide);
- criteria for acceptance of the tests: No excessive erosion nor significant change in spark over voltage of the gap shall occur.

### *Essai de courant de décharge*

Les points suivants doivent être pris en compte:

- l'amplitude du courant d'essai doit être égale à la somme de la composante du courant de décharge à haute fréquence pour un réglage maximal de l'éclateur et de la valeur instantanée de la composante du courant de défaut à fréquence industrielle y compris l'offset;
- la fréquence du courant d'essai doit être conforme à la fréquence du courant de décharge de la batterie de condensateurs série réelle. Une demi-période de courant à 50 Hz ou 60 Hz provenant d'un générateur de court-circuit peut également être utilisée. Dans ce cas, on doit réduire de 10 % l'amplitude du courant. On considère qu'un tel essai est plus sévère qu'un essai à la fréquence de décharge réelle;
- l'essai de courant de décharge doit normalement être répété 10 fois. Cependant, si l'on prévoit que les condensateurs en service seront soumis à des décharges fréquentes, le nombre de décharges peut être porté à 20, par accord entre fournisseur et acheteur (Voir CEI 143, article 2.13, note 2);
- critère d'acceptation de l'essai: Aucun dommage mécanique, ni érosion excessive, ni changement notable de la tension d'amorçage de l'éclateur ne doivent se produire.

### *Essai de tension de rétablissement*

Les points suivants doivent être pris en compte:

- l'éclateur doit être soumis à des courants de défaut, à fréquence industrielle, d'amplitude(s) et de durée(s) spécifiée(s) correspondant aux défauts de ligne externes et/ou aux défauts de ligne internes. La tension de tenue en fonction du temps doit être enregistrée, pour un éclateur donné, et à des intervalles de temps spécifiés;
- l'essai doit démontrer que l'éclateur supporte une tension de rétablissement suffisante, en prenant en compte le circuit de déclenchement, afin de permettre la réinsertion des condensateurs après un réenclenchement positif du réseau.

Aptitude d'autorétablissement d'un éclateur s'autodésamorçant:

L'éclateur doit être capable de réinsérer le condensateur avec un courant égal à 150 % de la valeur assignée, en quatre périodes.

#### *2.1.1.3.1.2 Essais individuels*

- vérification des dimensions;
- essai individuel et vérification des composants de l'éclateur, par exemple les électrodes, les enveloppes en porcelaine, les composants actifs, les traversées et les isolateurs support, conformément aux normes CEI appropriées.

#### *2.1.1.3.2 Circuit de déclenchement*

##### *2.1.1.3.2.1 Essais de type du circuit à autodéclenchement*

Un essai individuel doit être réalisé avant de procéder à l'essai de type.

#### *Essai d'amorçage*

L'essai doit démontrer que l'amorçage se produit dans la plage de tolérance spécifiée.



### *Discharge current test*

The following factors shall be considered:

- the magnitude of the test current shall be the calculated sum of the high-frequency discharge current component at maximum gap setting and the instantaneous value of the power-frequency fault current component including offset;
- test current frequency shall conform with the discharge current frequency of the actual series capacitor bank. A 50 Hz or 60 Hz half-current wave from a short-circuit generator may also be used. In that case, the current amplitude shall be reduced by 10 %. Such a test is considered more severe compared to a discharge test at the actual discharge frequency;
- the discharge current test shall normally be repeated 10 times. However, if the capacitor in service is expected to be subjected to frequent discharges, the number of discharges may, by agreement, be increased to 20 (see IEC 143, clause 2.13, note 2);
- criteria for acceptance of the test: no mechanical damage, excessive erosion, nor significant change in spark over voltage of the gap shall occur.

### *Recovery voltage test*

The following factors shall be considered:

- the gap shall be exposed to power-frequency fault currents of specified magnitude(s) and duration(s) corresponding to external line faults and/or internal line faults. The withstand voltage versus time for the gap shall be recorded at specified time intervals;
- the test shall demonstrate that the gap has sufficient recovery voltage withstand taking into account the trigger circuit, to allow the capacitor to be reinserted after a successful line auto reclosure.

Self-clearing ability of self-extinguishing gap:

The gap shall be able to reinsert the capacitor at 150 % of rated current within four cycles.

#### *2.1.1.3.1.2 Routine tests*

- dimensional inspection;
- routine test and inspection of spark-gap components, for example electrodes, porcelain housings, grading components, bushings and support insulators, according to relevant IEC standards.

#### *2.1.1.3.2 Trigger circuit*

##### *2.1.1.3.2.1 Self-triggered circuit type tests*

A routine test shall be performed before the type test is carried out.

##### *spark over test*

The test shall demonstrate that spark over occurs within the specified tolerance range.

### *Essai d'environnement*

L'essai doit démontrer que l'éclateur fonctionne correctement dans sa plage de tolérance, pour des conditions d'environnement spécifiées, telle que la température, la pression atmosphérique, etc. (voir CEI 60-1).

#### *2.1.1.3.2.2 Essai individuel du circuit à autodéclenchement*

- essai diélectrique d'amorçage à fréquence industrielle ou essai à la tension de référence à fréquence industrielle, selon le cas;
- mesure du courant de répartition ou du courant de fuite (si cela s'applique);
- vérification des décharges internes (si cela s'applique);
- essai de remplissage du gaz et essai de fuite.

#### *2.1.1.3.2.3 Essai de type du circuit à déclenchement forcé*

Voir 2.1.1.3.3 ci-après.

#### *2.1.1.3.2.4 Essai individuel du circuit à déclenchement forcé*

- essai diélectrique d'amorçage à fréquence industrielle ou essai à la tension de référence à fréquence industrielle, selon le cas;
- mesure du courant de répartition ou du courant de fuite (si cela s'applique);
- vérification des décharges internes (si cela s'applique);
- essai de remplissage du gaz et essai de fuite.

#### *2.1.1.3.3 Essai de l'éclateur complet (essai de type)*

L'essai doit vérifier que l'éclateur complet, comprenant l'éclateur principal et le circuit de déclenchement, fonctionne correctement. Le circuit d'essai doit comprendre l'éclateur complet et, si cela s'applique, une varistance et un condensateur afin de représenter la forme d'onde de tension typique créée par la varistance. Des enregistrements oscillographiques doivent être réalisés.

### *2.1.2 Résistance non linéaire (varistance)*

#### *2.1.2.1 But*

Le but principal d'une résistance non linéaire est d'agir comme un système de protection contre les surtensions pour les condensateurs (type M). Voir la CEI 143, paragraphe 7.6.2.

#### *2.1.2.2 Classification*

Selon leur principe de fonctionnement, on peut classer les varistances comme suit:

- varistance sans éclateur shunt;
- varistance avec éclateur shunt.

Les essais pour les deux types sont identiques.

### *Environmental test*

The test shall demonstrate that the gap works correctly within its tolerance range, for the specified ambient conditions, such as temperature, air pressure, etc. (see IEC 60-1).

#### *2.1.1.3.2.2 Self-triggered circuit routine test*

- power-frequency spark over voltage test or power-frequency reference voltage test, whichever is applicable;
- measurement of grading current or leakage current (if applicable);
- check of internal corona (if applicable);
- gas filling and leakage test.

#### *2.1.1.3.2.3 Forced-triggered circuit type test*

See 2.1.1.3.3 below.

#### *2.1.1.3.2.4 Forced-triggered circuit routine test*

- power-frequency spark over voltage test or power-frequency reference voltage test, whichever is applicable;
- measurement of grading current or leakage current (if applicable);
- check of internal corona (if applicable);
- gas filling and leakage test.

#### *2.1.1.3.3 Complete gap test (type test)*

The test shall verify, that the complete gap, comprising main gap and trigger gap operates correctly. The test circuit shall comprise the complete gap, and if applicable a varistor and a capacitor in order to represent the typical voltage waveform caused by the varistor. Oscillographic recordings shall be made.

### *2.1.2 Non-linear resistor (varistor)*

#### *2.1.2.1 Purpose*

The main purpose of the non-linear resistor is to act as overvoltage protector for the capacitor (type M). See IEC 143, subclause 7.6.2.

#### *2.1.2.2 Classification*

The varistors can be classified as follows, with regard to the working principle:

- varistor without a by-pass gap;
- varistor with a by-pass gap.

The tests for the two types are the same.

### 2.1.2.3 Essais

#### 2.1.2.3.1 Essais de type

##### 2.1.2.3.1.1 Echantillons

Sauf indication contraire, tous les essais de type doivent être réalisés sur trois fractions d'éléments de varistance neufs qui n'ont jamais été soumis au moindre essai sauf pour des besoins d'évaluation.

Les facteurs d'échelle en tension, courant et énergie utilisés pour déterminer les contraintes représentatives à appliquer sur les échantillons sont décrits plus en détail dans la section 3.

##### 2.1.2.3.1.2 Essai de tension résiduelle

L'objectif de l'essai de tension résiduelle est de déterminer le rapport existant entre les tensions résiduelles, à des courants d'impulsion donnés et pour le niveau de tension contrôlé dans l'essai individuel. Voir la section 3.

###### 2.1.2.3.1.2.1 Essai de tension résiduelle à fréquence industrielle

L'essai de tension résiduelle à fréquence industrielle doit être réalisé sur des fractions avec une tension de référence d'au moins 3 kV. Les fractions doivent comprendre une seule colonne de varistance. Les éléments de varistance peuvent ne pas être munis de leur enveloppe, et ils doivent être exposés à l'air libre, à une température ambiante de  $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$ .

Une tension d'essai à fréquence industrielle doit être appliquée à la fraction. Afin d'éviter les détériorations pour des intensités élevées, on ne doit appliquer la tension que pendant une demi-période ou pendant quelques périodes. En changeant l'amplitude de la tension on doit contrôler que la tension résiduelle de la fraction est approximativement 0,5, 1,0, et 1,5 fois celle du courant maximal prévu pour la varistance complète, divisée par le facteur d'échelle  $n_c$  du courant.

NOTE – Comme il peut être difficile de contrôler avec précision l'amplitude du courant, la tension résiduelle du courant maximal présumé peut être déterminée à partir d'une courbe donnant la tension résiduelle en fonction du courant.

La tension résiduelle du groupe de varistances est déterminée par la tension résiduelle la plus élevée de la fraction, selon 2.1.2.3.1.2.

###### 2.1.2.3.1.2.2 Essai de tension résiduelle en choc de manoeuvre

L'essai doit être réalisé sur des fractions, avec une tension de référence d'au moins 3 kV. Les fractions doivent comprendre une seule colonne de varistances; celle-ci n'a pas besoin de son enveloppe et doit être exposée à l'air libre, à une température ambiante de  $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$ .

Les fractions doivent être soumises à un choc de tension et de courant avec un temps de montée virtuel de  $1 \text{ ms} \pm 10 \%$ . La durée jusqu'à la mi-amplitude n'est pas critique et peut avoir n'importe quelle valeur. L'amplitude du courant est choisie approximativement égale à 0,5, 1,0 et 1,5 fois le courant maximal présumé pour le groupe de varistances, divisée par le facteur d'échelle  $n_c$  pour le courant.

### 2.1.2.3 Tests

#### 2.1.2.3.1 Type tests

##### 2.1.2.3.1.1 Test samples

Unless otherwise stated all type tests shall be performed on three sections of new varistor elements which have not been subjected to any previous tests except for evaluation purposes.

The scale factors in voltage, current and energy used to determine representative stresses to be applied on the test samples are further described in section 3.

##### 2.1.2.3.1.2 Residual voltage test

The aim of the residual voltage type test is to establish the ratio between residual voltages at given impulse currents for the voltage level checked in the routine test. See section 3.

##### 2.1.2.3.1.2.1 Power-frequency residual voltage test

The power-frequency residual voltage test shall be performed on sections with a reference voltage of at least 3 kV. The sections shall consist of one single varistor column. The varistor elements may not be encapsulated in any form and shall be exposed to open air at an ambient temperature of  $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$ .

A power-frequency voltage shall be applied to the section. To avoid damage at high currents the voltage shall only be applied for one half-cycle or for a few cycles. By changing the voltage amplitude the residual voltage of the section shall be checked for approximately 0,5, 1,0 and 1,5 times the maximum prospective current of the complete varistor divided by the current scale factor  $n_c$ .

NOTE – Because it could be difficult to control the current amplitude exactly the residual voltage at prospective maximum current may be determined from a plot of residual voltage versus current.

The residual voltage for the varistor group is determined according to 2.1.2.3.1.2 for the section with the highest residual voltage.

##### 2.1.2.3.1.2.2 Switching impulse residual voltage test

The test shall be performed on sections with a reference voltage of at least 3 kV. The sections shall consist of one single column of varistor elements, which need not be encapsulated in any form and shall be exposed to open air at an ambient temperature of  $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$ .

The sections are subjected to a voltage and current impulse with a virtual front time of the voltage wave of  $1 \text{ ms} \pm 10 \%$ . The time to half-value is not critical and may have any value. The current amplitude is chosen to approximately 0,5, 1,0 and 1,5 times the maximum prospective current of the varistor group divided by the current scale factor  $n_c$ .

La tension résiduelle de la varistance complète est déterminée pour la tension résiduelle la plus élevée de la fraction, selon 2.1.2.3.1.2.

#### 2.1.2.3.1.3 *Procédure de vieillissement accéléré*

Un essai de vieillissement accéléré est réalisé pendant 1 000 h, à une température de  $(115 \pm 3) ^\circ\text{C}$ , sur des échantillons neufs, et dans le milieu ambiant de la varistance. Pendant ces 1 000 h, les échantillons doivent être alimentés à une tension d'essai correspondant à la COV de la varistance. Les pertes après 1 h à 2 h (valeurs initiales) doivent être comparées aux pertes après 1 000 h. Si les pertes après 1 000 h sont inférieures ou égales à la valeur initiale, il n'est pas nécessaire de faire des corrections, et les essais de type doivent être conduits sur des éléments de varistance neufs.

Si les pertes ont augmenté, le rapport des puissances doit être déterminé comme étant le rapport entre les pertes après 1 000 h et la valeur initiale. Les corrections à appliquer sur la COV, pour tous les essais de type, sont alors déterminées par des mesures sur trois échantillons neufs, à la température ambiante. Le niveau de tension d'essai, débutant à la COV, est augmenté jusqu'à atteindre le rapport de pertes ci-dessus. Le niveau de tension déterminé de cette façon correspond à la nouvelle tension d'essai qui doit être appliquée à la place de la COV, quand on vérifie la stabilité thermique. Voir la section 3.

#### 2.1.2.3.1.4 *Essai répété de tenue à l'énergie*

Le but de cet essai est de vérifier que la varistance peut supporter les contraintes de courant et d'énergie pour lesquelles elle a été conçue, tout en conservant les variations de ses caractéristiques dans des limites acceptables.

On doit conduire l'essai sur des fractions avec une tension de référence d'au moins 3 kV. Les fractions doivent être constituées d'une seule colonne d'éléments de varistance non protégés par leur enveloppe, et doivent être exposés à l'air libre, à une température ambiante de  $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$ .

On doit appliquer à la fraction, une tension à fréquence industrielle injectant une énergie égale à l'énergie maximale prescrite pour la varistance tout en tenant compte du facteur d'échelle d'énergie  $n_w$ . On doit appliquer la tension pendant un temps au plus égal à la durée la plus courte de fonctionnement fournissant l'énergie maximale pour le groupe de varistances.

On doit répéter l'essai 20 fois, avec un intervalle de temps entre chaque fonctionnement suffisamment long pour permettre le retour de la fraction à la température ambiante.

Avant de répéter l'essai de tenue à l'énergie, on doit faire les mesures suivantes:

- mesure de la tension de référence;
- mesure de la tension résiduelle avec un courant de 500 A et une forme d'onde 8/20  $\mu\text{s}$ .



The residual voltage for the complete varistor is determined according to 2.1.2.3.1.2 for the section with the highest residual voltage.

#### 2.1.2.3.1.3 Accelerated ageing procedure

An accelerated ageing test shall be performed for 1 000 h at a temperature of  $(115 \pm 3) ^\circ\text{C}$  on the new test samples and in the surrounding medium of the varistor. During these 1 000 h the test samples shall be energized at a test voltage corresponding to the COV of the varistor. The power losses after 1 h to 2 h (starting value) shall be compared to the power losses after 1 000 h. If the power losses after 1 000 h are less than, or equal to the starting value, no corrections are necessary and all type tests shall be performed on new varistor elements.

If the power losses have increased, the power ratio shall be determined as the ratio between the power losses after 1 000 h and the starting value. The corrections to be applied on the COV in all type tests are then determined by measurements on three new samples at ambient temperature. The test voltage level, starting at COV, is increased until the above ratio of power losses is achieved. The voltage level determined in this way corresponds to the new test voltage which shall be applied, instead of the COV, when verifying thermal stability. See section 3.

#### 2.1.2.3.1.4 Repeated energy withstand test

The purpose of this test is to verify that the varistor can withstand the current and energy duties for which it is designed, keeping any possible changes of the characteristic within tolerable limits.

The test shall be performed on sections with a reference voltage of at least 3 kV. The sections shall consist of one single column of varistor elements which are not encapsulated in any form and shall be exposed to open air at an ambient temperature of  $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$ .

A power-frequency voltage shall be applied to the section giving an energy injection equal to maximum prescribed varistor energy taking into account the energy scale factor,  $n_w$ . The voltage shall be applied for a time duration not longer than the shortest operating time giving maximum energy for the varistor group.

The test shall be repeated 20 times with a time interval between operations sufficiently long to permit the section to cool to ambient temperature.

Prior to the repeated energy withstand test the following measurements shall be made:

- reference voltage measurement;
- residual voltage measurement with current amplitude 500 A and waveshape 8/20  $\mu\text{s}$ .



On doit répéter ces mesures après l'essai et on doit démontrer qu'aucun changement significatif n'est survenu. La tension de référence ne doit pas avoir chuté de plus de 5 % et la tension résiduelle ne doit pas avoir changé de plus de 5 %.

#### NOTES

1 La tension résiduelle est contrôlée pour un choc de courant de 500 A 8/20  $\mu$ s, et non pour une tension à fréquence industrielle. Cela est dû aux difficultés qu'il y a de reproduire exactement le même courant lors d'un essai diélectrique à fréquence industrielle et, de ce fait, d'obtenir une grande précision dans la vérification des modifications.

2 Pour certaines applications, le cas décisif d'énergie de la varistance peut correspondre à une demi-période seulement ou à quelques périodes de tension à fréquence industrielle. La source d'alimentation à fréquence industrielle peut alors être remplacée par un générateur fournissant régulièrement, à l'échantillon, une impulsion approximativement rectangulaire. On considère cet essai comme équivalent, si l'absorption d'énergie est la même que si la durée de l'onde rectangulaire de courant est inférieure à celle du courant à fréquence industrielle supposé circuler dans la varistance.

#### 2.1.2.3.1.5 Essai de tenue à l'énergie et essai diélectrique de stabilité à fréquence industrielle

Le but de cet essai est de vérifier que la varistance est capable de supporter l'énergie maximale spécifiée, complétée éventuellement par une séquence de surtensions temporaires, et ainsi démontrer la stabilité thermique à la COV et à la température ambiante la plus élevée.

On doit réaliser cet essai sur des fractions, avec une tension de référence d'au moins 3 kV. Les fractions doivent comprendre des éléments de varistance dotés de leur enveloppe de telle manière que la fraction représente un modèle thermique fidèle du groupe de varistances.

Si le groupe de varistances comprend des unités avec plusieurs colonnes d'éléments de varistances en parallèle, les fractions doivent avoir le même nombre de colonnes en parallèle.

En outre, si la tension de référence de l'essai défini en 2.1.2.3.1.4 a diminué pour l'un quelconque des échantillons, on doit utiliser, pour cet essai, les mêmes éléments de varistance. Sinon on doit choisir des éléments de varistance neufs.

Avant l'essai, on doit effectuer les mesures suivantes:

- mesure de la tension de référence;
- mesure de la tension résiduelle, avec une amplitude de courant de 500 A et une forme d'onde 8/20  $\mu$ s.

On doit répéter ces mesures après l'essai et on doit démontrer qu'aucun changement significatif ne s'est produit. La tension de référence ne doit pas avoir chuté de plus de 5 % et la tension résiduelle ne doit pas avoir varié de plus de 5 %.

L'essai de tenue à l'énergie et de stabilité en tension à fréquence industrielle débute avec un préchauffage des fractions en essai, à une température de  $(60 \pm 3) ^\circ\text{C}$ , dans une étuve.

Dans les 5 min qui suivent la sortie des fractions de la source de chaleur, on doit appliquer une tension à fréquence industrielle fournissant une énergie égale à l'énergie maximale prescrite pour la varistance, en prenant en compte le facteur d'échelle d'énergie  $\eta_w$ .

These measurements shall be repeated after the test and it shall be demonstrated that no significant changes have occurred. The reference voltage shall not have decreased by more than 5 % and the residual voltage shall not have changed by more than 5 %.

#### NOTES

- 1 The residual voltage is checked for 500 A 8/20  $\mu$ s current impulse and not for power-frequency voltage. This depends on difficulties to exactly reproduce the same current in a power-frequency voltage test and thus obtain a high accuracy in checking any changes.
- 2 For some applications the energy decisive case for the varistor may correspond to only one half-cycle or a few cycles of power-frequency voltage. The power-frequency source may then be replaced by a distributed constant generator giving an approximately rectangular current impulse through the test sample. This test is considered equivalent if the energy absorption is the same as if the duration of the rectangular current wave is not longer than the time during which a power-frequency current is supposed to flow through the varistor.

#### 2.1.2.3.1.5 Energy withstand and power-frequency voltage stability test

The purpose of this test is to verify that the varistor is able to withstand maximum specified energy, followed by a possible temporary overvoltage sequence and thereafter show thermal stability energized at COV and at highest ambient temperature.

The test shall be performed on sections with a reference voltage of at least 3 kV. The sections shall consist of varistor elements encapsulated in such a way that the section represents a true thermal model of the varistor group.

If the varistor group contains units with several parallel columns of varistor elements the prorated sections shall have the same number of parallel columns.

Further, if the reference voltage in test 2.1.2.3.1.4 has decreased for any of the test samples, the same varistor elements shall be used in this test. Otherwise new varistor elements shall be selected.

Prior to the test the following measurements shall be made:

- reference voltage measurement;
- residual voltage measurement with current amplitude 500 A and waveshape 8/20  $\mu$ s.

These measurements shall be repeated after the test and it shall be demonstrated that no significant changes have occurred. The reference voltage shall not have decreased by more than 5 % and the residual voltage shall not have changed by more than 5 %.

The energy withstand and power-frequency voltage stability test starts with a preheating of the test sections to  $(60 \pm 3) ^\circ\text{C}$  in an oven.

Within 5 min after removing the test section from the heat source a power-frequency voltage shall be applied to the section giving an energy injection equal to maximum prescribed varistor energy taking into account the energy scale factor,  $n_w$ .

On doit appliquer la tension pendant un temps au plus égal au temps de fonctionnement le plus court donnant l'énergie maximale pour le groupe de varistances.

Dès que possible et dans les 5 s qui suivent l'application de l'énergie, on doit appliquer une tension à fréquence industrielle égale à la tension de fonctionnement du groupe de varistances en régime permanent, en tenant compte du facteur d'échelle de tension  $n_v$ , et maintenir cette tension pendant 30 min. Pendant ces 30 min, on doit démontrer la stabilité thermique, c'est-à-dire d'une part mesurer la composante résistive du courant de fuite et/ou la température des éléments de varistance et/ou les pertes, et d'autre part démontrer une diminution progressive.

Si après une absorption d'énergie, on a spécifié une séquence de surtensions temporaires pour le groupe de varistances, on doit appliquer la même séquence ou une séquence équivalente aux fractions en essai, en tenant compte du facteur d'échelle de tension.

Si la surtension temporaire est très élevée, la température peut s'élever pendant cette période. Cependant, si la tension est réduite à la tension de fonctionnement en régime permanent ou à un niveau qui peut être maintenu pendant des heures, on doit prouver la stabilité thermique. Par exemple après une séquence de défauts, la tension du condensateur peut être supérieure de 35 % à la tension de fonctionnement en régime permanent, pendant 30 min, et peut être suivie d'une surcharge de 17 % pendant encore 24 h. La varistance doit alors être stable en température après une énergie maximale et une surcharge de 35 % pendant 30 min c'est-à-dire que la varistance doit pouvoir se refroidir quand elle est soumise à une surcharge en tension pendant 24 h.

#### NOTES

- 1 La tension à fréquence industrielle, appliquée pour l'essai d'injection d'énergie, peut être remplacée par un générateur si les prescriptions indiquées dans la note 2 de 2.1.2.3.1.4 sont valables.
- 2 Si nécessaire, il convient de régler la COV conformément aux résultats de la procédure de vieillissement accélérée de 2.1.2.3.1.3.

#### 2.1.2.3.1.6 Vérification des fractions thermiques

Afin de prouver que la fraction est le modèle thermique fidèle du groupe de varistances, on doit comparer la courbe de refroidissement de la fraction avec la courbe de refroidissement de l'unité de varistance la plus longue. Les deux courbes de refroidissement doivent être déterminées à partir de 150 °C environ, jusqu'à la température ambiante. Le chauffage de la fraction et de l'unité de varistance doit être réalisé en appliquant une tension à fréquence industrielle. La période de chauffage doit être approximativement la même pour la fraction et pour l'unité.

On doit déterminer les courbes de refroidissement soit par les valeurs moyennes, soit en vérifiant la température des éléments de varistance pris isolément.

Si on choisit de vérifier la température d'un seul élément de varistance, on doit choisir un élément situé entre la moitié et le tiers de la longueur de l'unité depuis le haut.

Enfin, pendant toute la période de refroidissement, afin de prouver l'équivalence thermique, la fraction doit être à une température supérieure ou égale à celle de l'unité de varistance.

The voltage shall be applied during a period not longer than the shortest operating time giving maximum energy for the varistor group.

As soon as possible and in less than 5 s after the energy injection a power-frequency voltage equal to continuous operating voltage of the varistor group taking into account the voltage scale factor,  $n_v$ , shall be applied and maintained for 30 min. During the 30 min thermal stability shall be demonstrated i.e. resistive component of the leakage current and/or the temperature of the varistor elements and/or the power losses shall be measured and show a steady decrease.

If a temporary overvoltage sequence is specified for the varistor group after an energy absorption, the same or equivalent sequence shall be applied to the test sections taking the voltage scale factor into account.

If the temporary overvoltage is very high, the temperature may increase during this period. However, when the voltage is reduced to continuous operating voltage or a level which can be maintained during hours thermal stability shall be proved. For example after a fault sequence the capacitor voltage can be 35 % higher than continuous operating voltage for 30 min followed by an overload of 17 % for an additional 24 h. The varistor shall then be thermally stable after maximum energy and 35 % overload during 30 min. i.e. the varistor shall be able to cool down when subjected to the 24 h overload voltage.

#### NOTES

- 1 The power-frequency voltage giving the energy injection may be replaced by a distributed constant generator if the same requirements as discussed in note 2 of 2.1.2.3.1.4 are valid.
- 2 The COV should, if necessary, be adjusted according to the result of the accelerated ageing procedure of 2.1.2.3.1.3.

#### 2.1.2.3.1.6 Verification of thermal sections

In order to prove that the section is a true thermal model of the varistor group, the cooling curve of the section shall be compared to the cooling curve of the longest unit in the varistor. The two cooling curves shall be determined from approximately 150 °C down to the ambient temperature. The heating of the section and of the varistor unit shall be made by the application of a power-frequency voltage. The heating period shall be approximately the same for both the section and the unit.

The cooling curves shall be determined either as mean value or by checking the temperature of single varistor elements.

If it is chosen to check the temperature of one single varistor element, an element located between 1/2 to 1/3 of the unit length from the top shall be chosen.

Finally to prove thermal equivalency, the test section shall for all instants during the cooling period have a higher or equal temperature than the varistor unit.

#### 2.1.2.3.1.7 *Essai de baisse de pression*

Dans la CEI 99-1, sont prescrites les procédures d'essai de baisse de pression qui sont valables pour les parafoudres conventionnels. L'objectif de ces essais est de montrer qu'un court-circuit interne au parafoudre ne provoquera pas de projection d'éclats de l'enveloppe qui serait dangereuse pour les équipements environnants et les personnels à proximité.

Il faut faire très attention que l'essai de baisse de pression concerne également la décharge de la batterie de condensateurs à partir du niveau de protection.

En l'absence d'autre procédure, les essais de baisse de pression, à la fois pour des courants élevés et faibles, doivent être réalisés selon les normes de la CEI.

Pour des unités de varistance de même type, différant les unes des autres uniquement par la longueur de l'isolateur, un essai positif pour l'unité la plus longue est considéré comme valable pour les unités plus courtes.

#### 2.1.2.3.1.8 *Essai de vie accéléré*

C'est un essai de prélèvement réalisé sur des éléments de varistance choisis individuellement, de manière aléatoire, dans chaque lot de fabrication. On doit alimenter les échantillons sous tension alternative, et à une température élevée de 120 °C, pendant plusieurs semaines. Le nombre d'échantillons est défini par accord entre l'acheteur et le fournisseur. La tension imposée doit au moins être égale à 1,05 fois la COV de l'élément de varistance. En fin de période d'essai, les pertes des éléments de varistance ne doivent pas être supérieures à une valeur prescrite. Cet essai fournit une indication concernant la stabilité à long terme et une certaine garantie que la varistance conserve des performances satisfaisantes pendant sa durée de vie.

#### 2.1.2.3.2 *Essais individuels*

Les essais individuels ne sont pas décrits en détail, dès lors que plusieurs méthodes d'essai différentes peuvent conduire à la même qualité quant à l'aptitude de tenue à l'énergie et de niveau de protection. Il est proposé ici un programme d'essai.

##### 2.1.2.3.2.1 *Essai de tenue à l'énergie*

On doit soumettre tous les éléments de varistance à un essai de tenue à l'énergie, y compris des séquences d'injection répétées d'énergie, séparées les unes des autres par des périodes de refroidissement. Chaque séquence d'essai doit exposer l'élément de varistance à une injection d'énergie supérieure ou égale à l'énergie assignée de courte durée.

##### 2.1.2.3.2.2 *Essai de tension résiduelle*

Pour réaliser un niveau de protection donné, un essai de tension résiduelle doit être réalisé sur chaque élément de varistance ou sur une unité complète de varistances assemblées. De préférence, il convient de réaliser cet essai avec une amplitude de courant du même ordre que celle obtenue pour le courant maximal de défaut présumé pour la varistance, en tenant compte du facteur d'échelle de courant  $n_c$ . La forme d'onde peut avoir n'importe quel temps de montée entre la microseconde et la milliseconde.



#### 2.1.2.3.1.7 *Pressure-relief test*

In IEC 99-1 pressure-relief test procedures valid for conventional arresters are prescribed. The intention of these tests is to show that an internal short-circuit of the arrester will not cause explosive shattering of the housing which might cause accidental damage to surrounding or personnel equipment.

Due regard has to be taken, that the pressure-relief test also covers discharge of the capacitor bank from the protective level.

In the absence of an alternative procedure, pressure-relief tests with both high and low current shall be performed as per IEC standards.

For varistor units of the same type differing from each other only in insulator length, a successful test on the longest unit is regarded as valid also for all the shorter ones.

#### 2.1.2.3.1.8 *Accelerated life test*

This is a sample test performed on individual varistor elements taken at random from each manufacturing batch. Samples shall be energized at an a.c. voltage at an elevated temperature of 120 °C during some weeks. The number of samples shall be agreed upon between purchaser and manufacturer. The imposed voltage shall at least be equal to 1,05 times the COV of the varistor element. The power losses of the varistor elements at the end of the testing period are not allowed to exceed a prescribed value. This test provides an indication of the long-term stability and provides some confidence that the varistor will provide satisfactory performance during its life time.

#### 2.1.2.3.2 *Routine tests*

The routine tests are not described in detail, since many different test methods can achieve the same quality regarding energy capability and protective level. A proposed test programme is given here.

##### 2.1.2.3.2.1 *Energy withstand test*

All varistor elements shall be subjected to an energy withstand test including repeated sequences of energy injections with cooling time between. Each test sequence shall expose the varistor element to an energy injection higher than or equal to the rated short-time energy.

##### 2.1.2.3.2.2 *Residual voltage test*

In order to achieve a given protective level a residual voltage test shall be performed on all individual varistor elements or complete assembled varistor units. The test should preferably be performed with a current amplitude of the same order of magnitude as maximum prospective fault current for the varistor taking the current scale factor,  $n_c$ , into account. The waveshape may have any front time from  $\mu$ s to ms.

Le niveau de protection pour un groupe de varistances, pour la forme d'onde et l'amplitude réelles, est alors déterminé par l'essai de type et par le rapport entre la tension résiduelle pour le courant d'essai individuel et la tension résiduelle des fractions pour l'essai de type avec la même onde de courant.

#### 2.1.2.3.2.3 *Essai de fuite*

Des unités complètement assemblées dans des enveloppes hermétiques doivent être soumises à un essai de fuite approprié.

#### 2.1.2.3.2.4 *Essai de tension de référence*

La tension de référence doit être mesurée pour chaque unité de varistance. Les valeurs mesurées doivent être comprises dans la plage spécifiée par le fabricant.

#### 2.1.2.3.2.5 *Essai de courant de fuite*

Une tension d'alimentation à fréquence industrielle égale à la COV de chaque unité de varistance doit être appliquée et on doit vérifier que le courant de fuite se situe dans la plage des données garanties. (Pour ce niveau de tension, le courant de fuite est presque purement capacitif.)

#### 2.1.2.3.2.6 *Essai de décharges partielles*

Par une méthode précise, on doit démontrer l'absence satisfaisante de décharges partielles internes dans toutes les unités assemblées de varistance. L'essai doit être réalisé en appliquant une tension à fréquence industrielle au moins égale à 1,05 fois la COV de l'unité de varistance.

#### 2.1.2.3.2.7 *Essai de répartition du courant*

Le fabricant doit spécifier, pour la répartition du courant, un écart maximal acceptable entre les colonnes parallèles d'éléments de varistances composant une varistance complète. En outre, le fabricant doit indiquer la procédure d'essai individuel démontrant que la répartition du courant est comprise dans les limites données.

## 2.2 *Disjoncteur shunt*

### 2.2.1 *But*

Le but d'un disjoncteur shunt est de court-circuiter et d'insérer délibérément le condensateur série. L'insertion d'un condensateur est réalisée en ouvrant le disjoncteur shunt. En cas de défauts et de perturbations on peut aussi utiliser un shuntage automatique. On doit faire très attention au courant d'appel à haute fréquence quand le condensateur est court-circuité. Dans certains cas, le disjoncteur est relié en série avec un éclateur de protection, et utilisé uniquement pour l'insertion (type K avec deux éclateurs). Voir CEI 143, paragraphe 7.6.2.

### 2.2.2 *Classification*

On peut classer les disjoncteurs shunt de différentes façons.



The protective level for the varistor group at actual current waveshape and amplitude is then determined by the type test and the ratio between the residual voltage at routine test current and the residual voltage of the type test sections at the same current wave.

#### 2.1.2.3.2.3 *Leakage test*

Completely assembled units with sealed housings shall be subjected to a suitable leakage test.

#### 2.1.2.3.2.4 *Reference voltage test*

The reference voltage shall be measured on each varistor unit. The measured values shall be within a range specified by the manufacturer.

#### 2.1.2.3.2.5 *Leakage current test*

A power-frequency voltage equal to the COV for each varistor unit shall be applied and the leakage current checked to be within guaranteed data. (At this voltage level the leakage current is almost purely capacitive.)

#### 2.1.2.3.2.6 *Partial discharge test*

A satisfactory absence from internal partial discharges shall be demonstrated in all assembled varistor units by a sensitive method. The test shall be performed with an applied power-frequency voltage equal to at least 1,05 times the COV of the varistor unit.

#### 2.1.2.3.2.7 *Current-sharing test*

A maximum accepted deviation in current sharing between parallel columns of varistor elements within a complete varistor has to be specified by the manufacturer. Further, the manufacturer shall present the routine test procedure to demonstrate that the current sharing will be within given tolerances.

### 2.2 **By-pass circuit-breaker**

#### 2.2.1 *Purpose*

The purpose of the by-pass circuit-breaker is to deliberately by-pass and insert the series capacitor. Capacitor insertion is accomplished by opening of the by-pass circuit-breaker. It may also be used for automatic by-passing in case of faults and disturbances. Due regard shall be taken to the high-frequency inrush current when the capacitor is by-passed. In some cases the by-pass circuit-breaker is connected in series with a protective spark gap, and used for insertion only (type K with two gaps). See IEC 143, subclause 7.6.2.

#### 2.2.2 *Classification*

By-pass circuit-breakers can be classified in different ways.

- a) Selon le principe de fonctionnement: à faible volume d'huile, à SF<sub>6</sub>, à air comprimé, à vide, etc.
- b) Selon le mécanisme de fonctionnement: fonctionnant à commande mécanique à ressort, à commande hydraulique, à commande pneumatique, à solénoïde, etc.

Il est important d'observer que le ou les éléments de coupure doivent être conçus pour manoeuvrer le segment réel de condensateurs, alors que l'isolement par rapport à la terre doit correspondre à celui du réseau.

Le cycle de fonctionnement doit être inversé, par exemple (O)-C-O-C ou (O)-C-O-C-O-C. Il est recommandé que le disjoncteur soit équipé de deux bobines de fermeture.

Le disjoncteur n'a pas pour fonction de couper les courants de court-circuit, et on doit faire très attention aux risques de réamorçage (voir CEI 143, paragraphe 7.6.4).

### 2.2.3 Essais

Les essais suivants doivent être réalisés. On doit faire la corrélation avec la CEI 56 et la CEI 694.

#### 2.2.3.1 Essais de type

##### *Essais diélectriques*

Le paragraphe 6.1 de la CEI 694 s'applique en tenant compte des modifications suivantes:

Les conditions d'essais indiquées dans les tableaux VIII, IX et X doivent être adaptées aux différentes tensions assignées aux bornes des éléments de coupure et entre ces éléments et la terre.

##### *Essai de tension de perturbation radioélectrique (r.i.v.)*

On doit réaliser les essais de tension de perturbation radioélectrique, par accord entre le fabricant et l'utilisateur. Le paragraphe 6.2 de la CEI 694 s'applique avec les compléments suivants:

- les essais peuvent être menés sur un des pôles du disjoncteur dans les deux positions, ouverte et fermée;
- les tensions appliquées doivent être réglées conformément aux différentes tensions assignées aux bornes des éléments de coupure et entre ces éléments et la terre.

##### *Essais d'échauffement*

Le paragraphe 6.3 de la CEI 694 s'applique.

##### *Mesures de la résistance du circuit principal*

Le paragraphe 6.4 de la CEI 694 s'applique.

##### *Essais au courant de courte durée et à la valeur de crête du courant admissibles*

Le paragraphe 6.5 de la CEI 694 s'applique.

- a) With regard to working principle: oil-minimum, SF<sub>6</sub>, air-blast, vacuum, etc.
- b) With regard to operating mechanism: Spring operated, hydraulic, pneumatic, solenoid, etc.

It is important to observe, that the breaking element(s) shall be rated to switch the actual capacitor segment, while the insulation to earth shall correspond to that of the power system.

The operation cycle shall be reversed for example (O)-C-O-C or (O)-C-O-C-O-C. It is recommended that the circuit-breaker be equipped with two closing coils.

The by-pass circuit-breaker is not called upon to interrupt short-circuit currents, and due regard shall be taken to the risk for restrikes (see IEC 143, subclause 7.6.4)

### 2.2.3 Tests

The following tests shall be performed. Coordination shall be made with IEC 56 and IEC 694.

#### 2.2.3.1 Type tests

##### *Dielectric tests*

Subclause 6.1 of IEC 694 is applicable observing the following changes:

The test conditions as stated in table VIII, IX and X are to be adjusted according to the different rated voltages across the breaking elements and from breaking elements to earth.

##### *Radio interference voltage (r.i.v.) test*

Radio interference voltage tests shall be performed by agreement between manufacturer and user. Subclause 6.2 of IEC publication 694 is applicable with the following additions:

- tests may be performed on one pole of the by-pass circuit-breaker in both closed and open positions;
- the applied voltages are to be adjusted according to the different rated voltages across the breaking elements and from breaking elements to earth.

##### *Temperature-rise tests*

Subclause 6.3 of IEC 694 is applicable.

##### *Measurements of the resistance of the main circuit*

Subclause 6.4 of IEC 694 is applicable.

##### *Short-time withstand current and peak withstand current tests*

Subclause 6.5 of IEC 694 is applicable.

### *Essai mécaniques et climatiques*

Le paragraphe 6.101 de la CEI 56 s'applique avec le complément suivant:

Les séquences de fonctionnement doivent être changées (substituer C à O et vice versa): voir le tableau XII, 6.101.3.3 et 6.101.3.4 de la CEI 56.

### *Essais d'établissement et de coupure de courants capacitifs*

Le paragraphe 6.111 de la CEI 56 s'applique avec les compléments suivants:

- les essais de lignes à vide et de câbles à vide ne sont pas adaptés aux disjoncteurs shunt;
- comme les essais de coupure et de fermeture de courant de batterie de condensateurs, tous les essais prévus dans les séquences d'essai N° 2 et 4 (voir 6.111.8.1 de la CEI 56) doivent être des essais de fermeture-coupure. Dans la séquence d'essai N° 4 l'amplitude et la fréquence du courant de fermeture doivent être supérieures aux valeurs réelles du courant de décharge du module court-circuité de la batterie de condensateurs série, alors que le courant de coupure doit correspondre au courant réel de réinsertion du module.

### *2.2.3.2 Essais individuels*

#### *Essais de tenue diélectrique à fréquence industrielle à sec du circuit principal*

Le paragraphe 7.1 de la CEI 694 s'applique en observant les modifications suivantes:

Les tensions d'essai données dans les tableaux I à IV de la CEI 56 doivent être réglées conformément aux différentes tensions assignées aux bornes des éléments de coupure et entre ces éléments et la terre.

#### *Essais de tenue diélectrique des circuits de commande et des circuits auxiliaires*

Le paragraphe 7.2 de la CEI 694 s'applique.

#### *Mesure de la résistance du circuit principal*

Le paragraphe 7.3 de la CEI 694 s'applique.

#### *Essais de fonctionnement mécanique*

Le paragraphe 7.101 de la CEI 56 s'applique en observant les modifications suivantes:

Pour le point c) «ouvert» et «fermé» doivent être inversés.

#### *Contrôles de conformité et contrôles visuels*

Le paragraphe 7.102 de la CEI 56 s'applique.

### *Mechanical and environmental tests*

Subclause 6.101 of IEC 56 is applicable with the following addition:

The operating sequences are to be changed (substitute C with O and vice versa): see table XII, 6.101.3.3 and 6.101.3.4 of IEC 56.

### *Capacitive current-switching tests*

Subclause 6.111 of IEC 56 is applicable with the following additions:

- the line-charging and cable-charging tests are not relevant for by-pass circuit-breakers;
- like the capacitor bank current-switching tests, all tests in test-duties Nos. 2 and 4 (see 6.111.8.1 of IEC 56) shall be make-break tests. In test-duty No. 4 both amplitude and frequency of the making current shall exceed the actual values of the discharge current of the by-passed module of the series capacitor bank, whereas the breaking current shall correspond to the actual reinsertion current of the module.

### *2.2.3.2 Routine tests*

#### *Power-frequency voltage withstand dry tests of the main circuit*

Subclause 7.1 of IEC 694 is applicable observing the following changes:

The test voltages as given in IEC 56 tables I to IV are to be adjusted according to the different rated voltages across the breaking elements and from breaking elements to earth.

#### *Voltage withstand tests on control and auxiliary circuits*

Subclause 7.2 of IEC 694 is applicable.

#### *Measurement of the resistance of the main circuit*

Subclause 7.3 of IEC 694 is applicable.

### *Mechanical operating tests*

Subclause 7.101 of IEC 56 is applicable observing the following changes:

At item c) "open" and "close" are to be changed vice versa.

### *Design and visual checks*

Subclause 7.102 of IEC 56 is applicable.

## 2.3 Sectionneurs

### 2.3.1 But

#### 2.3.1.1 Sectionneur shunt

Le but du sectionneur shunt est de court-circuiter délibérément la batterie de condensateurs série, étant entendu que la batterie de condensateurs série est déjà court-circuitée par le disjoncteur shunt.

#### 2.3.1.2 Sectionneur série

Le but du sectionneur série est de déconnecter délibérément la batterie de condensateurs série du réseau.

Les sectionneurs shunt et série sont capables de déconnecter la batterie de condensateurs série sans interrompre le fonctionnement du réseau, par exemple pour la maintenance. Voir la CEI 143, paragraphe 7.6.4.

### 2.3.2 Classification

Les sectionneurs peuvent être classés de différentes façons.

- a) Selon leur principe de fonctionnement: coupure centrale, à double coupure, pantographe, semi-pantographe, etc.
- b) Selon le mécanisme de fonctionnement: par moteur, à commande pneumatique, à commande hydraulique, etc.

### 2.3.3 Essais

Les essais suivants sont recommandés. On doit faire la corrélation avec les CEI 129 et 694.

#### 2.3.3.1 Essais de type

##### *Essais diélectriques*

Le paragraphe 6.1 de la CEI 694 s'applique.

##### *Essais de tension de perturbation radioélectrique (r.i.v.)*

Les essais de tension de perturbation radioélectrique doivent être réalisés par accord entre le fabricant et l'utilisateur. Le paragraphe 6.2 de la CEI 694 s'applique.

##### *Essais d'échauffement*

Le paragraphe 6.3 de la CEI 694 s'applique.

##### *Mesure de la résistance du circuit principal*

Le paragraphe 6.4 de la CEI 694 s'applique.



## 2.3 Disconnectors

### 2.3.1 Purpose

#### 2.3.1.1 By-pass disconnector

The purpose of the by-pass disconnector is to deliberately by-pass the series capacitor bank, provided that the series capacitor bank is already by-passed by the by-pass circuit-breaker.

#### 2.3.1.2 Series disconnector

The purpose of the series disconnector is to deliberately disconnect the series capacitor bank from the line.

Both by-pass and series disconnectors enable the disconnection of the series capacitor bank without interrupting the operation of the line, for example at maintenance. See IEC 143, subclause 7.6.4.

### 2.3.2 Classification

Disconnectors can be classified in different ways.

- a) With regard to their operating principle: centre-break, double-break, pantograph, semi-pantograph, etc.
- b) With regard to operating mechanism: motor-driven, pneumatic, hydraulic, etc.

### 2.3.3 Tests

The following tests are recommended. Coordination shall be made with IEC 129 and IEC 694.

#### 2.3.3.1 Type tests

##### *Dielectric tests*

Subclause 6.1 of IEC 694 is applicable.

##### *Radio interference voltage (r.i.v.) tests*

Radio interference voltage tests shall be performed by agreement between manufacturer and user. Subclause 6.2 of IEC 694 is applicable.

##### *Temperature-rise tests*

Subclause 6.3 of IEC 694 is applicable.

##### *Measurements of the resistance of the main circuit*

Subclause 6.4 of IEC 694 is applicable.

*Essais au courant de courte durée et à la valeur de crête du courant admissibles*

Le paragraphe 6.5 de la CEI 694 s'applique.

*Essais de fonctionnement et d'endurance mécanique*

Le paragraphe 6.102 de la CEI 129 s'applique.

*Fonctionnement dans des conditions sévères de formation de glace*

Cet essai peut seulement être réalisé sur demande particulière de l'utilisateur. Le paragraphe 6.103 de la CEI 129 s'applique.

*Fonctionnement aux températures limites*

Le paragraphe 6.104 de la CEI 129 s'applique.

**2.3.3.2 Essais individuels**

*Essais de tenue diélectrique à fréquence industrielle à sec du circuit principal*

L'article 7.1 de la CEI 694 en liaison avec l'article 7.1 de la CEI 129 s'applique.

*Essais de tenue diélectrique des circuits de commande et des circuits auxiliaires*

Le paragraphe 7.2 de la CEI 694 s'applique.

*Mesure de la résistance du circuit principal*

Le paragraphe 7.3 de la CEI 694 s'applique.

*Essais de fonctionnement mécanique*

L'article 7.101 de la CEI 129 s'applique.

**2.4 Matériel d'amortissement et de limitation du courant**

**2.4.1 But**

Le but du matériel d'amortissement est de limiter l'amplitude du courant et la fréquence ainsi que de produire un amortissement suffisant des oscillations de décharge des condensateurs lors du fonctionnement de l'éclateur de protection ou de la fermeture du sectionneur shunt.

**2.4.2 Classification**

Le matériel d'amortissement comprend une bobine d'amortissement et une résistance d'amortissement en parallèle avec la bobine. La résistance d'amortissement peut être connectée en permanence dans le circuit ou être reliée seulement pendant le fonctionnement du dispositif de shuntage. Dans certaines applications la résistance d'amortissement n'est pas utilisée. Voir la section 3.

*Short-time withstand current and peak withstand current tests*

Subclause 6.5 of IEC 694 is applicable.

*Operating and mechanical endurance tests*

Subclause 6.102 of IEC 129 is applicable.

*Operation under severe ice conditions*

This test may only be made on special request by the user. Subclause 6.103 of IEC 129 is applicable.

*Operation at the temperature limits*

Subclause 6.104 of IEC 129 is applicable.

**2.3.3.2 Routine tests***Power-frequency voltage withstand dry tests on the main circuit*

Subclause 7.1 of IEC 694 in combination with subclause 7.1 of IEC 129 is applicable.

*Voltage withstand tests on control and auxiliary circuits*

Subclause 7.2 of IEC 694 is applicable.

*Measurement of the resistance of the main circuit*

Subclause 7.3 of IEC 694 is applicable.

*Mechanical operating tests*

Subclause 7.101 of IEC 129 is applicable.

**2.4 Current-limiting damping equipment****2.4.1 Purpose**

The purpose of the damping equipment is to limit the current magnitude and frequency and to provide a sufficient damping of capacitor discharge oscillations upon operation of the protective spark gap or closing of the by-pass circuit-breaker.

**2.4.2 Classification**

The damping equipment consists of a damping reactor and a damping resistor in parallel with the reactor. The damping resistor may be connected continuously into the circuit or may be connected only during the operation of the by-pass device. In some applications the damping resistor is not used. See section 3.

Le circuit d'amortissement peut se situer dans la branche de dérivation de la batterie de condensateurs ou dans la branche contenant le condensateur.

### 2.4.3 Essais

Certains essais doivent être réalisés séparément sur la bobine et sur la résistance. Cependant, l'essai du circuit d'amortissement complet est également recommandé.

#### 2.4.3.1 Réactance d'amortissement pour la limitation du courant

##### 2.4.3.1.1 Essais de type

##### *Essais de courant de défaut*

Les facteurs suivants doivent être considérés:

- l'essai doit être effectué une seule fois;
- l'amplitude du courant d'essai doit être conforme au courant maximal de défaut de court-circuit à fréquence industrielle (efficace) (courant de défaut existant/futur). Le courant de défaut doit inclure le courant crête asymétrique;
- la durée du courant d'essai doit être conforme à celle du courant de défaut à l'emplacement de la batterie de condensateurs série. On doit prendre en compte le temps maximal d'élimination du défaut par le disjoncteur de secours ainsi que des situations de défaut. (Des situations de défauts typiques sont données dans la section 3);
- critère d'acceptation de l'essai: Il ne doit pas se produire d'échauffement excessif, ni de dommage mécanique ou électrique.

##### *Essai de courant de décharge*

Les facteurs suivants doivent être considérés:

- l'amplitude du courant d'essai doit être égale à la somme calculée de la composante du courant de décharge à haute fréquence pour un réglage maximal de l'éclateur, et de la valeur instantanée de la composante du courant de défaut à fréquence industrielle, y compris l'offset;
- la fréquence du courant d'essai doit être conforme à la fréquence du courant de décharge de la batterie de condensateurs série réelle. Toutefois on peut utiliser une demi-période de courant à 50 Hz ou 60 Hz provenant d'un générateur de court-circuit, mais avec une amplitude réduite de 10 %. On considère qu'un tel essai est plus sévère qu'un essai de décharge à la fréquence réelle;
- l'essai de courant de décharge doit normalement être répété 10 fois. Cependant, si le condensateur en service est prévu pour être soumis à des décharges fréquentes, le nombre de décharges peut être augmenté jusqu'à 20, par accord. Voir CEI 143, article 2.13, note 2;
- critère d'acceptation de l'essai: Il ne doit pas se produire d'échauffement excessif, ni de dommage mécanique ou électrique.

##### *Essai d'échauffement*

Pendant l'essai d'échauffement, la résistance d'amortissement, si elle existe, doit aussi être en place, si celle-ci est placée à l'intérieur de la réactance.

The damping circuit may be located in the by-pass branch of the capacitor bank or in the capacitor branch.

### 2.4.3 Tests

Certain tests shall be performed on the reactor and the resistor separately. However, the testing of the total damping circuit is also recommended.

#### 2.4.3.1 Current-limiting damping reactor

##### 2.4.3.1.1 Type tests

###### *Fault current test*

The following factors shall be considered:

- The test shall be made only once;
- Magnitude of the test current shall conform with maximum power-frequency by-pass fault current (r.m.s.) (existing/future fault current). The fault current shall include the peak asymmetrical current;
- Duration of the test current shall conform with the duration of fault current at the series capacitor bank location. Fault scenarios and maximum back-up circuit breaker fault-clearing time shall be taken into account (typical fault scenarios are given in section 3);
- Criteria for acceptance of the test: there shall not be any evidence of excessive heating, nor mechanical or electrical damage.

###### *Discharge current test*

The following factors shall be considered:

- the magnitude of the test current shall be the calculated sum of the high-frequency discharge current component at maximum gap setting and the instantaneous value of the power-frequency fault current component including offset;
- test current frequency shall conform with the discharge current frequency of the actual series capacitor bank. However, a 50 Hz or 60 Hz half current wave from a short-circuit generator may also be used, but with the amplitude reduced by 10 %. Such a test is considered more severe compared to a discharge test at the actual discharge frequency;
- the discharge current test shall normally be repeated 10 times. However, if the capacitor in service is expected to be subjected to frequent discharges, the number of discharges may, by agreement, be increased to 20. See IEC 143, clause 2.13, note 2;
- criteria for acceptance of the test: there shall not be any evidence of excessive heating, nor mechanical nor electrical damage.

###### *Temperature rise test*

During the temperature rise test, the damping resistor, if any, shall also be installed in its place, if it is located inside the reactor.

L'échauffement doit être mesuré à la fois avec des capteurs de température et avec la méthode de mesure de la résistance.

#### 2.4.3.1.2 *Essais individuels*

##### *Mesure de l'inductance*

On doit mesurer l'inductance à la fréquence assignée. A la place de 50 Hz, la mesure à 60 Hz est acceptable (et vice versa).

##### *Mesure de la résistance*

On doit mesurer la résistance en courant continu et en courant alternatif (à 50 Hz ou 60 Hz).

##### *Mesure des pertes*

Les pertes dans une bobine à noyau d'air étant très faibles, elles ne peuvent pas être mesurées avec précision. Les pertes peuvent être calculées en utilisant la résistance en courant alternatif et le courant nominal (voir la section 3).

##### *Essai aux ondes de choc*

Il est recommandé que l'essai aux ondes de choc soit réalisé comme essai individuel. Il convient de le répéter trois fois.

La valeur du choc de tension doit être choisie en tenant compte du niveau de protection en tension. Voir la CEI 143, paragraphe 7.7.1.

Du fait de la faible inductance de la bobine d'amortissement, la forme d'onde de l'impulsion peut être plus courte que 1,2/50  $\mu$ s et l'onde peut être déformée. Cela peut être accepté.

#### 2.4.3.2 *Résistance d'amortissement pour la limitation du courant*

##### 2.4.3.2.1 *Essais de type*

La résistance doit être essayée pour vérifier que la tenue à l'énergie, la tenue au courant à haute fréquence et au courant de défaut à fréquence industrielle sont conformes aux spécifications.

Pour des raisons pratiques, l'essai peut être mené sur un modèle plus petit de la résistance d'amortissement. La conception du modèle doit être similaire à la conception de la résistance réelle.

##### *Essai d'aptitude à absorber l'énergie*

On doit vérifier l'aptitude à absorber l'énergie en déchargeant une batterie de condensateurs dans la résistance. On doit répéter cet essai 10 fois. L'énergie doit faire l'objet d'un accord entre le fabricant et l'utilisateur (voir la section 3). Il convient de tenir compte de l'extension future de la batterie.



The temperature rise shall be measured both with temperature sensors and with the resistance measurement method.

#### 2.4.3.1.2 *Routine tests*

##### *Inductance measurement*

The inductance shall be measured at rated frequency. Instead of 50 Hz, the measurement with 60 Hz is acceptable (and vice versa).

##### *Resistance measurement*

The d.c. and a.c. resistance (at 50 Hz or 60 Hz) shall be measured.

##### *Measurement of the losses*

Because the losses of an air core reactor are very low, the losses cannot be measured accurately. The losses can be calculated using the a.c. resistance and nominal current (see section 3).

##### *Impulse voltage test*

It is recommended, that the impulse voltage test is performed as a routine test. It should be repeated three times.

The impulse voltage test value shall be chosen taking the protective voltage level into account. See IEC 143, subclause 7.7.1.

Because of the low inductance value of the damping reactor the waveshape of the impulse may be shorter than  $1,2/50 \mu\text{s}$  and the wave may be distorted. This should be accepted.

#### 2.4.3.2 *Current-limiting damping resistor*

##### 2.4.3.2.1 *Type tests*

The resistor shall be tested to verify that the energy withstand, the high-frequency current withstand and the power-frequency fault current withstand is according to the specification.

For practical reasons, the test can be carried out on a smaller model of the damping resistor. The design of the model shall be similar to the design of the actual resistor.

##### *Energy absorption capability test*

The energy absorption capability shall be tested by discharging a capacitor bank through the resistor. The test shall be repeated 10 times. The energy shall be agreed upon between the manufacturer and purchaser (see section 3). The future extension of the bank should be taken into account.

#### *Essai de tenue au courant à haute fréquence (essai de décharge)*

Injection de courant, dans la résistance, avec les valeurs correctes d'amplitude et de fréquence, à partir d'une batterie de condensateurs chargée.

#### *Essai de tenue au courant de défaut à fréquence industrielle*

Injection de courant à fréquence industrielle, dans la résistance, avec les valeurs correctes d'amplitude et de durée. L'essai doit vérifier que la résistance peut supporter le courant à fréquence industrielle, qui suit le courant de décharge du condensateur à haute fréquence (si cela s'applique).

#### *Essai aux ondes de choc sur l'enveloppe*

L'enveloppe de la résistance peut être soumise à un essai aux ondes de choc. La valeur du choc de tension doit être choisie en tenant compte du niveau de protection en tension. Voir la CEI 143, paragraphe 7.7.1.

#### *Extinction de l'éclateur de la résistance d'amortissement*

Dans certains cas il existe un éclateur particulier en série avec la résistance d'amortissement, qui connecte la résistance au circuit, uniquement lors de la décharge. On doit démontrer par un essai, l'extinction du courant de l'éclateur.

#### *2.4.3.2 Essais individuels*

##### *Mesure de la résistance*

La résistance doit être mesurée en courant alternatif, en utilisant la fréquence de décharge, comme en courant continu.

Une mesure en basse tension continue est suffisante, si le rapport de la mesure en continu avec la résistance réelle en alternatif est connu, à partir de l'essai de type de décharge en haute tension.

##### *Essai de fuite*

Si cela s'applique à la conception de la résistance réelle.

##### *Essai de tension d'amorçage*

L'éclateur auxiliaire, s'il existe, doit être soumis à un essai de tension d'amorçage.

#### *2.4.3.3 Circuit d'amortissement pour la limitation du courant (essai de type)*

On peut démontrer l'action de limitation du courant dans le circuit d'amortissement complet, soit par une décharge en basse tension, soit par la mesure des composants et le calcul.

Cependant, il est recommandé que l'action de limitation du courant et d'amortissement du circuit d'amortissement complet soit démontrée par une décharge en basse tension. Cela peut être fait, par accord entre fabricant et acheteur, à l'occasion d'un essai avant la mise en service.

*High-frequency current withstand test (discharge test)*

Injection of current with the correct amplitude and frequency into the resistor, from a charged capacitor bank.

*Power-frequency fault current withstand test*

Injection of power-frequency current with correct magnitude and duration into the resistor. The test shall verify that the resistor can withstand the power-frequency current which follows after the high-frequency capacitor discharge current (if applicable).

*Impulse voltage test of enclosure*

The resistor enclosure may be subjected to an impulse voltage test. The impulse voltage test value shall be chosen taking the protective voltage level into account. See IEC 143, subclause 7.7.1.

*Extinguishing of the spark gap of the damping resistor*

In some cases there is a special spark gap in series with the damping resistor, which connects the resistor into the circuit only during the discharge condition. The extinguishing of the spark-gap current shall be demonstrated by testing.

*2.4.3.2.2 Routine tests**Resistance measurement*

The resistance shall be measured at a.c. using the discharge frequency as well as at d.c.

A low-voltage d.c. measurement is sufficient, if the ratio between this d.c. measurement and the actual a.c.-resistance is known from the discharge type test at high voltage.

*Leakage test*

If applicable to the actual resistor design.

*Sparkover voltage test*

The auxiliary spark gap, if any, shall be subjected to a spark over voltage test.

*2.4.3.3 Current-limiting damping circuit (type test)*

The current-limiting action of the total damping circuit may be demonstrated either by a low-voltage discharge or by measurement of components and calculation.

However, it is recommended, that the current-limiting and damping action of the total damping circuit is demonstrated by a discharge at low voltage. This may, by agreement, be done as a pre-commissioning field test.

## 2.5 Bobine de décharge

### 2.5.1 But

La bobine de décharge si elle existe est fermement reliée aux bornes du segment de condensateurs. Le but de la bobine de décharge est de drainer la charge continue retenue dans les condensateurs série, pendant le temps de pause correspondant au réenclenchement de la ligne en défaut sans pour autant fermer le disjoncteur shunt. La décharge du condensateur série (de 100 % à 10 % du niveau de protection) doit être terminée dans un temps correspondant typiquement au temps de pause du réenclenchement de la ligne.

Il peut être nécessaire d'avoir des bobines de décharge pour des condensateurs série protégés par des éclateurs.

### 2.5.2 Classification

La bobine de décharge est normalement conçue à isolement dans l'huile avec un noyau en fer, qui ne doit pas se saturer pendant les conditions normales d'exploitation du condensateur série. Quand il est exposé à une tension continue, le noyau en fer se sature, et décharge rapidement le condensateur.

Il convient de fournir les caractéristiques magnétiques sur demande. Elles peuvent être déterminées par mesure ou par calcul.

### 2.5.3 Essais

Les essais suivants doivent être réalisés. On doit faire une corrélation avec la CEI 289.

#### 2.5.3.1 Essais de type

##### 2.5.3.1.1 Mesure de la durée totale de décharge et de la constante de temps de décharge

Le but de l'essai est de vérifier que la durée totale de décharge, correspondant au passage de 100 % à 10 % de la tension du condensateur, se situe dans la valeur garantie (100 % correspond au niveau de protection). A titre d'orientation, la durée totale de décharge est habituellement inférieure au temps de pause correspondant au réenclenchement automatique du disjoncteur de réseau, c'est-à-dire 400 ms à 800 ms.

On doit de préférence réaliser l'essai en chargeant un condensateur sous une tension continue, puis en le déchargeant à travers la bobine de décharge. La tension de charge du segment de condensateur doit correspondre au niveau de protection.

##### 2.5.3.1.2 Essai de courant de décharge

Le but de l'essai est de vérifier que la bobine peut électriquement et mécaniquement supporter le courant dynamique lors d'une décharge du condensateur.

On doit de préférence réaliser l'essai en chargeant un condensateur sous une tension continue et puis en le déchargeant à travers la bobine de décharge. L'amplitude du courant de décharge doit être de 110 % du courant de décharge réel de l'installation, si le condensateur est au moins chargé au niveau de protection. L'essai doit être répété 10 fois.

Aucun dommage sur l'enroulement et les bornes de la bobine ne doivent survenir.

## 2.5 Discharge reactor

### 2.5.1 Purpose

The discharge reactor, if any, is firmly connected across the terminals of the capacitor segment. The purpose of the discharge reactor, is to drain the trapped d.c. charge of the series capacitor, during the dead time of the faulty line reclosure without closing the by-pass circuit-breaker. The discharge of the series capacitor from 100 % to 10 % of the protective level, shall be completed, typically within the dead time of line reclosure.

The discharge reactor, may be required for spark-gap protected series capacitors.

### 2.5.2 Classification

The discharge reactor is normally designed as an oil-insulated reactor with an iron core, that shall not saturate during normal operating conditions of the series capacitor. When exposed to a d.c. voltage, the iron core saturates, and rapidly discharges the capacitor.

Information of the magnetic characteristic should be supplied on request. These may be determined by measurement or by calculation.

### 2.5.3 Tests

The following tests shall be carried out. Coordination shall be made with IEC 289.

#### 2.5.3.1 Type tests

##### 2.5.3.1.1 Measurement of total discharge time and discharge time constant

The purpose of the test is to verify, that the total discharge time from 100 % to 10 % of the capacitor voltage (100 % corresponds to the protective level), is within the guaranteed value. As a guidance, the total discharge time, is usually specified to be less than the dead time of automatic line circuit-breaker reclosure i.e. 400 ms to 800 ms.

The test shall preferably be carried out by charging a capacitor with a d.c. voltage, and then discharging the capacitor through the discharge reactor. The charged voltage of the capacitor segment shall correspond to the protective level.

##### 2.5.3.1.2 Discharge current test

The purpose of the test is to verify, that the reactor can electrically and mechanically, withstand the dynamic current at a capacitor discharge.

The test shall preferably be carried out by charging a capacitor with a d.c. voltage, and then discharging the capacitor through the discharge reactor. The amplitude of the discharge current shall be 110 % of the actual discharge current of the installation, when the capacitor is charged to at least the protective level. The test shall be repeated 10 times.

No damage to the winding and the terminals of the reactor shall occur.

### 2.5.3.1.3 Essai d'aptitude à dissiper l'énergie

Le but de l'essai est de vérifier que la bobine peut absorber l'énergie spécifiée lors de décharges successives du condensateur. L'énergie par décharge et le nombre de décharges successives doivent être spécifiés. Voir les autres explications dans le guide.

On doit réaliser de préférence l'essai en chargeant un condensateur sous une tension continue, et puis en le déchargeant à travers la bobine de décharge. Chaque essai doit avoir une énergie qui est la somme des énergies du nombre spécifié de décharges successives du condensateur. L'essai doit être répété 5 fois avec une période de refroidissement entre les essais correspondant aux conditions réelles d'exploitation.

Aucun échauffement excessif, ni dommage ne doivent survenir dans la bobine de décharge.

### 2.5.3.2 Essais individuels

Les essais individuels suivants doivent être réalisés (voir également la CEI 289):

- mesure de la réactance initiale;
- mesure de la résistance initiale;
- mesure du rapport de transformation (si cela s'applique);
- essai de polarité, vérification des bornes (si cela s'applique);
- essai diélectrique à fréquence élevée aux bornes de l'enroulement;
- essai diélectrique entre bornes et cuve;
- essai diélectrique de l'enroulement secondaire (si cela s'applique);
- mesure des décharges partielles (CEI 44-4).

## 2.6 Transformateur de tension

### 2.6.1 But

Les transformateurs de tension dans les batteries de condensateurs série peuvent avoir différents buts:

- Pour les condensateurs série raccordés à des réseaux basse tension les transformateurs magnétiques de tension peuvent être utilisés pour mesurer la tension aux bornes du segment de condensateur (deux bornes haute tension) ou la tension phase-terre, (une borne haute tension et une borne basse tension ou à la terre). Les transformateurs magnétiques de tension peuvent aussi être utilisés comme un moyen de décharge. A comparer avec le 2.5.
- Pour les condensateurs série raccordés à des réseaux haute tension, les transformateurs de tension capacitifs (CVT) peuvent être utilisés pour mesurer la tension phase-terre. Les CVT peuvent aussi être utilisés comme source auxiliaire d'alimentation pour les matériels de protection et de commande installés sur la plate-forme (CVT inversés). Voir la section 3.

### 2.6.2 Classification

Les transformateurs de tension peuvent être classés selon l'endroit où ils sont situés:

- transformateurs de tension au potentiel de terre. Le niveau d'isolement doit correspondre à la tension du réseau;



### 2.5.3.1.3 *Energy dissipation capability test*

The purpose of the test is to verify, that the reactor can absorb the specified energy at consecutive capacitor discharges. The energy per discharge and the number of consecutive capacitor discharges shall be specified. See further clarifications in the guide.

The test shall preferably be carried out by charging a capacitor with d.c.-voltage, and then discharging the capacitor through the discharge reactor. Each shot shall have an energy which is the sum of the energies of the specified number of the consecutive capacitor discharges. The test shall be repeated five times with a cooling period in between tests consistent with actual operating practice.

No excessive temperature rise nor any damage to the discharge reactor shall occur.

### 2.5.3.2 *Routine tests*

The following routine tests shall be carried out (see also IEC 289):

- measurement of primary reactance;
- measurement of primary resistance;
- measurement of voltage ratio (if applicable);
- polarity test, verification of terminals (if applicable);
- dielectric test at raised frequency across winding;
- dielectric test between terminal and tank;
- dielectric test on secondary winding (if applicable);
- partial discharge measurement (IEC 44-4).

## 2.6 **Voltage transformer**

### 2.6.1 *Purpose*

Voltage transformers in series capacitor banks, may have different purposes:

- for series capacitors connected to low-voltage systems, magnetic voltage transformers may be used to measure the voltage across the capacitor segment (two high-voltage terminals) or the phase-to-earth voltage, (one high-voltage terminal and one low voltage or earthed terminal). Magnetic voltage transformers may also be used as a discharge device. Compare subclause 2.5.
- for series capacitors connected to high-voltage systems, capacitive voltage transformers (CVTs) may be used to measure phase-to-earth voltage. CVTs can also be used to supply auxiliary power to protection and control equipment located on the platform (inverted CVT). See section 3.

### 2.6.2 *Classification*

Voltage transformers may be classified with regard to where they are located:

- voltage transformer placed at earth potential. The insulation level shall correspond to the power-system voltage;

- transformateurs de tension au potentiel de la plate-forme. Le niveau d'isolement doit être conforme à la section 3 de la CEI 143.

### 2.6.3 Essais

Les essais (de type/individuel) des transformateurs de tension doivent être réalisés conformément à la CEI 186.

## 2.7 Transformateur de courant

### 2.7.1 But

Le but principal des transformateurs de courant est d'alimenter différents types de protection par relais:

- déséquilibre de la batterie de condensateurs;
- amorçage d'un éclateur shunt;
- surcharge d'une batterie de condensateurs, commande de réinsertion;
- courant sous-harmonique (s'il en existe);
- défaut de plate-forme;
- supervision d'une résistance non linéaire.

Les transformateurs de courant peuvent également être utilisés comme alimentation auxiliaire des matériels de protection et de commande situés sur la plate-forme.

### 2.7.2 Classification

Les transformateurs de courant peuvent être classés selon le potentiel auquel ils se trouvent:

- transformateurs de courant placés au potentiel de terre. Le niveau d'isolement doit correspondre à la tension du réseau;
- transformateurs de courant au potentiel de la plate-forme. Le niveau d'isolement doit être conforme à la section 3 de la CEI 143.

### 2.7.3 Essais

Les essais (de type/individuel) des transformateurs de courant doivent être réalisés conformément à la CEI 185.

## 2.8 Colonne de signal

### 2.8.1 But

Le but du système de transmission des signaux est de faire transiter l'information et/ou les signaux de commande depuis le niveau de la plate-forme vers le bâtiment de commande. De même les commandes provenant du bâtiment de commande et destinées au niveau de la plate-forme (par exemple la commande de déclenchement forcé) sont envoyées par l'intermédiaire du système de transmission.

Le système de transmission comprend trois sous-ensembles principaux: l'électronique de la plate-forme, la colonne de signal en fibre optique et le câble optique au niveau du sol. L'électronique de la plate-forme est traitée à l'article 2.9. Le câble optique au niveau du

- voltage transformers placed on platform potential. The insulation level shall be according to section 3 of IEC 143.

### 2.6.3 Tests

Tests (type/routine) of the voltage transformer, shall be made in accordance with IEC 186.

## 2.7 Current transformer

### 2.7.1 Purpose

The main purpose of current transformers, is to supply different types of relay protection:

- capacitor bank unbalance;
- by-pass gap flashover;
- capacitor bank overload, reinsertion control;
- subharmonic current (if any);
- fault to platform;
- supervision of non-linear resistor.

Current transformers may also be used to supply auxiliary power to protection and control equipment located on the platform.

### 2.7.2 Classification

Current transformers may be classified with regard to the potential where they are located:

- current transformers placed on ground potential. The insulation level shall correspond to the power-system voltage.
- current transformers placed on platform potential. The insulation level shall be according to section 3 of IEC 143.

### 2.7.3 Tests

Tests (type/routine) of the current transformers shall be made in accordance with IEC 185.

## 2.8 Signal column

### 2.8.1 Purpose

The purpose of the signal transmission system is to feed information and/or commands from the platform level down to the control cabinet inside the control building. Also the commands from the control cabinet up to the platform level (for instance forced triggering command) are sent through the signal transmission system.

The signal transmission system consists of three main sub-components: platform electronics, fibre optic signal column and fibre optic cable on ground level. The platform electronic is treated in clause 2.9. The ground level and platform level (if applicable) fibre

sol et au niveau de la plate-forme (si cela s'applique) peut être un type normalisé de câble optique utilisé dans les systèmes de télécommunication. Voir la CEI 794-1 et la CEI 794-2. La colonne de signal en fibre optique est traitée dans la présente section.

### 2.8.2 *Classification*

Les deux principaux types de colonnes de signal sont: la colonne de signal remplie d'huile et la colonne de signal de type composite. La dernière conception citée est la plus répandue.

### 2.8.3 *Essais*

#### 2.8.3.1 *Essais de type*

- a) Tenue aux chocs de foudre
- b) Tenue aux chocs de manoeuvre, à sec\*
- c) Tenue aux chocs de manoeuvre, sous pluie\*
- d) Tenue à fréquence industrielle, à sec
- e) Tension de perturbation radioélectrique (RIV)
- f) Mesure d'affaiblissement
- g) Essai en température

#### 2.8.3.2 *Essais individuels*

Mesure d'affaiblissement de la fibre sur des colonnes assemblées.

## 2.9 **Protection par relais, matériel de commande et matériel de liaison de la plate-forme au sol**

### 2.9.1 *But*

Le but du matériel de protection par relais est de surveiller toutes les fonctions d'exploitation des condensateurs série ainsi que les méthodes d'autosupervision pour la transmission des signaux de la plate-forme vers le sol et de fournir une fonction de protection en cas de défauts tels que le déséquilibre d'un condensateur, l'arc maintenu d'un éclateur, le contournement sur la plate-forme, etc. Normalement les protections initialisent le shuntage des condensateurs série, en fermant le disjoncteur shunt et/ou en déclenchant un éclateur.

Le but du matériel de commande est de fournir les fonctions de commande à l'exploitation des condensateurs série, telles que l'insertion et la mise en court-circuit.

Le but du matériel de liaison de la plate-forme au sol est de faire transiter l'information entre le matériel monté sur la plate-forme et le matériel installé au sol.

La liaison peut être réalisée par transfert des signaux sous formes mécanique, pneumatique, magnétique ou optique. Actuellement, le transfert des signaux sous forme optique au moyen de fibres optiques est la méthode la plus utilisée.

\* Ne s'applique pas pour les liaisons au niveau de la plate-forme.

optic cable can be a standard type of fibre optic cable used in telecommunication systems. See IEC 794-1 and 794-2. The fibre optic signal column is handled in this section.

### 2.8.2 *Classification*

There are two main types of signal columns: oil-filled signal column and composite type signal column. The latter design is the predominant in use.

### 2.8.3 *Tests*

#### 2.8.3.1 *Type tests*

- a) Lightning impulse withstand
- b) Switching impulse withstand, dry\*
- c) Switching impulse withstand, wet\*
- d) Power-frequency withstand, dry
- e) Radio interference voltage (RIV)
- f) Attenuation measurement
- g) Temperature test

#### 2.8.3.2 *Routine tests*

Fibre attenuation measurement on assembled columns.

## 2.9 **Relay protection, control equipment and platform to ground communication equipment**

### 2.9.1 *Purpose*

The purpose of the relay protection equipment, is to supervise all functions of the series capacitor installation as well as self-supervision methods for signal transmission from platform to earth and provide protective action in the event of faults such as capacitor unbalance, sustained gap arcing, flashover to platform etc. The protections normally initiate by-passing of the series capacitor, by closing the by-pass circuit-breaker and/or by triggering a spark gap.

The purpose of the control equipment is to provide control functions for the series capacitor installation, such as insertion and by-passing.

The purpose of the platform to ground communication equipment is to provide communication between the equipment mounted on the platform and the equipment located on the ground.

The communication can be accomplished by mechanic, pneumatic, magnetic or optic signal transfer. At present, optic signal transfer by means of fibre-optics, is the predominant method in use.

---

\* Not applicable for signal links on platform level.

## 2.9.2 Classification

Il convient d'inclure les protections suivantes dans les montages conventionnels à base d'éclateurs et dans les montages à base de varistances. Voir la CEI 143, annexe B, figure B3.

### a) Protections de base

- protection de déséquilibre des condensateurs;
- protection des éclateurs shunt;
- contournement de la plate-forme;
- protection contre la défaillance du disjoncteur shunt;
- contrôle du courant du réseau (facultatif).

### b) Protections complémentaires

Si cela est spécifié, les protections suivantes peuvent être fournies:

- protection contre la surcharge des condensateurs;
- protection contre les sous-harmoniques.

Si des varistances sont utilisées, les protections complémentaires suivantes sont nécessaires:

- protection contre les surcharges des varistances (courant, énergie et température);
- protection contre les défauts de varistances.

Si un éclateur à déclenchement forcé est utilisé, le système de déclenchement doit être contrôlé.

Les buts des différentes protections sont:

#### *Protection de déséquilibre des condensateurs*

La temporisation de la protection doit pouvoir être réglée. La protection doit fonctionner pour un déséquilibre créant, par exemple, plus de 10 % de surtension aux bornes des unités saines. Il doit y avoir un niveau d'alarme, dont le réglage correspond à 5 % de surtension, par exemple.

Cette protection peut être complétée par une protection de secours avec un réglage haut, qui mesure uniquement le courant de déséquilibre et qui donne le temps de fonctionnement le plus court possible avec un réglage correspondant à 20 % de surtension, par exemple aux bornes des unités saines pour un courant de charge de 100 %. La protection contre le déséquilibre doit court-circuiter la batterie en permanence et interdire la réinsertion.

NOTE – Le déséquilibre provoque la surcharge principalement pour les unités de condensateur situées dans le même groupe parallèle à celui qui est en défaut.

#### *Protection contre l'amorçage de la plate-forme (protection de la plate-forme)*

Chaque plate-forme doit être munie d'une protection de courant afin de court-circuiter rapidement et de façon permanente la batterie en cas d'amorçage entre la plate-forme et le matériel qui y est installé.



### 2.9.2 Classification

The following protections should be included both for conventional spark-gap scheme and for varistor scheme. See IEC 143, annex B, figure B3.

#### a) Basic protections

- capacitor unbalance protection;
- by-pass gap protection;
- flashover to platform;
- by-pass circuit-breaker failure protection;
- line current monitoring (optional).

#### b) Additional protections

If specified, the following protections can be provided:

- capacitor overload protection;
- subharmonic protection.

If varistors are used the following additional protections are needed:

- varistor overload protection (current, energy and temperature);
- varistor failure protection.

If a forced triggered gap is used, the triggering system of the gap shall be monitored.

The purposes of the different protections are:

#### *Capacitor unbalance protection*

The protection shall have an adjustable time delay. The protection shall function for unbalance giving more than for example 10 % overvoltage across healthy units. An alarm level shall be provided, the setting of which corresponds for example 5 % overvoltage.

This protection may be complemented with a back-up protection with a high setting which measures the unbalance current only and which gives the shortest possible function time and having a setting corresponding to for example 20 % overvoltage across healthy units at 100 % load current. The unbalance protection shall by-pass the bank permanently and block reinsertion.

NOTE – Unbalance causes overloading mainly for the capacitor units in the same parallel group as the faulty one.

#### *Flashover to platform protection (platform protection)*

Each platform shall be provided with a current-based protection for rapid permanent by-pass of the bank for flashover between the platform and equipment mounted on the platform.

### *Protection contre la surcharge des condensateurs*

(S'il y en a)

La protection doit prévenir les surtensions prolongées s'exerçant sur les unités de condensateur, en fermant le disjoncteur shunt, en cas de surcharge prolongée. Normalement la protection possède une caractéristique tension/courant à temps inverse, correspondant à l'aptitude en surcharge du condensateur, conformément à la publication 143 de la CEI.

### *Contrôle du courant du réseau*

Cette fonction est utilisée pour réaliser le blocage de certaines protections pour un courant de réseau faible, pour la commande de réinsertion, etc.

### *Protection de l'éclateur shunt*

En cas de conduction de l'éclateur, la protection doit provoquer la mise en court-circuit temporaire du segment, puis sa réinsertion quand l'éclateur a retrouvé son niveau d'isolement (schéma de l'éclateur) ou quand la varistance a retrouvé son aptitude thermique (schéma de la varistance). Mise en court-circuit permanente en cas d'amorçage prolongé de l'éclateur.

### *Protection contre les sous-harmoniques*

(S'il y en a)

La protection peut être capable de fonctionner, par exemple, dans la gamme de fréquences 5 Hz à 25 Hz pour 3 % à 20 % du courant assigné du condensateur. La protection peut avoir un retard pour la réinsertion de la batterie, après mise en court-circuit de celle-ci. Deux phases seulement ont besoin d'être munies de cette protection.

### *Protection contre les défaillances du disjoncteur shunt*

Chaque disjoncteur shunt doit avoir une protection contre les défaillances.

Chaque disjoncteur shunt doit être muni de bobines de fermeture en redondance.

Si le disjoncteur shunt ne peut se fermer, et si le défaut persiste, un ordre de fermeture est envoyé au disjoncteur shunt ou un ordre d'ouverture est envoyé au disjoncteur de réseau.

Il convient qu'un ordre de fermeture soit aussi donné aux sectionneurs shunt des autres segments.

### *Protection contre la surcharge des varistances*

Pour les condensateurs série protégés par des varistances, une protection contre la surcharge des varistances est nécessaire. La protection initialise la mise en court-circuit temporaire de la varistance en cas de surcharge. La protection doit avoir des canaux séparés pour le courant, l'énergie et la température de la varistance. La mise en court-circuit est normalement réalisée par l'amorçage d'un éclateur à déclenchement forcé et/ou la fermeture du disjoncteur shunt. Le condensateur série est automatiquement réinséré.

### *Protection contre les défauts de varistances*

La protection doit déceler les niveaux anormaux de courant circulant dans la varistance alors que le réseau n'est pas en défaut. La protection doit provoquer rapidement une mise en court-circuit permanente du module de condensateur.

### *Capacitor overload protection*

(If any)

The protection shall prevent prolonged overvoltages to stress the capacitor units, by closing the by-pass circuit-breaker, should a prolonged overvoltage condition occur. The protection normally has an inverse voltage/current-time characteristic, corresponding to the capacitor overload capability according to IEC 143.

### *Line current monitoring*

This function is used to provide blocking of certain protections at low line current, for reinsertion control, etc.

### *By-pass gap protection*

In the case of gap conduction, the protection shall result in the segment being temporarily by-passed and then reinserted when the gap has regained voltage withstand (gap scheme) or the varistor has regained the thermal capability (varistor scheme). Permanent by-pass in case of prolonged gap-arcing.

### *Subharmonic protection*

(If any)

The protection may be capable of working for example within the frequency range 5 Hz to 25 Hz at 3 % to 20 % of the rated capacitor current. The protection may after by-pass give a delayed reinsertion of the bank. Only two phases need to be provided with this protection.

### *By-pass circuit-breaker failure protection*

Each by-pass circuit-breaker shall have a protection against circuit-breaker failure.

Each by-pass circuit-breaker shall be equipped with redundant closing coils.

Should the by-pass circuit-breaker fail to close, and the fault still exists, a closing order is sent to the by-pass disconnector or an opening command is sent to the line circuit-breaker.

A closing command should also be given to the by-pass circuit-breakers in the other segments.

### *Varistor overload protection*

For series capacitors, protected by varistors, a varistor overload protection is required. The protection initiates temporary by-passing of the varistor in case of overload. The protection shall have separate channels for varistor current, varistor energy and varistor temperature. By-passing is normally carried out by firing of a forced triggered spark gap and/or closure of the by-pass circuit-breaker. The series capacitor is automatically reinserted.

### *Varistor failure protection*

The protection shall detect current of abnormal levels through the varistor during non-faulted line conditions. The protection shall give a rapid permanent by-pass of the capacitor module.

### 2.9.3 Essais

Les essais suivants sont recommandés. Une corrélation doit être réalisée avec les CEI 68-2-30, 255-6 et 654-1, -2, -4, sauf indication contraire.

#### 2.9.3.1 Essais de type

Au minimum les essais suivants doivent être réalisés.

Les essais cités doivent concerner le matériel situé sur la plate-forme, le matériel de liaison de la plate-forme vers le sol et le matériel au sol.

- a) Essai fonctionnel
- b) Essai climatique
- c) Essai diélectrique
- d) Essai de perturbations
- e) Essai mécanique.

#### 2.9.3.2 Essais individuels

Au minimum les essais suivants doivent être réalisés. Les essais cités doivent concerner le matériel situé sur la plate-forme, le matériel de liaison de la plate-forme vers le sol et le matériel au sol.

- a) Examen visuel
- b) Essais fonctionnels
- c) Essai de tenue diélectrique
- d) Essai de fonctionnement de 100 h.

NOTE – Les essais avant la mise en service, sur la protection par relais, le matériel de commande et le matériel de liaison de la plate-forme vers le sol sont normalement spécifiés. Ces essais sont réalisés avant la mise en service de la batterie en réseau. Voir la section 3.

## Section 3: Guide

### 3.1 Généralités

Un bref sommaire de quelques principes relatifs à l'application et au fonctionnement des condensateurs série est présenté ici.

### 3.2 Données spécifiques pour les condensateurs série

Il convient que l'acheteur fournisse au fabricant les données suivantes:

- réactance capacitive initiale et finale par phase ( $\Omega$ /phase)
- courants initial et final assignés par phase (A/phase)
- amplitude (A) et durée (s, min, h) du courant de surcharge maximal
- courant d'oscillation (A, s)
- niveau maximal de protection en tension (kV crête)
- niveau minimal de protection en tension (kV crête)
- courant de réinsertion maximal (A)

### 2.9.3 Tests

The following tests are recommended. Coordination shall be made with IEC 68-2-30, IEC 255-6 and IEC 654-1, -2, -4 unless otherwise stated.

#### 2.9.3.1 Type tests

The following tests shall be carried out as a minimum.

The listed test shall apply to the platform located part of the equipment, to the platform to ground communication equipment and to the ground located part of the equipment.

- a) Functional test
- b) Environmental test
- c) Dielectric test
- d) Disturbance test
- e) Mechanical test

#### 2.9.3.2 Routine tests

The following tests shall be carried out as a minimum. The listed tests shall apply to the platform located part of the equipment, to the platform to earth communication equipment and to the ground located part of the equipment.

- a) Visual examination
- b) Functional tests
- c) Dielectric withstand test
- d) 100 h burn-in test

NOTE – Precommissioning tests at site, on relay protection, control equipment and platform to earth communication equipment, are normally specified. These tests are performed before the bank is energized to the high-voltage network. See section 3.

## Section 3: Guide

### 3.1 General

A brief summary of some principles involved in the application and operation of series capacitors is presented here.

### 3.2 Specification data for series capacitors

The following data should be supplied to the manufacturer by the purchaser:

- initial and ultimate capacitive reactance per phase ( $\Omega$ /phase)
- initial and ultimate rated current per phase (A/phase)
- maximum emergency current magnitude (A) and duration (s, min, h)
- swing current (A, s)
- maximum protective voltage level (kV peak)
- minimum protective voltage level (kV peak)
- maximum reinsertion current (A)

- courant de défaut maximal dans le condensateur série, avec le condensateur série en court-circuit (kA)

NOTE – Ce courant est inférieur au courant de défaut total à la terre.

- vitesse de réinsertion à l'issue de l'élimination d'un défaut du réseau (externe), si un éclateur est utilisé (ms)
- longueur de la ligne (km)
- paramètres de la ligne (r/km, x/km, b/km) (composantes directe et homopolaire)
- emplacement du condensateur série\*
- type de relais de protection de ligne
- tension normale entre phases et tension la plus élevée du réseau (kV)
- niveau d'isolement entre la plate-forme de condensateurs et le sol (LIWL, SIWL, tenue de courte durée en tension à fréquence industrielle) (respectivement kV crête-kV crête-kV eff)
- altitude par rapport au niveau de la mer (m)
- vitesse de vent maximale (m/s)
- charge de glace maximale (N/m<sup>2</sup>)
- caractéristiques sismiques
- plage de température ambiante (°C)
- tensions d'alimentation disponibles au niveau du sol (V alternatif, V en continu)
- durée maximale admissible du courant de défaut (ms)
- durée minimale pour le réenclenchement du disjoncteur de réseau après l'élimination d'un défaut et nombre de cycles de fermeture (ms)
- nombre de voies nécessaires pour les fonctions de commande et d'alarme, au niveau du sol
- nombre minimal et fonctions des signaux de mise en service à gérer, si cela est demandé.

### 3.3 Eclateur de protection

Des éclateurs de protection sont utilisés dans les batteries de condensateurs série afin de protéger les unités de condensateur contre les surtensions (batterie de condensateurs série conventionnelle) ou afin de protéger la varistance à oxyde métallique contre la surchauffe (schéma de protection par varistance).

Il existe deux types principaux d'éclateurs en usage: l'éclateur avec arcs répétitifs (type L) et l'éclateur avec arc maintenu (type K). Les éclateurs peuvent être autodéclenchés ou à déclenchement forcé.

#### *Eclateur avec arcs répétitifs*

L'éclateur avec arcs répétitifs s'amorce quand la tension à ses bornes atteint la tension de réglage correspondant à son amorçage. Le segment de condensateur se décharge à travers l'éclateur et le courant de décharge est limité et amorti par le circuit

\* Un schéma unifilaire du réseau réel est préférable.



- maximum fault current through the series capacitor, with the series capacitor by-passed (kA)

NOTE - This current is smaller than the total fault current to earth.

- speed of reinsertion following clearing of system fault (external) when a gap is used (ms)
- line length (km)
- line parameters ( $r/\text{km}$ ,  $x/\text{km}$ ,  $b/\text{km}$ ) (positive and zero sequence components)
- series capacitor location\*
- type of line protection relays
- normal and highest phase-to-phase voltage of system (kV)
- insulation level between capacitor platform and ground: LIWL, SIWL, short duration power-frequency withstand voltage (kV peak-kV peak-kV r.m.s. respectively)
- elevation above sea level (m)
- maximum wind speed (m/s)
- maximum ice load ( $\text{N/m}^2$ )
- seismic requirements
- ambient temperature range ( $^{\circ}\text{C}$ )
- station supply voltages available at ground level (V a.c., V d.c.)
- maximum permissible fault-current duration (ms)
- minimum permissible line circuit-breaker reclosing time after clearing fault and number of reclosing operation (ms)
- required number and function of control and alarm channels required to ground level
- minimum number and functions of operation signals to be monitored, if requested.

### 3.3 Protective spark gap

Spark gaps are used in series capacitor banks in order to protect the capacitor units against overvoltages (conventional series capacitor bank) or to protect the metal oxide varistor against overheating (varistor protective scheme).

There are two main types of spark gaps in use: spark gap with repetitive arc (type L) and spark gap with sustained arc (type K). The spark gaps can be self-triggered or forced-triggered.

#### *Spark gap with repetitive arc*

The spark gap with repetitive arc flashes over when the voltage across it reaches the spark over setting of the gap. The capacitor segment is discharged through the spark gap and the discharge current is limited and damped by the damping circuit. When the line

\* One line diagram of the actual power system is preferable.

d'amortissement. Quand le courant du réseau passe par le point zéro, l'éclateur essaie d'éteindre l'arc. Cela est typiquement réalisé par soufflage magnétique ou pneumatique. Si le courant est suffisamment faible l'éclateur peut arriver à éteindre l'arc. Dans le cas contraire il réamorce. Plusieurs réamorçages consécutifs peuvent se produire avant de réussir la réinsertion. Les décharges répétées détériorent les unités de condensateur. Ces contraintes doivent être prises en compte pour la conception des unités et de leurs fusibles. La capacité d'absorption d'énergie de la résistance d'amortissement doit être soigneusement étudiée.

Avec une varistance il n'est pas possible d'utiliser un éclateur avec arcs répétitifs car la surchauffe de la varistance nécessite sa mise en court-circuit. La batterie ne peut être réinsérée qu'après un refroidissement suffisant de la varistance ou après la dissipation des points chauds à l'intérieur de la varistance.

#### *Eclateur avec arc maintenu*

L'éclateur avec arc maintenu s'amorce quand la tension à ses bornes atteint la tension de réglage correspondant à son amorçage. L'arc est maintenu jusqu'à son extinction par la fermeture du disjoncteur shunt ou par l'ouverture des disjoncteurs de réseau. Le segment de condensateur se décharge à travers le circuit d'amortissement et l'éclateur, une ou deux fois seulement. En conséquence la contrainte sur l'unité de condensateur et sur le circuit d'amortissement est beaucoup plus faible que dans le cas de l'éclateur avec arcs répétitifs.

#### *Eclateur autodéclenché*

L'éclateur utilisé pour les condensateurs série conventionnels est un éclateur autodéclenché. Il s'amorce quand la tension à ses bornes atteint le seuil de réglage.

L'éclateur autodéclenché doit avoir une tension de déclenchement précise, avec une tolérance de l'ordre de 3 % à 6 %.

#### *Eclateur à déclenchement forcé*

Dans le cas d'une varistance, la tension de déclenchement de l'éclateur est réglée pour être supérieure à la tension limite  $U_{lim}$ . L'éclateur est déclenché par un circuit de commande de déclenchement forcé dans le cas où la capacité thermique de la varistance à oxyde métallique est dépassée.

### **3.4 Résistance non linéaire (varistance)**

#### **3.4.1 Généralités**

Le but d'une varistance est de limiter la surtension temporaire aux bornes du condensateur en écoulant la surintensité du réseau, habituellement provoquée par des défauts du réseau, ce qui, dans le cas contraire, provoquerait une tension excessive aux bornes du condensateur. Cette condition se produit à chaque demi-période pendant la durée des surintensités. Voir la figure 4. La tension maximale aux bornes du condensateur série, qui en résulte, dépend des caractéristiques non linéaires «courant-tension» de la varistance et de l'amplitude de la surintensité. Comme la tension de la varistance s'accroît avec le courant, le niveau maximal de protection est habituellement défini par le courant maximal attendu dans la varistance pendant la durée du défaut en réseau. Voir la figure 3 plus loin.

current goes through its zero point, the spark gap tries to extinguish the arc. This is realized typically with magnetic blow or pressure air blow. If the current is low enough the spark gap may succeed to extinguish. If not it will spark over again. Several consecutive spark overs may occur before the reinsertion is successful. The repeated discharges will stress the capacitor units. This stress shall be taken into account in the design of the units and their fuses. The energy absorption capacity of the damping resistor shall be carefully studied.

In the varistor scheme it is not possible to use the spark gap with repetitive arc because the overheating of the varistor requires by-passing. The bank can be reinserted only after the varistor has cooled down sufficiently or temperature differences within the varistor have vanished.

#### *Spark gap with sustained arc*

The spark gap with sustained arc flashes over when the voltage across it reaches the spark over setting of the gap. The arc continues to burn until it is extinguished either by closing the by-pass circuit-breaker or by opening the line circuit-breakers. The capacitor segment is discharged through the damping circuit and gap only once or twice. Therefore the stress on the capacitor units and damping circuit is much lower than in the case of the spark gap with repetitive arc.

#### *Self-triggered spark gap*

The spark gap used for the conventional series capacitor is the self-triggered type spark gap. It sparks over when the voltage across its terminals reaches the spark over setting.

The self-triggered spark gap shall have an accurate spark over voltage tolerance in the order of 3 % to 6 %.

#### *Forced triggered spark gap*

In the varistor scheme, the self-triggering voltage of the spark gap is adjusted to be higher than the limiting voltage  $U_{lim}$ . The spark gap is triggered by a forced triggering control circuit in case the thermal capability of the metal oxide varistor is exceeded.

### **3.4 Non-linear resistor (varistor)**

#### **3.4.1 General**

The purpose of the varistor is to limit the temporary overvoltage across the capacitor by conducting the excess transmission line current, usually due to power-system faults, that would otherwise cause excessive capacitor voltage. This condition occurs on each half-cycle during the duration of the overcurrent condition. See figure 4. The maximum voltage that results across the series capacitor is dependent upon the non-linear voltage-current characteristics of the varistor and the magnitude of the excess-current. Because the varistor voltage increases with current, the maximum protective level is usually defined at the maximum expected varistor current during a power-system fault. See figure 3 further.

Le choix du niveau de protection de la varistance doit tenir compte des tensions associées aux courants hors défaut dans les condensateurs série, tels que:

- courant normal et assigné
- courants de surcharge (amplitude/durée)
- courants d'oscillation

La varistance doit supporter ces tensions, après avoir été exposée à une injection d'énergie de courte durée à valeur assignée. La température ambiante maximale doit être prise en compte.

La varistance doit être conçue pour l'énergie maximale à laquelle elle sera exposée en situation de défaut en réseau. Les situations de défaut pour lesquelles la varistance doit être conçue sont habituellement spécifiées dans un cycle de fonctionnement sur défaut établissant les types de défaut, la durée des défauts et le temps de repos entre les défauts successifs. Le temps de repos peut être un facteur décisif pour la conception de la varistance. Un exemple de cycle de fonctionnement sur défaut est indiqué dans le tableau 1.

**Tableau 1 – Sommaire des critères de conception d'une varistance pour absorber l'énergie (Exemple)**

| Type de défaut                                                                                                                           | Durée                                          |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| <b>Externe</b>                                                                                                                           |                                                |
| Phase-terre                                                                                                                              | 5 périodes, 0,5 s d'ouverture<br>12 périodes   |
| Entre phases                                                                                                                             | 5 périodes, 0,5 s d'ouverture<br>12 périodes   |
| Triphasé                                                                                                                                 | 12 périodes                                    |
| <b>Interne</b>                                                                                                                           |                                                |
| Phase-terre                                                                                                                              | 5 périodes*, 0,5 s d'ouverture<br>12 périodes* |
| Entre phases                                                                                                                             | 5 périodes*, 0,5 s d'ouverture<br>12 périodes* |
| Triphasé                                                                                                                                 | 12 périodes*                                   |
| * La varistance peut être mise en court-circuit par l'éclateur de secours pendant les 5 périodes et les 12 périodes de défauts internes. |                                                |

L'énergie qui est développée pendant un cycle spécifié de fonctionnement sur défaut, dans une varistance protégeant un condensateur série, dépend principalement des facteurs indiqués ci-dessous:

- amplitude du courant dans la varistance
- caractéristiques «tension-courant» de la varistance
- durée totale du défaut
- instant de l'apparition du défaut

Selection of the protective level of the varistor shall consider the voltages associated with non-fault currents through the series capacitor such as:

- normal and rated current
- emergency currents (magnitude/duration)
- swing currents

The varistor shall withstand these voltages, after having been exposed to rated short-time energy injection. Maximum ambient temperature shall be considered.

The varistor shall be designed for the maximum energy it will be exposed to during a defined fault situation in the network. The fault-situations for which the varistor shall be designed is usually specified in a fault duty cycle stating types of faults, fault duration and pause time between successive faults. The length of the pause time may be a decisive factor on the design of the varistor. An example of a fault duty cycle is shown in table 1.

**Table 1 – Summary of varistor energy absorption design criteria (example)**

| Fault type                                                                                                      | Time duration                         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| <b>External</b><br>phase-to-earth                                                                               | 5 cycles, 0,5 s open –<br>12 cycles   |
| Phase to phase                                                                                                  | 5 cycles, 0,5 s open –<br>12 cycles   |
| Three-phase                                                                                                     | 12 cycles                             |
| <b>Internal</b><br>phase-to-earth                                                                               | 5 cycles*, 0,5 s open –<br>12 cycles* |
| Phase to phase                                                                                                  | 5 cycles*, 0,5 s open –<br>12 cycles* |
| Three phase                                                                                                     | 12 cycles*                            |
| * The varistor may be by-passed by the back-up gap during the 5 cycles and 12 cycles period of internal faults. |                                       |

The energy which is developed during a specified fault duty cycle in a varistor protecting a series capacitor depends mainly on the factors listed below:

- varistor current magnitude
- voltage-current characteristics of the varistor
- total fault duration
- instant of fault inception

Le processus du développement de l'énergie est illustré dans les formes d'onde indiquées à la figure 4, plus loin.

Le courant, la tension et l'énergie des formes d'onde pour un défaut interne entre phase et terre sont indiqués.

Une philosophie communément utilisée pour réduire les prescriptions relatives à l'énergie, et par conséquent le coût d'une varistance, est d'autoriser une mise en court-circuit rapide de la varistance au moyen d'un éclateur déclenché pour les défauts sur la section de ligne compensée (défauts internes). Cependant, la varistance doit être conçue pour supporter l'énergie issue des cycles de fonctionnement sur défaut, à l'extérieur de la section de ligne compensée (défauts externes), sans mise en court-circuit rapide. Voir le tableau 1.

Une étude sur ordinateur des régimes électromagnétiques transitoires, basée sur les caractéristiques du réseau (impédances directe et homopolaire), et les caractéristiques de la varistance sont généralement nécessaires pour déterminer le dimensionnement correct de la varistance et ses caractéristiques assignées. L'absorption d'énergie doit correspondre aux combinaisons les plus contraignantes entre le type de défaut, la durée du défaut et les pratiques de réenclenchement, par exemple deux défauts monophasés ou un défaut triphasé.

#### *Informations demandées sur le réseau*

- Impédances directe et homopolaire du réseau équivalent
- Courbes de charge
- Durée maximale d'élimination du premier défaut
- Durée du réenclenchement après élimination du premier défaut
- Nombre de réenclenchements
- Durée maximale d'élimination en secours
- Durée du réenclenchement après élimination en secours

#### *3.4.2 Caractéristique «tension-courant» d'une varistance*

Les caractéristiques «tension-courant» typiques d'un disque donné d'oxyde métallique sont indiquées en figure 3 ci-après. La tension assignée du condensateur série, la tension de référence et le niveau de protection de la varistance sont précisés.

Historiquement, les caractéristiques «tension-courant» des résistances non linéaires ont été décrites selon une formule

$$I = kU^{\alpha}$$

où  $k$  et  $\alpha$  sont des constantes pour un matériau donné. Si une telle formule est utilisée pour la composante résistive du courant, dans les disques d'oxyde métallique, on doit mettre en exergue qu'un exposant unique ne peut décrire la caractéristique complète. Les exposants qui s'appliquent dépendent de la zone de conduction et peuvent varier entre 3 et 50. Même dans une zone particulière, des nombres généralisés ne s'appliquent pas et les caractéristiques réelles de la varistance doivent être utilisées pour la détermination des constantes.



The energy development process is illustrated in the waveforms shown in figure 4 further.

Current, voltage and energy waveforms for an internal phase-to-earth fault are shown.

A commonly used philosophy to reduce the energy requirements and hence the cost of a varistor is to allow fast by-passing of the varistor by means of the triggered gap for faults on the compensated line section (internal faults). However, the varistor shall be designed to withstand the energy from specified fault duty cycles outside the compensated line section (external faults) without fast by-passing. See table 1.

An electromagnetic transients computer study based on system short-circuit equivalents, transmission line parameters (positive and zero sequence) and varistor characteristics is generally required to determine the proper size and ratings of the varistors. The energy absorption shall correspond to the worst possible combination of fault type, fault duration and reclosing practices for example two phase-to-earth faults or one three-phase fault.

#### *Required system information*

- equivalent system positive and zero-sequence impedances
- system load flows
- maximum primary fault-clearing time
- reclosing time after primary fault clearing
- number of reclosures
- maximum total back-up clearing time
- reclosing time after back-up clearing

#### *3.4.2 Varistor voltage-current characteristic*

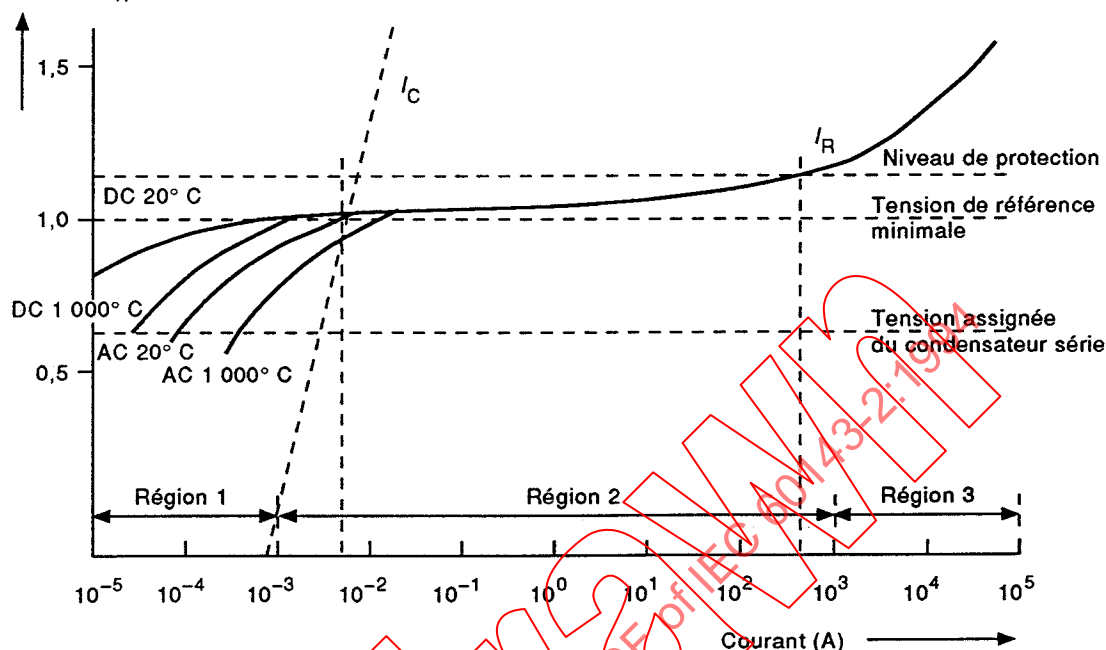
Typical voltage-current characteristics of one specific metal-oxide disc is shown in figure 3 hereafter. Series capacitor rated voltage, reference voltage and protective level of the varistor are indicated.

Historically, the U-I-characteristics of a non-linear resistor have been described by a formula

$$I = kU^{\alpha}$$

where k and  $\alpha$  are constants for a specific material. If such a formula is used for the resistive component of the current through metal oxide discs, it shall be emphasized that a single exponent cannot describe the complete characteristic. The applicable exponents depend on the conduction region and can vary between 3 and 50. Even in a specific region generalized numbers are not applicable and the actual varistor characteristic shall be used for the determination of the constants.

Tension (en unités relatives de la tension de référence minimale (valeur crête))



CEI 675194

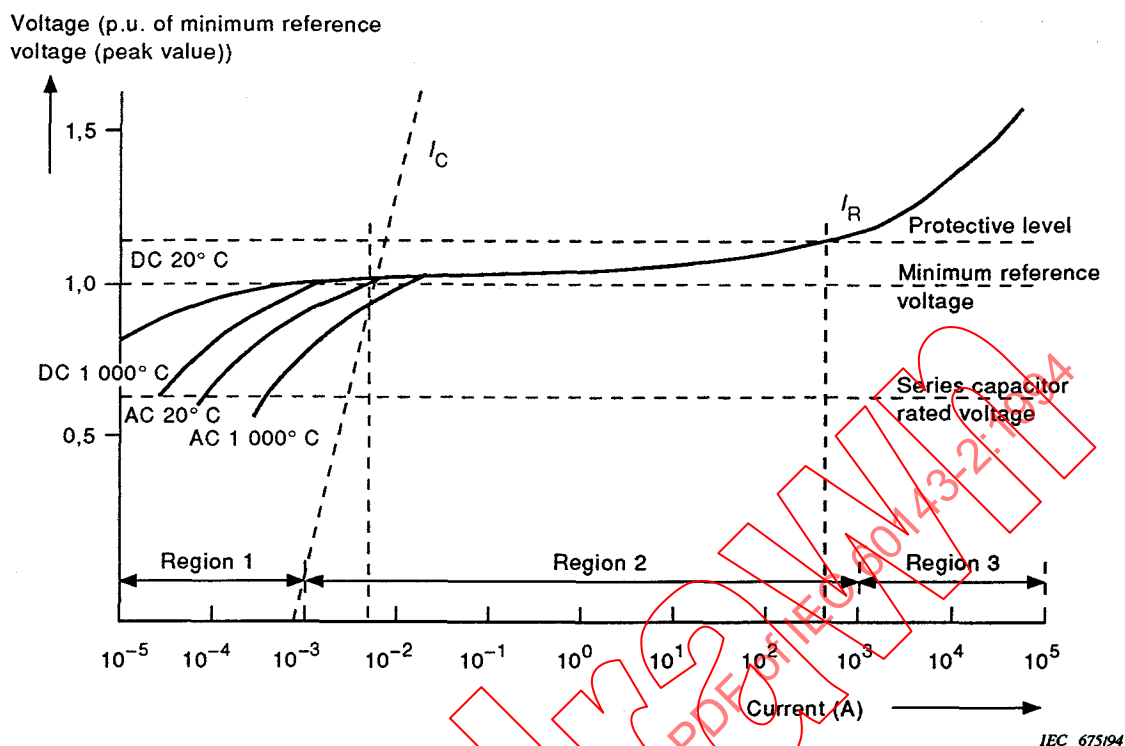
$I_R$  = Composante résistive

$I_c$  = Composante capacitive

**Figure 3 – Caractéristiques typiques «tension-courant» d'un disque particulier d'oxyde métallique (80 mm de diamètre, 20 mm de hauteur)**

### 3.4.3 Formes d'ondes du courant et de la tension d'une varistance pendant un défaut en réseau

Les formes d'ondes correspondant au courant, à la tension et à l'énergie, pour un défaut entre phase et terre, sont indiquées dans les schémas ci-après.



$I_R$  = Resistive component

$I_C$  = Capacitive component

**Figure 3 – Typical voltage-current characteristics of one specific metal oxide disc (80 mm diameter, 20 mm height)**

### 3.4.3 Varistor current and voltage waveforms during a system fault

Current, voltage and energy waveforms for a phase-to-earth fault are shown in the diagrams hereafter.