

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

143-1

Troisième édition
Third edition
1992-07

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

Partie 1: Généralités –
Caractéristiques fonctionnelles, essais et
valeurs assignées –
Règles de sécurité –
Guide d'installation et d'exploitation

Series capacitors for power systems

Part 1: General –
Performance, testing and rating –
Safety requirements –
Guide for installation



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 143-1: 1992

Numéros des publications

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

Publications consolidées

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

Validité de la présente publication

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

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

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

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

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

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

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

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

Numbering

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

Consolidated publications

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

Validity of this publication

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

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

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

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

Terminology, graphical and letter symbols

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

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

* See web site address on title page.

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

143-1

Troisième édition
Third edition
1992-07

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

Partie 1: Généralités –
Caractéristiques fonctionnelles, essais et
valeurs assignées –
Règles de sécurité –
Guide d'installation et d'exploitation

Series capacitors for power systems

Part 1: General –
Performance, testing and rating –
Safety requirements –
Guide for installation

© IEC 1992 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 photo-
copie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

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

International Electrotechnical Commission
Telefax: +41 22 919 0300

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



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

X

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

IECNORM.COM :: Click to view the full PDF of IEC 60143-1:1992

Withdrawn

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

**Series capacitors
for power systems**

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

*Sur les première et troisième pages de la couverture, en page 1 et dans tous les titres courants, au lieu de **CEI 143**
lire: **CEI 143-1***

Sur la couverture et en pages 1, 6 et 8, au lieu du titre

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

lire le nouveau titre:

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

Partie 1:

Généralités –

Caractéristiques fonctionnelles,
essais et valeurs assignées –

Règles de sécurité –

Guide d'installation et
d'exploitation

Page 10

1.2 *Références normatives*

Au troisième alinéa depuis le bas de la page, au lieu de:

**«CEI 816: 1986, Guide pour le choix des
isolateurs sous pollution»,**

lire:

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

*On the first and third cover pages, in page 1, and in all the running heads, instead of **IEC 143**
read: **IEC 143-1***

On the cover page, and on pages 1, 7 and 9 instead of title

**Series capacitors for power
systems**

read the new title:

**Series capacitors for power
systems**

Part 1:

General –

Performance, testing and rating –

Safety requirements –

Guide for installation

Page 11

1.2 *Normative references*

In the third from last paragraph instead of:

**"IEC 816: 1986, Guide for the selection of
insulators in respect of polluted conditions"**

read:

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

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	6

SECTION 1: GÉNÉRALITÉS

Articles

1.1	Domaine d'application et objet	8
1.2	Références normatives	10
1.3	Définitions	12
1.4	Conditions de service	18

SECTION 2: PRESCRIPTIONS DE QUALITÉ ET ESSAIS

2.1	Prescriptions relatives aux essais	22
2.2	Classification des essais	24
2.3	Mesure de la capacité (essai individuel)	26
2.4	Mesure des pertes du condensateur (essai individuel)	28
2.5	Essai de tenue en tension entre bornes (essai individuel)	30
2.6	Essai diélectrique en tension alternative entre bornes et cuve (essai individuel)	30
2.7	Essai du dispositif interne de décharge (essai individuel)	30
2.8	Essai d'étanchéité (essai individuel)	30
2.9	Essai de stabilité thermique (essai de type)	32
2.10	Essai diélectrique en tension alternative entre bornes et cuve (essai de type)	34
2.11	Essai de tension de choc de foudre entre bornes et cuve (essai de type)	36
2.12	Essai de tenue au froid (essai de type)	38
2.13	Essai de courant de décharge (essai de type)	40

SECTION 3: NIVEAUX D'ISOLEMENT

3.1	Tensions d'essai	42
3.2	Lignes de fuite	46

CONTENTS

	Page
FOREWORD	7
SECTION 1: GENERAL	
Clause	
1.1 Scope and object	9
1.2 Normative references	11
1.3 Definitions	13
1.4 Service conditions	19
SECTION 2: QUALITY REQUIREMENTS AND TESTS	
2.1 Test requirements	23
2.2 Classification of tests	25
2.3 Capacitance measurement (routine test)	27
2.4 Capacitor loss measurement (routine test)	29
2.5 Voltage test between terminals (routine test)	31
2.6 A.C. voltage test between terminals and container (routine test)	31
2.7 Test on internal discharge device (routine test)	31
2.8 Sealing test (routine test)	31
2.9 Thermal stability test (type test)	33
2.10 A.C. voltage test between terminals and container (type test)	35
2.11 Lightning impulse voltage test between terminals and container (type test)	37
2.12 Cold duty test (type test)	39
2.13 Discharge current test (type test)	41
SECTION 3: INSULATION LEVEL	
3.1 Test voltages	43
3.2 Creepage distance	47

SECTION 4: SURCHARGES ET SURTENSIONS

4.1 Courants de service	50
4.2 Surtensions transitoires	52

SECTION 5: RÈGLES DE SÉCURITÉ

5.1 Dispositifs de décharge	52
5.2 Connexions de masse	52
5.3 Protection de l'environnement	54
5.4 Autres règles de sécurité	54

SECTION 6: MARQUAGE

6.1 Marquage des condensateurs unitaires	54
6.2 Marquage des batteries de condensateurs	56

SECTION 7: GUIDE DE SÉLECTION DES CARACTÉRISTIQUES ASSIGNÉES ET POUR L'INSTALLATION ET L'EXPLOITATION

7.1 Généralités	58
7.2 Choix des valeurs assignées de la tension et du courant	58
7.3 Capacité	62
7.4 Température de service	62
7.5 Conditions spéciales	64
7.6 Dispositifs de protection et de commutation	64
7.7 Choix du niveau d'isolement	72
7.8 Phénomènes perturbateurs	74

ANNEXES

A Règles d'essais et guide d'application pour coupe-circuit externes et unités à protéger par coupe-circuit externes	78
B Exemples de schémas de connexion de segments ou de batteries d'une phase	86
C Précautions à prendre pour éviter la pollution de l'environnement par les polychlorobiphényles	88
D Bibliographie	90

SECTION 4: OVERLOADS AND OVERVOLTAGES

4.1	Working currents	51
4.2	Transient overvoltages	53

SECTION 5: SAFETY REQUIREMENTS

5.1	Discharge device	53
5.2	Container connection	53
5.3	Protection of the environment	55
5.4	Other safety requirements	55

SECTION 6: MARKINGS

6.1	Markings of the unit	55
6.2	Markings of the bank	57

SECTION 7: GUIDE FOR SELECTION OF RATINGS, AND
FOR INSTALLATION AND OPERATION

7.1	General	59
7.2	Choice of rated current and voltage ratings	59
7.3	Capacitance	63
7.4	Operating temperature	63
7.5	Special conditions	65
7.6	Protective and switching devices	65
7.7	Choice of insulation level	73
7.8	Disturbing phenomena	75

ANNEXE

A	Test requirements and application guide for external fuses and units to be externally fused	79
B	Some examples of connection diagrams of phase banks or segments	87
C	Precautions to be taken to avoid pollution of the environment by polychlorinated biphenyls	89
D	Bibliography	91

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

CONDENSATEURS SÉRIE DESTINÉS À ÊTRE INSTALLÉS SUR DES RÉSEAUX

AVANT-PROPOS

- 1) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par des Comités d'Etudes où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 2) Ces décisions constituent des recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 3) Dans le but d'encourager l'unification internationale, la CEI exprime le vœu que tous les Comités nationaux adoptent dans leurs règles nationales le texte de la recommandation de la CEI, dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Toute divergence entre la recommandation de la CEI et la règle nationale correspondante doit, dans la mesure du possible, être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

La présente Norme internationale a été établie par le Comité d'Etudes n° 33 de la CEI: Condensateurs de puissance.

Cette troisième édition de la CEI 143 remplace la deuxième édition, parue en 1972.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

DIS	Rapport de vote
33(BC)101	33(BC)104

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

L'annexe A fait partie intégrante de la présente Norme internationale. Les annexes B, C et D sont données uniquement à titre d'information.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

SERIES CAPACITORS FOR POWER SYSTEMS

FOREWORD

- 1) 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.
- 2) They have the form of recommendations for international use and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 3) In order to promote international unification, the IEC expresses the wish that all National Committees should adopt the text of the IEC recommendation for their national rules in so far as national conditions will permit. Any divergence between the IEC recommendation and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter.

This International Standard has been prepared by IEC Technical Committee No. 33: Power capacitors.

This third edition of IEC 143 replaces the second edition issued in 1972.

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

DIS	Report on Voting
33(CO)101	33(CO)104

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

Annex A forms an integral part of this International Standard. Annexes B to D are for information only.

CONDENSATEURS SÉRIE DESTINÉS À ÊTRE INSTALLÉS SUR DES RÉSEAUX

SECTION 1: GÉNÉRALITÉS

1.1 Domaine d'application et objet

La présente Norme internationale s'applique aux condensateurs unitaires et aux batteries de condensateurs destinés à être raccordés en série sur une ligne de transport ou de distribution d'énergie faisant partie d'un réseau alternatif de fréquence comprise entre 15 Hz et 60 Hz.

Les condensateurs série et les batteries de condensateurs série sont habituellement destinés aux réseaux d'énergie à haute tension. Cette norme s'applique à toute la gamme de tensions.

NOTES

- 1 Les prescriptions complémentaires applicables aux condensateurs protégés par des coupe-circuit internes ainsi que les prescriptions applicables à ces coupe-circuit figurent dans la CEI 595.
- 2 Les autres règles complémentaires applicables aux condensateurs protégés par des coupe-circuit externes ainsi que les prescriptions applicables à ces coupe-circuit sont données en annexe A.
- 3 Cette norme ne s'applique pas aux condensateurs avec diélectrique métallisé du type autorégénérateur.
- 4 Même s'ils sont connectés en série avec un circuit, les condensateurs suivants sont exclus de la présente norme:
 - condensateurs pour installations de production de chaleur par induction (CEI 110);
 - condensateurs pour moteurs et similaires (CEI 252);
 - condensateurs destinés à être utilisés dans les circuits électroniques de puissance (CEI 1071);
 - condensateurs pour lampes à décharge (CEI 566).
- 5 Une norme séparée est à l'étude pour les accessoires des condensateurs série (éclateurs, résistances non linéaires, enroulements à décharge, résistances d'amortissement, disjoncteurs, etc.).
- 6 Les accessoires standards tels que les isolateurs, commutateurs, transformateurs de mesure, coupe-circuit externes, etc., doivent être conformes aux prescriptions de la norme CEI correspondante.

La présente norme a pour objet:

- de formuler des règles uniformes en ce qui concerne la qualité, les essais et les caractéristiques assignées;
- de formuler des règles spécifiques de sécurité;
- de servir de guide pour l'installation et pour l'exploitation.

SERIES CAPACITORS FOR POWER SYSTEMS

SECTION 1: GENERAL

1.1 Scope and object

This International Standard applies both to capacitor units and capacitor banks intended to be used connected in series with an a.c. transmission or distribution line or circuit forming part of an a.c. power system having a frequency of 15 Hz to 60 Hz.

The series capacitor units and banks are usually intended for high voltage power systems. This standard is applicable to the complete voltage range.

NOTES

- 1 Additional requirements for capacitors to be protected by internal fuses as well as the requirements for internal fuses are found in IEC 595.
- 2 Additional requirements for capacitors to be protected by external fuses as well as the requirements for external fuses are found in annex A.
- 3 This standard does not apply to capacitors of the self-healing metallized dielectric type.
- 4 The following capacitors, even if connected in series with a circuit, are excluded from this standard:
 - capacitors for inductive heat-generating plants (IEC 110);
 - capacitors for motor applications and the like (IEC 252);
 - capacitors to be used in power electronics circuits (IEC 1071);
 - capacitors for discharge lamps (IEC 566).
- 5 A separate standard for series capacitor accessories (spark-gaps, non-linear resistors, discharge reactors, damping resistors, breakers, etc.) is under consideration.
- 6 Standard type of accessories such as insulators, switches, instrument transformers, external fuses, etc., shall comply with the pertinent IEC standard.

The object of this standard is

- to formulate uniform rules regarding performance, testing and rating;
- to formulate specific safety rules;
- to provide a guide for installation and operation.

1.2 Références normatives

Les normes suivantes contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente Norme internationale. Au moment de la publication de cette norme, les éditions indiquées étaient en vigueur. Toute norme est sujette à révision et les parties prenantes aux accords fondés sur la présente Norme internationale sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des normes indiquées ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

CEI 50(436): 1990, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 436: Condensateurs de puissance.*

CEI 60, *Techniques des essais à haute tension.*

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

CEI 60-2: 1973, *Techniques des essais à haute tension – Deuxième partie: Modalités d'essais.*

CEI 60-3: 1976, *Techniques des essais à haute tension – Troisième partie: Dispositifs de mesure.*

CEI 60-4: 1977, *Techniques des essais à haute tension – Quatrième partie: Guide d'application des dispositifs de mesure.*

CEI 71, *Coordination de l'isolement.*

CEI 71-1: 1976, *Coordination de l'isolement – Première partie: Termes, définitions, principes et règles.*

CEI 71-2: 1976, *Coordination de l'isolement – Deuxième partie: Guide d'application.*

CEI 71-3: 1982, *Coordination de l'isolement – Troisième partie: Coordination de l'isolement entre phases. Principes, règles et guide d'application.*

CEI 549: 1976, *Coupe-circuit à fusibles haute tension destinés à la protection externe des condensateurs de puissance en dérivation.*

CEI 595: 1977, *Coupe-circuit internes pour condensateurs série.*

CEI 816: 1985, *Guide pour le choix des isolateurs sous pollution.*

CEI 871-2: 1987, *Condensateurs shunt destinés à être installés sur des réseaux à courant alternatif avec tension assignée supérieure à 660 V – Deuxième partie: Essais d'endurance.*

CEI 996: 1989, *Méthode de vérification de la précision des mesures de la tangente de l'angle de pertes applicable aux condensateurs.*

1.2 Normative references

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

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

IEC 60, *High-voltage test techniques*.

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

IEC 60-2: 1973, *High-voltage test techniques – Part 2: Test procedures*.

IEC 60-3: 1976, *High-voltage test techniques – Part 3: Measuring devices*.

IEC 60-4: 1977, *High-voltage test techniques – Part 4: Application guide for measuring devices*.

IEC 71, *Insulation co-ordination*.

IEC 71-1: 1976, *Insulation co-ordination – Part 1: Terms, definitions, principles and rules*.

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

IEC 71-3: 1982, IEC 71-1: 1976, *Insulation co-ordination – Part 3: Phase-to-phase insulation co-ordination. Principles, rules and application guide*.

IEC 549: 1976, *High-voltage fuses for the external protection of shunt power capacitors*.

IEC 595: 1977, *Internal fuses for series capacitors*.

IEC 816: 1986, *Guide for the selection of insulators in respect of polluted conditions*.

IEC 871-2: 1987, *Shunt capacitors for a.c. power systems having a rated voltage above 660 V. Part 2: Endurance testing*.

IEC 996: 1989, *Method for verifying accuracy of tan delta measurements applicable to capacitors*.

1.3 Définitions

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

1.3.1 élément de condensateurs (ou élément): Dispositif constitué essentiellement par deux électrodes séparées par un diélectrique. [VEI 436-01-03 modifié]

1.3.2 condensateur unitaire (ou unité): Ensemble d'un ou plusieurs éléments de condensateurs placés dans une même enveloppe et reliés à des bornes de sortie. [VEI 436-01-04 modifié]

1.3.3 batterie de condensateurs série d'une phase (ou batterie d'une phase): Ensemble de condensateurs unitaires reliés à une phase afin de fonctionner ensemble y compris le(s) système(s) de protection de ces condensateurs, etc. (voir figure 1).

1.3.4 segment (de condensateurs série): Lorsque la batterie d'une phase est divisée en plusieurs ensembles connectés en série, chacun contenant son propre assemblage de condensateurs unitaires et de système(s) de protection, chaque ensemble complet est appelé un segment (voir figure 1).

1.3.5 batterie de condensateurs série (ou batterie): Batteries triphasées fonctionnant ensemble (voir figure 1). [VEI 436-01-06 modifié]

1.3.6 module (de condensateurs série): Groupe commutable de condensateurs série composé de segments identiques sur chaque phase, et qui de plus est équipé de dispositifs de dérivation sur chaque segment pour un fonctionnement commun (voir figure 1).

NOTE - Si une opération de maintenance est exigée sur un (ou des) segment(s) d'un module qui a été mis hors circuit quand les autres modules restent en service, des dispositifs d'interruption en série permettant sa mise hors service (avec d'autres prescriptions de sécurité pour le personnel) sont exigés sur chaque segment.

1.3 Definitions

For the purposes of this International Standard, the following definitions apply:

1.3.1 capacitor element (or element): A device consisting essentially of two electrodes separated by a dielectric. [IEV 436-01-03 modified]

1.3.2 capacitor unit (or unit): An assembly of one or more capacitor elements in the same container with terminals brought out. [IEV 436-01-04 modified]

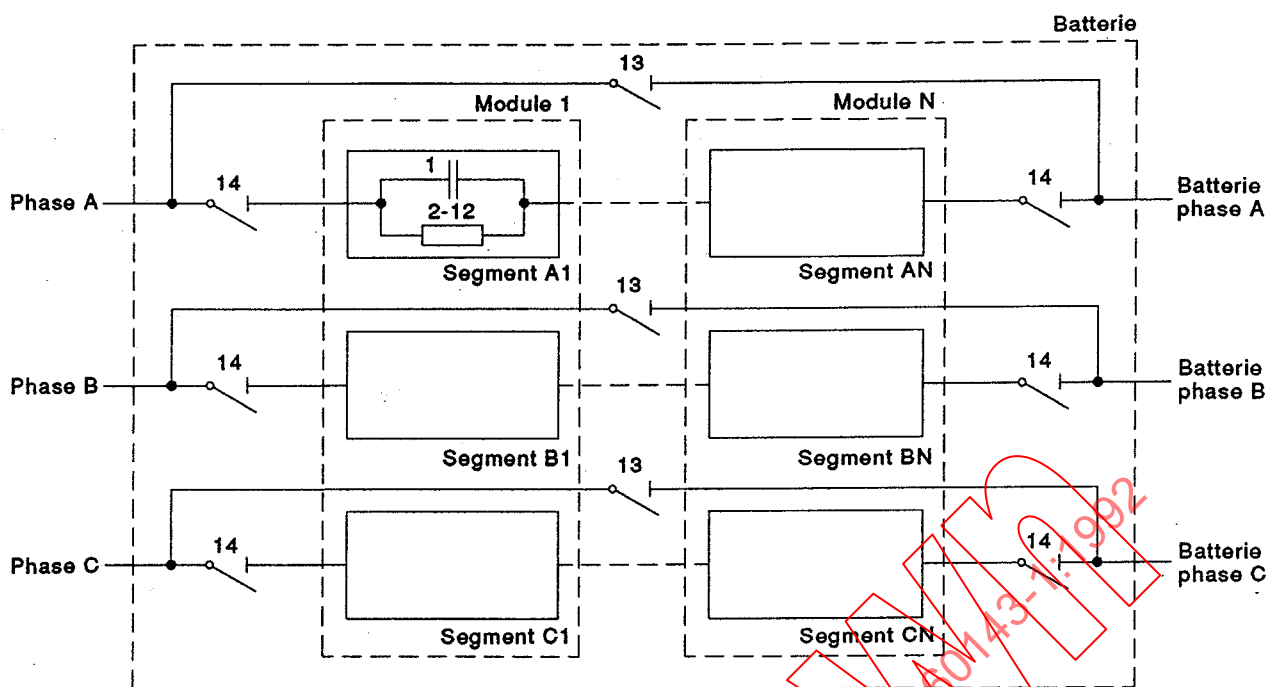
1.3.3 series capacitor phase bank (or phase bank): An assembly of capacitor units connected in one phase so as to act together, the protection system(s) for these capacitors, etc. (see figure 1).

1.3.4 segment (of a series capacitor): Where the phase bank is divided into several series-connected parts of which each part contains its own assembly of capacitor units and protection system(s) each such complete part is called segment (see figure 1).

1.3.5 series capacitor bank (or bank): The three-phase banks operated in common (see figure 1). [IEV 436-01-06 modified]

1.3.6 module (of a series capacitor): A switchable step of a series capacitor consisting of identical segments in each phase (see figure 1), which furthermore also are equipped with provisions for a common operation of the by-pass device at each of these segments.

NOTE - If maintenance is required on the segment(s) of a by-passed module when the remaining module(s) of the series capacitor remains in operation also series disconnecting devices (and other personal safety requirements) are needed for the segments.



CEI 750/92

1 = Ensemble de condensateurs unitaires

2-12 = Equipement principal de protection

13 = Sectionneur de mise hors circuit

14 = Sectionneur série

(Voir aussi la figure B3 de l'annexe B)

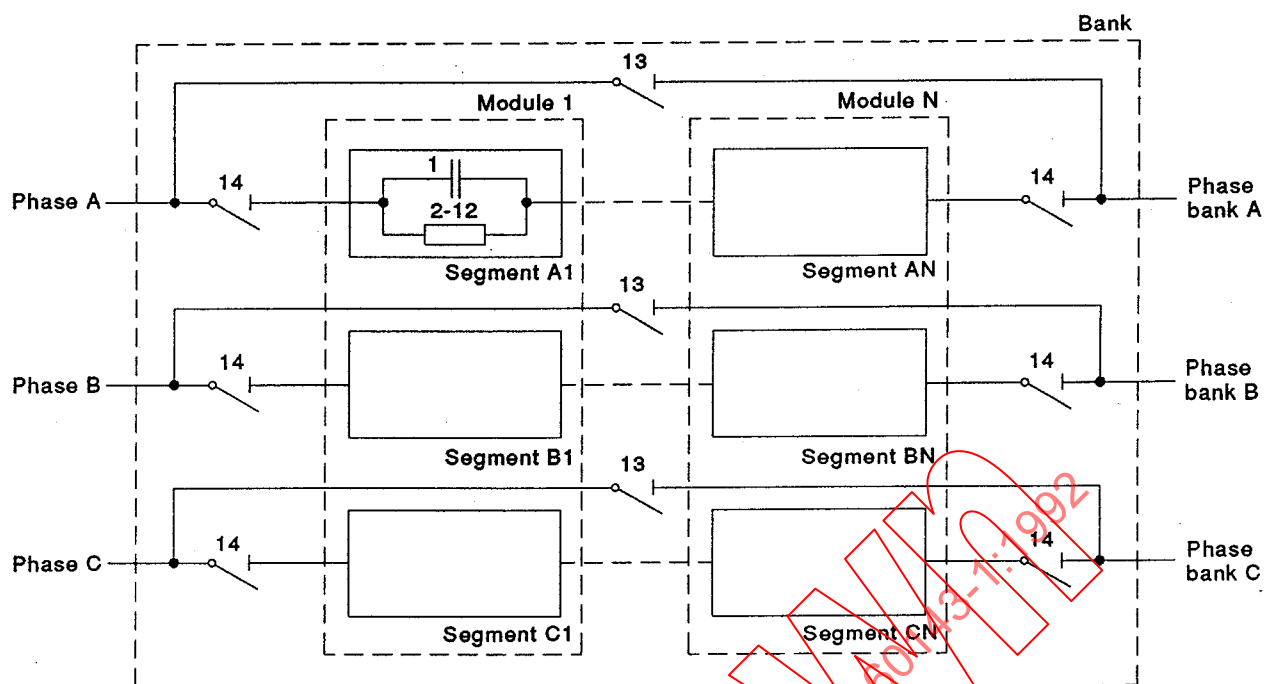
Figure 1 – Définitions des batteries de condensateurs série

1.3.7 condensateur: Dans la présente norme, le terme «condensateur» est employé lorsqu'il n'est pas nécessaire de préciser s'il s'agit d'un condensateur unitaire, d'un segment ou d'une batterie d'une phase.

1.3.8 installation de condensateurs: Batterie de condensateurs série et ses accessoires. [VEI 436-01-07 modifié]

1.3.9 dispositif de protection contre les surtensions (de condensateurs série): Dispositif à action rapide limitant la tension instantanée aux bornes du condensateur à une valeur admissible; sans ce dispositif, la valeur de cette tension pourrait prendre des valeurs élevées, par suite d'un défaut ou de conditions anormales sur le réseau. [VEI 436-03-14 modifié]

1.3.10 dispositif de décharge (d'un condensateur): Dispositif connecté entre les bornes d'un condensateur ou incorporé au condensateur unitaire et capable de ramener à zéro la tension résiduelle lorsque le condensateur a été déconnecté du réseau. Des prescriptions supplémentaires concernant le dimensionnement du dispositif de décharge sont données à l'article 5.1. [VEI 436-03-15 modifié]



IEC 750/92

- 1 = Assembly of capacitor units
 - 2-12 = Main protective equipment
 - 13 = By-pass disconnector
 - 14 = Series disconnector
- (See also figure B3 of annex B)

Figure 1 – Series capacitor bank definitions

1.3.7 capacitor: In this standard, the word "capacitor" is used when it is not necessary to lay particular stress upon the different meanings of the words capacitor unit, segment or phase bank.

1.3.8 capacitor installation: A series capacitor bank and its accessories. [IEV 436-01-07 modified]

1.3.9 overvoltage protector (of a series capacitor): A quick-acting device which limits the instantaneous voltage across the capacitor to a permissible value when that value would otherwise be exceeded as a result of a circuit fault or other abnormal network conditions [IEV 436-03-14 modified]

1.3.10 discharge device (of a capacitor): A device connected across the terminals of the capacitor or built into the capacitor unit, capable of reducing the residual voltage across the capacitor effectively to zero after the capacitor has been disconnected from the supply. Further requirements on the size of the discharge device are found in clause 5.1. [IEV 436-03-15 modified]

1.3.11 coupe-circuit interne (d'un condensateur): Coupe-circuit relié en série avec un élément ou avec un groupe d'éléments à l'intérieur d'une unité de condensateur. [VEI 436-03-16]

1.3.12 coupe-circuit externe (d'un condensateur): Coupe-circuit relié en série avec un condensateur unitaire ou avec un groupe d'unités en parallèle.

1.3.13 bornes de lignes: Bornes destinées à être reliées aux conducteurs des lignes. [VEI 436-03-01 modifié]

1.3.14 capacité assignée (d'un condensateur) (C_N): Valeur de la capacité pour laquelle le condensateur a été conçu. [VEI 436-01-12 modifié]

1.3.15 courant assigné (d'un condensateur) (I_N): Valeur efficace du courant alternatif pour laquelle le condensateur a été conçu. [VEI 436-01-13]

NOTE - Il convient de tenir compte du profil en fonction du temps, du courant sur la ligne (7.2.1).

1.3.16 fréquence assignée (d'un condensateur) (f_N): Fréquence du réseau dans lequel le condensateur est destiné à être utilisé. [VEI 436-01-14 modifié]

1.3.17 tension assignée (d'un condensateur) (U_N): Valeur efficace de la tension entre les bornes déduites des valeurs assignées de la capacité, du courant et de la fréquence. [VEI 436-01-15 modifié]

1.3.18 puissance assignée (d'un condensateur) (Q_N): Puissance réactive déduite des valeurs assignées de la capacité, du courant et de la fréquence. [VEI 436-01-16 modifié]

1.3.19 pertes d'un condensateur: Puissance active dissipée par le condensateur. [VEI 436-04-10 modifié]

NOTES

1 Toutes les pertes produites par les composants doivent être incluses:

- pour un condensateur unitaire, les pertes dues au diélectrique, aux coupe-circuit internes, au(x) dispositif(s) de décharge, aux connexions internes, etc.;
- pour une batterie de condensateurs, les pertes dues aux condensateurs unitaires, aux coupe-circuit externes, aux jeux de barres, aux bobines de décharge et d'amortissement, etc.

Les pertes peuvent également provenir de l'alimentation auxiliaire assurant le chauffage des disjoncteurs, armoires, etc.

2 Les pertes d'un condensateur peuvent être calculées comme étant celles d'une résistance-série équivalente au condensateur.

3 Pour évaluer les pertes, il est recommandé soit de se servir de la valeur des pertes à la température ambiante moyenne de l'air, soit encore de se servir des pertes à des températures ambiantes de l'air différentes et de calculer leur valeur moyenne. Habituellement, les condensateurs série ont une puissance moyenne bien inférieure à la puissance assignée; cette particularité doit être prise en compte.

1.3.20 tangente de l'angle de pertes (d'un condensateur) ($\tan \delta$): Rapport entre la résistance-série équivalente et la réactance capacitive du condensateur dans des conditions spécifiées de fréquence et de tension alternative sinusoïdale.

NOTE - La tangente de l'angle de pertes peut également être exprimée comme les pertes du condensateur divisées par la puissance réactive du condensateur.

1.3.11 internal fuse (of a capacitor): A fuse connected inside a capacitor unit, in series with an element or a group of elements. [IEV 436-03-16]

1.3.12 external fuse (of a capacitor): A fuse connected in series with a capacitor unit or with a group of parallel units.

1.3.13 line terminals: The terminals to be connected to the lines. [IEV 436-03-01 modified]

1.3.14 rated capacitance (of a capacitor) (C_N): The capacitance value for which the capacitor has been designed. [IEV 436-01-12 modified]

1.3.15 rated current (of a capacitor) (I_N): The r.m.s. value of the alternating current for which the capacitor has been designed. [IEV 436-01-13]

NOTE - Due consideration should be given to the time profile of the line current (7.2.1).

1.3.16 rated frequency (of a capacitor) (f_N): The frequency of the system in which the capacitor is intended to be used. [IEV 436-01-14 modified]

1.3.17 rated voltage (of a capacitor) (U_N): The r.m.s. value of the voltage between the terminals, derived from rated capacitance, rated current and rated frequency. [IEV 436-01-15 modified]

1.3.18 rated output (of a capacitor) (Q_N): The reactive power derived from rated capacitance, rated current and rated frequency. [IEV 436-01-16 modified]

1.3.19 capacitor losses: The active power dissipated by a capacitor. [IEV 436-04-10 modified]

NOTES

1 All loss-producing components shall be included:

- for a unit, losses from the dielectric, internal fuses, discharge device(s), internal connections, etc.;
- for a bank, losses from the units, external fuses, busbars, discharge and damping reactors, etc.

Losses may also be generated by auxiliary power for heating of breakers, cubicles, etc.

2 The capacitor losses may be recalculated as an equivalent series resistance to the capacitor.

3 When evaluating the losses, it is recommended either to use the loss value at the average ambient air temperature or to use the losses at some different ambient air temperatures and calculate their mean value. Series capacitors usually have an average output well below rated, which should be taken into account.

1.3.20 tangent of loss angle (of a capacitor) ($\tan \delta$): The ratio between the equivalent series resistance and the capacitive reactance of a capacitor at specified sinusoidal alternating voltage and frequency.

NOTE - Tangent of loss angle can also be expressed as the capacitor losses divided by the reactive power of the capacitor.

1.3.21 tension limite (U_{lim}): Valeur maximale de la tension instantanée, divisée par $\sqrt{2}$, apparaissant aux bornes du condensateur immédiatement avant ou pendant le fonctionnement du dispositif de protection contre les surtensions.

1.3.22 tension la plus élevée d'un réseau triphasé: Tension efficace la plus élevée entre phases qui existe à tout moment et en tout point du réseau dans les conditions d'exploitation normales. Cette valeur ne tient pas compte des transitoires de tension (par exemple ceux qui sont provoqués par la commutation du réseau) et ne tient pas compte non plus des variations temporaires de la tension dues à des conditions anormales du réseau (comme des défauts ou le déclenchement brusque de charges importantes).

1.3.23 tension la plus élevée pour le matériel (U_m): Tension efficace la plus élevée entre phases pour laquelle le matériel est conçu en ce qui concerne son isolement et d'autres caractéristiques qui sont dépendantes de cette tension dans les normes applicables au matériel. Cette tension est la valeur maximale de la tension la plus élevée du réseau dans lequel le matériel peut être utilisé.

1.3.24 niveau d'isolement (U_i): Combinaison non simultanée de tensions d'essai (à fréquence industrielle ou en onde de choc de manoeuvre, et onde de choc de foudre) qui caractérise l'aptitude de l'isolement du condensateur à supporter les contraintes diélectriques entre les bornes et la terre, entre les phases ainsi qu'entre les bornes et les parties métalliques non reliées à la terre.

1.3.25 température de l'air ambiant: Température de l'air à l'emplacement prévu pour le condensateur.

1.3.26 température de l'air de refroidissement: Température de l'air de refroidissement mesurée à l'endroit le plus chaud de la batterie sur une phase, à l'état stable, à mi-distance entre deux unités. S'il s'agit d'une seule unité, c'est la température mesurée à 0,1 m environ de la cuve du condensateur et aux deux tiers de sa hauteur à partir de sa base.

1.3.27 état stable: Equilibre thermique atteint par le condensateur fonctionnant dans des conditions constantes de puissance et de température de l'air ambiant.

1.3.28 tension résiduelle: Tension qui reste entre les bornes d'un condensateur pendant un temps donné après son débranchement de l'alimentation.

1.4 Conditions de service

1.4.1 Conditions normales de service

La présente norme donne les prescriptions applicables aux condensateurs destinés à être utilisés dans les conditions suivantes.

1.4.1.1 Altitude

Elle ne doit pas excéder 1 000 m.

1.3.21 limiting voltage (U_{lim}): The maximum instantaneous voltage occurring between capacitor terminals immediately before or during operation of the overvoltage protector, divided by $\sqrt{2}$.

1.3.22 highest voltage of a three-phase system: The highest r.m.s. phase-to-phase voltage which occurs under normal operating conditions at any time and at any point of the system. It excludes voltage transients (such as those due to system switching) and temporary voltage variations due to abnormal system conditions (such as due to faults or sudden disconnection of large loads).

1.3.23 highest voltage for equipment (U_m): The highest r.m.s. phase-to-phase voltage for which the equipment is designed as regards its insulation as well as other characteristics which relate to this voltage in the relevant equipment standards. This voltage is the maximum value of the highest voltage of the system for which the equipment may be used.

1.3.24 Insulation level (U_i): The non-simultaneous combination of test voltages (power-frequency or switching impulse, and lightning impulse) which characterizes the insulation of the capacitor with regard to its capability of withstanding the electric stresses between terminals and earth, between phases and between terminals and metalwork not at earth potential.

1.3.25 ambient air temperature: The temperature of air at the proposed location of the capacitor.

1.3.26 cooling air temperature: The temperature of cooling air measured at the hottest position in the phase bank, under steady-state conditions, midway between two units. If only one unit is involved, it is the temperature measured at a point approximately 0,1 m away from the capacitor container and at two-thirds of the height from its base.

1.3.27 steady-state condition: Thermal equilibrium attained by the capacitor at constant output and at constant ambient air temperature.

1.3.28 residual voltage: The voltage remaining between terminals of a capacitor at a given time following disconnection of the supply.

1.4 Service conditions

1.4.1 Normal service conditions

This standard gives requirements for capacitors to be used in the following conditions.

1.4.1.1 Altitude

Not exceeding 1 000 m.

1.4.1.2 Catégories de température de l'air ambiant

Les condensateurs sont classés en catégories de température, chaque catégorie étant représentée par un nombre suivi d'une lettre. Le nombre représente la valeur la plus basse de la température de l'air ambiant à laquelle le condensateur peut fonctionner. La lettre représente la limite supérieure de la plage de variation de la température, dont la valeur maximale est spécifiée dans le tableau 1.

Tableau 1 – Symboles littéraux de la limite supérieure de la plage de température

Symbole	Température de l'air ambiant °C		
	Max.	Moyenne la plus élevée sur une période de	
		24 h	1 an
A	40	30	20
B	45	35	25
C	50	40	30
D	55	45	35

Les catégories de température couvrent une plage totale qui s'étend de -50 °C à $+55\text{ °C}$. Il convient de choisir la valeur la plus basse de la température de l'air ambiant à laquelle le condensateur peut être utilisé parmi les cinq valeurs préférentielles suivantes: $+5\text{ °C}$, -5 °C , -25 °C , -40 °C , -50 °C .

Une combinaison quelconque composée d'une valeur minimale et d'une valeur maximale peut être choisie pour définir la catégorie de température normale d'un condensateur, par exemple $-40/\text{A}$ ou $-5/\text{C}$.

Le tableau 1 est établi pour des conditions de service dans lesquelles le condensateur est sans influence sur la température de l'air ambiant (par exemple pour des installations extérieures). Si le condensateur a une influence sur la température de l'air environnant, l'effet de la ventilation et/ou le choix du condensateur doivent permettre de maintenir les valeurs limites indiquées dans le tableau 1. Dans ce type d'installation, la température de l'air de refroidissement ne doit pas dépasser de plus de 5 °C les limites indiquées dans le tableau 1.

NOTE - Les valeurs de température du tableau 1 peuvent se trouver dans les tables météorologiques de température concernant le site d'installation.

1.4.2 Conditions de service inhabituelles

Sauf accord contraire entre le constructeur et l'acheteur, cette norme ne s'applique pas aux condensateurs dont les conditions de service sont incompatibles avec les prescriptions de la présente norme.

1.4.1.2 Ambient air temperature categories

Capacitors are classified in temperature categories, each category being specified by one number followed by one letter. The number represents the lowest ambient air temperature at which the capacitor may operate. The letter represents the upper limit of temperature variation range, having the maximum value specified in table 1.

Table 1 – Letter symbols for upper limit of temperature range

Symbol	Ambient air temperature °C		
	Max.	Highest mean over any period of	
		24 h	1 year
A	40	30	20
B	45	35	25
C	50	40	30
D	55	45	35

The temperature categories cover a total temperature range from -50 °C to $+55\text{ °C}$. The lowest ambient air temperature at which the capacitor may be operated should be chosen from the five preferred values $+5\text{ °C}$, -5 °C , -25 °C , -40 °C , -50 °C .

Any combination of minimum and maximum values can be chosen for the standard temperature category of a capacitor, for example $-40/\text{A}$ or $-5/\text{C}$.

Table 1 is based on service conditions in which the capacitor does not influence the ambient air temperature (e.g. outdoor installations). If the capacitor influences the air temperature, the ventilation and/or choice of capacitor shall be such that the limits of table 1 are maintained. The cooling air temperatures in such installations shall not exceed the temperature limits of table 1 by more than 5 °C .

NOTE - The temperature values according to table 1 can be found in the meteorological temperature tables covering the installation site.

1.4.2 Unusual service conditions

Unless otherwise agreed between the manufacturer and purchaser, this standard does not apply to capacitors, the service conditions of which are incompatible with the requirements of this standard.

SECTION 2: PRESCRIPTIONS DE QUALITÉ ET ESSAIS

2.1 Prescriptions relatives aux essais

2.1.1 Généralités

La présente section indique les prescriptions relatives aux essais des condensateurs unitaires.

Les supports isolants, les commutateurs, les transformateurs de mesure, les coupe-circuit externes, etc., doivent être conformes aux dispositions des normes de la CEI qui les concernent.

2.1.2 Conditions d'essai

Sauf spécification contraire pour un essai particulier ou une mesure particulière, la température du diélectrique d'un condensateur doit être comprise entre +5 °C et +35 °C. Lorsqu'une correction est nécessaire, la température de référence à utiliser est de +20 °C, sauf accord contraire entre le constructeur et l'acheteur. On peut supposer que la température du diélectrique du condensateur unitaire est la même que celle de l'air ambiant, pourvu que le condensateur ait été laissé hors tension à une température ambiante constante pendant un temps suffisant.

Sauf spécification contraire, les essais et les mesures en courant alternatif doivent être effectués à une fréquence de 50 Hz ou 60 Hz, sans tenir compte de la fréquence assignée du condensateur.

2.1.3 Détermination des tensions d'essai entre les bornes

La valeur de la tension d'essai (U_t) entre les bornes dépend du type de dispositif de protection contre les surtensions et de sa tension limite U_{lim} (voir 7.6.2). Le tableau 2 donne les facteurs de la tension d'essai à multiplier par U_{lim} .

NOTE - Si la fonction répétitive de l'arc (dispositifs de protection de types L et N2) entre en jeu au-dessus de $0,8 \sqrt{2} U_{lim}$, il convient que les facteurs 2,0, 1,4 et 1,8 soient augmentés linéairement.

Tableau 2 – Facteurs de multiplication de la tension d'essai

Type de protection	Essai sous tension continue (voir 2.5.1)	Essai sous tension alternative (voir 2.5.2)	Essai de décharge amortie (voir article 2.13)
K et N1	1,7	1,2	1,6
L et N2	2,0	1,4	1,8
M	1,9	1,3	1,7
Pas de protection	1,9	1,3	1,7

SECTION 2: QUALITY REQUIREMENTS AND TESTS

2.1 Test requirements

2.1.1 General

This section gives the test requirements for capacitor units.

Supporting insulators, switches, instrument transformers, external fuses, etc., shall be in accordance with the pertinent IEC standard.

2.1.2 Test conditions

Unless otherwise specified for a particular test or measurement, the temperature of the capacitor dielectric shall be in the range +5 °C to +35 °C. When a correction has to be applied, the reference temperature to be used is +20 °C, unless otherwise agreed between the manufacturer and the purchaser. It may be assumed that the dielectric temperature of the capacitor unit is the same as the ambient air temperature, provided that the capacitor has been left in an unenergized state in a constant ambient air temperature for an adequate period.

The a.c. tests and measurements shall be carried out at a frequency of 50 Hz or 60 Hz irrespective of the rated frequency of the capacitor unless otherwise specified.

2.1.3 Determination of test voltages between terminals

The value of a test voltage (U_t) between terminals depends on the type of the overvoltage protector and its limiting voltage U_{lim} (see 7.6.2). Table 2 gives the test voltage factors to be multiplied by U_{lim} .

NOTE - If the repetitive function of the arc (protector types L and N2) takes place above $0,8 \sqrt{2} U_{lim}$, the factors 2,0, 1,4 and 1,8 should be increased linearly.

Table 2 – Test voltage multiplying factors

Protector type	D.C. test (see 2.5.1)	A.C. test (see 2.5.2)	Damped discharge test (see clause 2.13)
K and N1	1,7	1,2	1,6
L and N2	2,0	1,4	1,8
M	1,9	1,3	1,7
No protector	1,9	1,3	1,7

2.2 Classification des essais

2.2.1 Essais individuels

- a) Mesure de la capacité (article 2.3)
- b) Mesure des pertes du condensateur (article 2.4)
- c) Essai de tenue en tension entre bornes (article 2.5)
- d) Essai diélectrique en tension alternative entre bornes et cuve (article 2.6)
- e) Essai du dispositif interne de décharge (article 2.7)
- f) Essai d'étanchéité (article 2.8)

Les essais ne doivent pas être nécessairement effectués dans l'ordre donné ci-dessus.

Les essais individuels doivent être effectués par le constructeur, avant la livraison, sur chaque condensateur unitaire.

NOTE - Un essai de décharge en court-circuit est à l'étude.

2.2.2 Essais de type

- a) Essai de stabilité thermique (article 2.9)
- b) Essai diélectrique en tension alternative entre bornes et cuve (article 2.10)
- c) Essai de tension de choc de foudre entre bornes et cuve (article 2.11)
- d) Essai de tenue au froid (article 2.12)
- e) Essai de courant de décharge (article 2.13)

Les essais de type sont effectués pour s'assurer que le condensateur unitaire est conforme aux caractéristiques contractuelles et aux prescriptions fonctionnelles spécifiées dans cette norme.

Les essais de type doivent être effectués sur un (des) condensateur(s) unitaire(s) de conception identique à celle des unités du contrat ou encore sur un (des) condensateur(s) dont la conception et la fabrication ne diffèrent des unités contractuelles d'aucune manière susceptible d'influencer les propriétés qui doivent être contrôlées par les essais de type.

Il n'est pas indispensable que tous les essais de type soient effectués sur la même unité.

La liste ci-dessus des essais de type n'indique aucune séquence d'essai.

Sauf spécification contraire, chaque échantillon de condensateur sur lequel un essai de type est effectué doit d'abord avoir supporté de façon satisfaisante tous les essais individuels.

2.2.3 Essais d'acceptation

Les essais individuels et/ou de type ou certains d'entre eux peuvent être renouvelés par le constructeur à l'occasion de tout contrat particulier, en accord avec l'acheteur.

Le nombre de condensateurs prélevés devant être soumis à ces essais, les critères d'acceptation et les comptes rendus des essais doivent figurer dans le contrat.

2.2 Classification of tests

2.2.1 Routine tests

- a) Capacitance measurement (clause 2.3)
- b) Capacitor loss measurement (clause 2.4)
- c) Voltage test between terminals (clause 2.5)
- d) A.C. voltage test between terminals and container (clause 2.6)
- e) Test on internal discharge device (clause 2.7)
- f) Sealing test (clause 2.8)

The test sequence is not necessarily that indicated above.

The routine tests shall be carried out by the manufacturer on every capacitor unit before delivery.

NOTE - A short-circuit discharge test is under consideration.

2.2.2 Type tests

- a) Thermal stability test (clause 2.9)
- b) A.C. voltage test between terminals and container (clause 2.10)
- c) Lightning impulse voltage test between terminals and container (clause 2.11)
- d) Cold duty test (clause 2.12)
- e) Discharge current test (clause 2.13)

The type tests are carried out in order to ensure that the capacitor unit complies with the contractual characteristics and with the operational requirements as specified in this standard.

The type tests shall be made upon capacitor unit(s) of identical design with the units under contract or on capacitor unit(s) the design and processing of which do not differ from the contractual units in any way that might influence the properties to be checked by the type test.

It is not essential that all type tests are carried out on the same capacitor unit.

The above list of type tests does not indicate any test sequence.

Unless otherwise specified, every capacitor sample to which a type test will be applied shall have first withstood satisfactorily the application of all the routine tests.

2.2.3 Acceptance tests

The routine and/or type tests, or some of them, may be repeated by the manufacturer in connection with any contract by agreement with the purchaser.

The number of samples to be subjected to such tests, the acceptance criteria, and the test reports shall be stated in the contract.

NOTE - Si cela est convenu entre le constructeur et l'acheteur, des essais de tenue en tension des batteries, pour vérifier les niveaux d'isolement, peuvent être réalisés entre les bornes et la terre, entre les phases, et entre les bornes et les parties métalliques qui ne sont pas au potentiel de terre.

2.2.4 Essai d'endurance (essai spécial)

Il convient d'effectuer l'essai d'endurance seulement après accord contractuel entre le constructeur et l'acheteur.

Les paramètres et les prescriptions de l'essai d'endurance des condensateurs série sont à l'étude. En attendant l'essai d'endurance peut être fait conformément aux dispositions de la CEI 871-2. Toutefois, d'autres niveaux de tension peuvent s'appliquer (voir article 2.12).

L'essai d'endurance porte sur des éléments (conception et composition du diélectrique) ainsi que sur le procédé de fabrication de ces éléments, une fois que ces derniers sont assemblés pour former un condensateur unitaire. Puisqu'il est à la fois long et coûteux à réaliser, un essai d'endurance porte sur une série de modèles de condensateurs.

Il est recommandé au constructeur de fournir un compte rendu d'essai d'endurance correspondant au condensateur figurant au contrat (voir «Conceptions identiques» dans la CEI 871-2).

2.3 Mesure de la capacité (essai individuel)

2.3.1 Modalité de mesure

La capacité doit être mesurée à une tension comprise entre 0,9 et 1,1 fois la tension assignée, en employant une méthode permettant d'éviter les erreurs dues aux harmoniques. Des mesures peuvent être faites à une tension différente, pourvu que les facteurs de correction appropriés fassent l'objet d'un accord entre le constructeur et l'acheteur.

La précision de la méthode de mesure doit être suffisante pour respecter les tolérances qui figurent au paragraphe 2.3.2. La reproductibilité de la méthode de mesure doit être suffisante pour détecter un élément perforé ou un coupe-circuit interne ayant fonctionné

La capacité définitive doit être mesurée, après exécution de l'essai de tension (article 2.5). Pour mettre en évidence une éventuelle variation de la capacité due, par exemple, à la perforation d'un élément ou au fonctionnement d'un coupe-circuit interne, une mesure préliminaire doit être faite avant les autres essais individuels de tension. Cette mesure préliminaire doit être faite à une tension ne dépassant pas $0,15 U_N$.

Après accord, le constructeur doit fournir les courbes ou les tableaux montrant:

- la capacité à l'état stable et à la puissance assignée, en fonction de la température de l'air ambiant dans les limites de la catégorie de température;
- la capacité en fonction de la température du diélectrique dans les limites de la catégorie de température.

NOTE - If agreed between the manufacturer and purchaser, withstand voltage tests on banks, in order to verify the insulation levels, may be carried out between terminals and earth, between phases, and between terminals and metalwork not at earth potential.

2.2.4 *Endurance test (special test)*

The endurance test will be carried out only after a contractual agreement between the manufacturer and purchaser.

Endurance test parameters and requirements for series capacitors are under consideration. Meanwhile the endurance test can be made according to IEC 871-2. However, other voltage levels may apply (see clause 2.12).

The endurance test is a test on elements (their dielectric design and composition), and on the manufacturing process of these elements when assembled in a capacitor unit. An endurance test, which is both time consuming and expensive, covers a range of capacitor designs.

It is recommended that the manufacturer should furnish an endurance test report covering the unit design under contract (see IEC 871-2 for "identical designs").

2.3 **Capacitance measurement (routine test)**

2.3.1 *Measuring procedure*

The capacitance shall be measured at 0,9 to 1,1 times the rated voltage, using a method that excludes errors due to harmonics. Measurement at another voltage is permitted, provided that an appropriate correction factor is agreed upon between the manufacturer and purchaser.

The accuracy of the measuring method shall be such that the tolerances according to 2.3.2 can be kept. The repeatability of the measuring method shall be such that a punctured element or an operated internal fuse can be detected.

The final capacitance measurement shall be carried out after the voltage test (clause 2.5). In order to reveal any change in capacitance e.g. due to puncture of an element, or failure of an internal fuse, a preliminary capacitance measurement shall be made before the other voltage routine tests. This preliminary measurement shall be performed with a voltage not higher than 0,15 U_N .

The manufacturer shall, on agreement, provide curves or tables showing:

- the capacitance in steady-state condition at rated output as a function of ambient air temperature within the temperature category;
- the capacitance as a function of the dielectric temperature within the temperature category.

2.3.2 Tolérances sur la capacité

Les tolérances concernent les valeurs de capacité mesurées à une tension comprise entre 0,9 et 1,1 fois la tension assignée, dans les conditions de 2.3.1.

La capacité, à la température de référence, ne doit pas s'écarter de sa valeur assignée de plus de:

- $\pm 7,5$ % pour les condensateurs unitaires;
- $\pm 5,0$ % pour les batteries dont la puissance est inférieure à 30 Mvar;
- $\pm 3,0$ % pour les batteries dont la puissance est supérieure ou égale à 30 Mvar.

De plus, la capacité ne doit pas être différente de plus de:

- 3,0 % entre deux batteries d'une phase ou deux segments quelconques du même module lorsque la puissance de la batterie est inférieure à 30 Mvar;
- 1,0 % entre deux batteries d'une phase ou deux segments quelconques du même module lorsque la puissance de la batterie est supérieure ou égale à 30 Mvar.

Des tolérances plus serrées peuvent être prescrites pour les condensateurs destinés à des installations plus critiques (voir 7.3.1).

NOTE - Des condensateurs à coupe-circuit internes, dont les tolérances de capacité sont respectées en dépit du fonctionnement d'un ou de plusieurs coupe-circuit, peuvent être livrés seulement après un accord contractuel entre le constructeur et l'acheteur. Dans ce cas, les essais électriques individuels doivent être répétés après le fonctionnement du (ou des) coupe-circuit.

2.4 Mesure des pertes du condensateur (essai individuel)

2.4.1 Modalité de mesure

Les pertes du condensateur (ou $\tan \delta$) doivent être mesurées à une tension comprise entre 0,9 et 1,1 fois la tension assignée en employant une méthode qui permet d'éviter les erreurs dues aux harmoniques.

NOTE - Il convient d'étalonner l'équipement de mesure conformément aux dispositions de la CEI 996, ou à l'aide d'une autre méthode conduisant à une précision identique ou meilleure.

2.4.2 Prescriptions relatives aux pertes

Les pertes de condensateur sont les valeurs mesurées dans les conditions indiquées en 2.4.1.

Les prescriptions relatives aux pertes du condensateur peuvent faire l'objet d'un accord entre le constructeur et l'acheteur.

Selon accord, le constructeur fournira des courbes et des tableaux montrant les pertes stabilisées (ou $\tan \delta$) du condensateur à l'état stable, à la puissance assignée et en fonction de la température de l'air ambiant dans les limites de la catégorie de température.

NOTE - La tangente de l'angle pertes de la plupart des diélectriques à faibles pertes diminue fortement pendant les premières heures de la mise sous tension initiale. Cette diminution n'a aucun rapport avec la variation de $\tan \delta$ en fonction de la température. La décroissance initiale de $\tan \delta$ peut également varier pour des condensateurs identiques fabriqués simultanément. Toutefois, les valeurs finales «stabilisées» sont habituellement très voisines.

2.3.2 Capacitance tolerance

The tolerances refer to capacitance values measured at 0,9 to 1,1 times the rated voltage under the conditions of 2.3.1.

The capacitance at reference temperature shall not differ from the rated capacitance by more than:

- $\pm 7,5$ % for units;
- $\pm 5,0$ % for banks with a rating less than 30 Mvar;
- $\pm 3,0$ % for banks with a rating of 30 Mvar or more.

Furthermore, the capacitance shall not differ by more than:

- 3,0 % between any two phase banks or any two segments within the same module with a bank rating less than 30 Mvar;
- 1,0 % between any two phase banks or any two segments within the same module with a bank rating of 30 Mvar or more.

Closer tolerances might be required for capacitors in more critical applications (see 7.3.1).

NOTE - Units having internal fuses, and within the capacitance tolerances in spite of operated fuse(s), may be delivered only after contractual agreement between the manufacturer and purchaser. In such a case, the electrical routine tests shall be repeated after operation of the fuse(s).

2.4 Capacitor loss measurement (routine test)

2.4.1 Measuring procedure

The capacitor losses (or $\tan \delta$) shall be measured at 0,9 to 1,1 times rated voltage using a method that excludes errors due to harmonics.

NOTE - The measuring equipment should be calibrated according to IEC 996 or to another method that will give the same or an approved accuracy.

2.4.2 Loss requirements

The capacitor losses refer to values measured under the conditions of 2.4.1.

The requirements regarding capacitor losses may be agreed upon between the manufacturer and purchaser.

The manufacturer should, by agreement, provide curves or tables showing the stabilized capacitor losses (or $\tan \delta$) under steady-state condition at rated output as a function of ambient air temperature within the temperature category.

NOTE - The tangent of loss angle of most low-loss dielectrics decreases considerably during the first hours of initial energization. This decrease is not correlated to the $\tan \delta$ variation with temperature. The initial $\tan \delta$ decrease may vary also between identical units manufactured simultaneously. The final "stabilized" values are, however, usually within close limits.

2.5 Essai de tenue en tension entre bornes (essai individuel)

Les condensateurs unitaires doivent être soumis à l'essai de 2.5.1 ou à l'essai de 2.5.2. Si aucun accord n'est intervenu, le choix appartient au constructeur. Pendant l'essai, il ne doit se produire ni perforation ni contournement. Voir toutefois la note de 2.3.2.

2.5.1 Essai sous tension continue

La valeur de la tension d'essai doit être conforme au tableau 2, mais sans être inférieure à $4,3 U_N$. La durée de l'essai est de 10 s.

NOTE - Si les condensateurs doivent subir un nouvel essai après livraison, la tension recommandée pour ce nouvel essai est égale à 75 % de U_t .

2.5.2 Essai sous tension alternative

L'essai sous tension alternative doit être effectuée sous une tension pratiquement sinusoïdale dont la valeur doit correspondre aux indications du tableau 2, sans toutefois être inférieure à $2,15 U_N$. La durée de l'essai est de 10 s.

NOTE - Voir la note de 2.5.1.

2.6 Essai diélectrique en tension alternative entre bornes et cuve (essai individuel)

Les condensateurs unitaires dont les deux bornes sont isolées de la cuve doivent être soumis pendant 10 s à une tension d'essai appliquée entre les bornes (raccordées entre elles) et la cuve. La valeur de la tension d'essai doit être choisie en suivant les indications de l'article 3.1.

Pendant l'essai, il ne doit se produire ni perforation ni contournement.

Cet essai doit être fait même si, en service, l'une des bornes est destinée à être connectée à la cuve.

Les condensateurs dont une borne est reliée en permanence à la cuve ne sont pas soumis à cet essai.

2.7 Essai du dispositif interne de décharge (essai individuel)

La résistance du dispositif interne de décharge, si elle existe, doit être vérifiée en procédant à une mesure. La méthode peut être choisie par le constructeur.

Cet essai doit être fait après l'essai diélectrique de l'article 2.5.

2.8 Essai d'étanchéité (essai individuel)

Le condensateur unitaire (avant peinture) doit être soumis à un essai qui détecte réellement les fuites de la cuve et de la(des) traversée(s). La procédure d'essai est laissée au choix du constructeur qui doit décrire la méthode appliquée.

2.5 Voltage test between terminals (routine test)

The capacitor units shall be subjected to either test 2.5.1 or test 2.5.2. In the absence of an agreement, the choice is left to the manufacturer. During the test, neither puncture nor flashover shall occur. See, however, note in 2.3.2.

2.5.1 D.C. test

The test voltage value shall be in accordance with table 2, but not less than $4,3 U_N$. The duration of the test shall be 10 s.

NOTE - If the capacitors are to be retested after delivery, a voltage of 75 % of U_t is recommended for the re-test.

2.5.2 A.C. test

The a.c. test shall be carried out with a substantially sinusoidal voltage having the value in accordance with table 2, but not less than $2,15 U_N$. The duration of the test shall be 10 s.

NOTE - See note in 2.5.1

2.6 A.C. voltage test between terminals and container (routine test)

Units having both terminals insulated from the container shall be subjected for 10 s to a test voltage applied between the terminals (joined together) and the container. The value of the test voltage shall be chosen according to clause 3.1.

During the test, neither puncture nor flashover shall occur.

The test shall be performed even if one of the terminals in service is intended to be connected to the container.

Units having one terminal permanently connected to the container shall not be subject to this test.

2.7 Test on internal discharge device (routine test)

The resistance of the internal discharge device, if any, shall be checked by a measurement. The method may be selected by the manufacturer.

The test shall be made after the voltage test of clause 2.5.

2.8 Sealing test (routine test)

The unit (in non-painted state) shall be exposed to a test that will effectively detect any leak of the container and bushing(s). The test procedure is left to the manufacturer, who shall describe the test method concerned.

Si le constructeur ne spécifie pas de procédure d'essai, la procédure suivante doit être appliquée:

Des condensateurs unitaires hors tension doivent être entièrement chauffés pendant 2 h au moins, pour que toutes leurs parties atteignent une température supérieure d'au moins 20 °C au-dessus de la valeur maximale du tableau 1. Aucune fuite ne doit se produire. Il est recommandé d'utiliser un indicateur de fuite approprié.

2.9 Essai de stabilité thermique (essai de type)

2.9.1 Généralités

Cet essai est destiné à:

- déterminer la stabilité thermique du condensateur en régime de surcharge;
- mettre le condensateur dans les conditions qui permettent d'obtenir une valeur stable et définitive de $\tan \delta$ (voir 2.4.2, note).

2.9.2 Modalités de mesure

Le condensateur unitaire soumis à l'essai doit être placé entre deux unités écrans ayant les mêmes valeurs assignées et chargées à la même tension que le condensateur soumis à l'essai. Ces condensateurs-écrans doivent avoir des cuves dont les dimensions sont pratiquement identiques à celles de l'appareil soumis à l'essai. En variante, deux condensateurs factices contenant des résistances peuvent être utilisés comme écrans. La puissance dissipée dans les résistances doit être réglée à une valeur telle que la température des boîtiers des condensateurs factices soit supérieure ou égale à celle du condensateur soumis à l'essai. La température des unités doit être mesurée en des points «égaux» qui ne doivent pas être exposés au rayonnement thermique direct provenant d'une autre unité. L'espacement entre les unités doit être inférieur ou égal à l'espacement normal. L'ensemble doit être placé en air calme, dans une enceinte chauffée, dans les conditions thermiques les plus défavorables, selon les instructions du constructeur pour le montage sur le site. La température de l'air ambiant doit être maintenue à la valeur appropriée indiquée au tableau 3 (tolérance: ± 2 °C). Elle doit être contrôlée à l'aide d'un thermomètre présentant une constante de temps thermique de 1 h environ. Ce thermomètre doit être muni d'un écran de manière à ne recevoir que le minimum possible de rayonnement thermique de l'échantillon et des condensateurs-écrans en essai.

Tableau 3 – Température de l'air ambiant pour l'essai de stabilité thermique

Symbole	Température °C
A	40
B	45
C	50
D	55

If no procedure is stated by the manufacturer the following test procedure shall apply:

Unenergized capacitor units shall be heated throughout so that, for at least 2 h, all parts reach a temperature not less than 20 °C above the maximum value in table 1. No leakage shall occur. It is recommended that a suitable leakage indicator should be used.

2.9 Thermal stability test (type test)

2.9.1 General

This test is intended to:

- determine the thermal stability of the capacitor under overload conditions;
- condition the capacitor in order to obtain a stable and final $\tan \delta$ value (see note in 2.4.2).

2.9.2 Measuring procedure

The capacitor unit subjected to the test shall be placed between two barrier units with the same rating, and they shall be energized at the same voltage as the test capacitor. The barrier units shall have almost similar container dimensions as the unit under test. Alternatively, two dummy capacitors both containing resistors may be used as barrier units. Dissipation in the resistors shall be adjusted to such a value that the case temperatures of the dummy capacitors are equal to or higher than those of the test capacitor. The temperature of the units shall be measured at "equal" spots which must not be exposed to direct heat radiation from another unit. The separation between the units shall be equal to or less than the normal spacing. The assembly shall be placed in still air in a heated enclosure in the most unfavourable thermal position according to the manufacturer's instructions for mounting on site. The ambient air temperature shall be maintained at the appropriate value shown in table 3 (tolerance ± 2 °C). It shall be checked by means of a thermometer having a thermal time constant of approximately 1 h. This thermometer shall be shielded so that it is exposed to the minimum possible thermal radiation from the energized sample and the energized barrier units.

Table 3 – Ambient air temperature in thermal stability test

Symbol	Temperature °C
A	40
B	45
C	50
D	55

Pour cet essai, le condensateur doit être soumis, pendant une durée d'au moins 48 h, à une tension alternative de forme pratiquement sinusoïdale. La valeur de cette tension doit être maintenue constante pendant toute la durée de l'essai. Cette valeur est obtenue à partir de la capacité mesurée (voir 2.3.1) pour que la puissance calculée du condensateur soit égale à 1,5 fois sa puissance assignée. La valeur d'essai $1,5 Q_N$ est associée au courant de surcharge $1,1 I_N$ d'une durée de 8 h, selon les dispositions de l'article 4.1. Si cette surintensité de 8 h a été augmentée, le facteur 1,5 doit être augmenté par élévation au carré.

Pendant les six dernières heures, la température de la cuve doit être mesurée quatre fois au moins. Pendant cette période de 6 h, l'augmentation de la température ne doit pas dépasser 1 K. Si l'échauffement constaté est supérieur, l'essai peut être poursuivi jusqu'à ce que les prescriptions précédentes soient respectées pour quatre mesures consécutives faites pendant une autre période de 6 h.

La capacité doit être mesurée avant et après l'essai (voir 2.3.1) dans la gamme de température spécifiée en 2.1.2 et les deux mesures doivent être corrigées afin d'être ramenées à une même température du diélectrique. La différence entre les deux mesures doit être inférieure à celle qui correspond à une perforation d'un élément ou au fonctionnement d'un coupe-circuit interne. Dans l'interprétation des résultats des mesures, il faut tenir compte des facteurs suivants:

- la reproductibilité des mesures;
- le fait qu'une modification interne du diélectrique peut provoquer une petite variation de la capacité, sans qu'il y ait eu perforation d'un élément ou qu'un coupe-circuit interne ait fonctionné.

NOTES

1 Lorsqu'on s'assure que les conditions de température sont satisfaisantes, on doit tenir compte des fluctuations de la tension, de la fréquence et de la température de l'air ambiant pendant l'essai. A cette fin, il est conseillé de tracer des courbes en fonction du temps de ces paramètres et de l'échauffement de la cuve.

2 Les condensateurs unitaires destinés à être installés sur un réseau de 60 Hz peuvent être essayés à 50 Hz et vice versa, sous réserve que la puissance assignée soit appliquée. Pour les unités destinées à fonctionner en dessous de 50 Hz, les conditions de l'essai doivent faire l'objet d'un accord entre le constructeur et l'acheteur.

2.9.3 Mesure des pertes du condensateur

Les pertes du condensateur (ou $\tan \delta$) doivent être mesurées à la fin de l'essai de stabilité thermique. La tension de mesure doit être celle de l'essai de stabilité thermique. Sinon le 2.4.1 s'applique.

La valeur de $\tan \delta$ mesurée ne doit pas dépasser la valeur déclarée par le constructeur ou la valeur convenue entre le constructeur et l'acheteur.

2.10 Essai diélectrique en tension alternative entre bornes et cuve (essai de type)

Les condensateurs unitaires dont les deux bornes sont isolées de la cuve doivent être soumis pendant 1 min à une tension d'essai appliquée entre les bornes raccordées entre elles et la cuve. La valeur de la tension d'essai doit être choisie conformément aux indications de l'article 3.1. L'essai effectué sur des condensateurs dont une borne est reliée en permanence à la cuve est limité à la traversée et à la cuve (sans éléments).

The test capacitor shall be subjected to an a.c. voltage of substantially sinusoidal form for a period of at least 48 h. The magnitude of the voltage shall be kept constant throughout the test. Its value is derived from the measured capacitance (see 2.3.1) to give a calculated output of the capacitor equal to 1,5 times the rated output. The test value $1,5 Q_N$ is related to the 8 h overload current $1,1 I_N$ according to clause 4.1. If this 8 h overcurrent has been increased, the factor 1,5 shall be increased in square.

During the last six hours, the temperature of the container shall be measured at least four times. Throughout this period of 6 h, the temperature rise shall not increase more than 1 K. Should a greater change be observed, the test may be continued until the above requirement is met for four consecutive measurements during a subsequent 6 h period.

Before and after the test, the capacitance shall be measured (see 2.3.1) within the temperature range according to 2.1.2 and the two measurements shall be corrected to the same dielectric temperature. The difference between the two measurements shall be less than an amount corresponding to puncture of an element or operation of an internal fuse. When interpreting the results of the measurements, the following factors shall be taken into account:

- the reproducibility of the measurements;
- the fact that internal change in dielectric may cause a small change of capacitance, without puncture of any element or operation of an internal fuse having occurred.

NOTES

1 When checking whether the temperature conditions are satisfactory, voltage fluctuation, frequency and ambient air temperature during the test shall be taken into account. For this reason, it is advisable to plot these parameters and the temperature rise of the container as a function of time.

2 Units intended for 60 Hz installation may be tested with 50 Hz and vice versa provided that the specified output is applied. For units rated below 50 Hz the test conditions shall be agreed between the manufacturer and purchaser.

2.9.3 Capacitor loss measurement

The capacitor losses (or $\tan \delta$) shall be measured at the end of the thermal stability test. The measuring voltage shall be that of the thermal stability test. Otherwise 2.4.1 applies.

The value of $\tan \delta$ measured shall not exceed the value declared by the manufacturer or the value agreed upon between the manufacturer and purchaser.

2.10 A.C. voltage test between terminals and container (type test)

Units having both terminals insulated from the container shall be subjected to a test voltage applied for 1 min between the terminals joined together and the container. The value of the test voltage shall be chosen according to clause 3.1. Test on units having one terminal permanently connected to the container shall be limited to the bushing and container (without elements).

L'essai est fait à sec pour les condensateurs unitaires utilisés à l'intérieur des bâtiments alors que pour les condensateurs destinés à être utilisés à l'extérieur, il est fait sous pluie artificielle (CEI 60). La position des traversées pendant un essai sous pluie artificielle doit être la même que leur position en service.

Au cours de l'essai, il ne doit se produire ni perforation ni contournement.

NOTE - Les condensateurs unitaires destinés à être installés à l'extérieur des bâtiments peuvent être soumis seulement à un essai à sec si le constructeur peut fournir un compte rendu séparé d'essai de type montrant que les traversées supportent pendant 1 min la tension de l'essai sous pluie artificielle. Pour cet essai de type séparé, la position des traversées doit être identique à leur position de service.

2.11 Essai de tension de choc de foudre entre bornes et cuve (essai de type)

2.11.1 Généralités

Cet essai s'applique uniquement aux condensateurs unitaires répondant aux conditions suivantes:

- les unités dont toutes les bornes sont isolées de la cuve doivent être essayées selon les dispositions de 2.11.2;
- les unités dont une borne est connectée à la cuve doivent être essayées sur un modèle unitaire selon les dispositions de 2.11.3.

Pour les unités dont les cuves sont isolées par rapport à la terre, une tension d'essai au choc de foudre doit être choisie; son amplitude correspond à la tension d'essai en courant alternatif définie selon les dispositions de l'article 3.1.

L'essai au choc de foudre doit être exécuté selon les dispositions de la CEI 60, mais avec une forme d'onde de (1,2 à 5)/50 μ s dont la valeur de crête correspond au niveau d'isolement de l'unité selon les dispositions de l'article 3.1.

L'absence de défaut ou d'une perforation partielle pendant l'essai doit être vérifiée en enregistrant la tension et en vérifiant la forme d'onde.

2.11.2 Essai d'un condensateur unitaire normal

Quinze chocs de polarité positive suivis par 15 chocs de polarité négative doivent être appliqués entre les traversées reliées entre elles et la cuve. Après l'inversion de polarité, il est autorisé d'appliquer quelques chocs d'amplitude plus faible avant d'appliquer les chocs négatifs.

Le condensateur est considéré comme ayant satisfait à l'essai si:

- il ne s'est pas produit de perforation;
- il n'y a pas eu plus de deux contournements pour chaque polarité;
- la forme d'onde n'a pas présenté d'irrégularité ou bien, dans le cas contraire, la forme d'onde enregistrée à la tension réduite (50 % à 70 % de la tension d'essai) ne diffère pas de façon significative de celle qui apparaît à la tension d'essai.

En variante, le condensateur unitaire peut être essayé selon les dispositions de 2.11.3.

The test is dry for units to be used indoors, and for units to be used outdoors it is performed in artificial rain (IEC 60). The position of the bushings when subject to a test in the artificial rain shall correspond to their position in service.

During the test, neither puncture nor flashover shall occur.

NOTE - Units intended for outdoor installation may be subjected to a dry test only if the manufacturer can supply a separate type test report showing that the bushings will withstand the wet test voltage for 1 min. The position of the bushing in this separate type test shall correspond to the service position.

2.11 Lightning impulse voltage test between terminals and container (type test)

2.11.1 General

This test is applicable only to units according to the following requirements:

- units having all terminals insulated from the container shall be tested in accordance with 2.11.2;
- units having one terminal connected to the container shall - on a model unit - be tested in accordance with 2.11.3.

For units with containers insulated from earth, a lightning impulse test voltage shall be chosen, which amplitude corresponds to the a.c. test voltage according to clause 3.1.

The lightning impulse test shall be made in accordance with IEC 60 but with a wave-shape of (1,2 to 5)/50 μ s having a crest value corresponding to the insulation level of the unit according to clause 3.1.

The absence of failure or partial puncture during the test shall be verified by recording the voltage and by checking the wave shape.

2.11.2 Test on standard unit

Fifteen impulses of positive polarity followed by 15 impulses of negative polarity shall be applied between the bushings joined together and the container. After the change of polarity it is permissible to apply some impulses of lower amplitude before the application of the negative impulses.

The capacitor is considered to have passed the test if:

- no puncture has occurred;
- not more than two flashovers have occurred at each polarity;
- the wave-shape has revealed no irregularities, or if so, the wave shape recorded at a reduced voltage (50 % to 70 % of the test voltage) does not differ significantly from that recorded at test voltage.

Alternatively the unit may be tested according to 2.11.3.

2.11.3 Essai d'un condensateur unitaire modèle et d'un condensateur unitaire normal

Le condensateur unitaire modèle doit être équipé de traversées munies de conducteurs de connexion interne, pourvus de leur isolation normale; il doit être rempli d'un produit d'imprégnation, mais sans contenir d'éléments. Le fil de raccordement interne des traversées peut être recourbé en forme de U entre les traversées ou être muni d'un dispositif réduisant les contraintes électriques.

Le condensateur unitaire modèle doit être essayé et accepté conformément aux dispositions de 2.11.2.

Le condensateur unitaire normal doit être soumis à trois chocs positifs appliqués entre les traversées raccordées entre elles et à la cuve. Les critères d'acceptation de 2.11.2 s'appliquent, mais aucun contournement n'est toléré.

L'essai du condensateur unitaire modèle est destiné à vérifier l'isolement externe et l'essai du condensateur unitaire normal à vérifier l'isolement interne.

2.12 Essai de tenue au froid (essai de type)

Les tensions appliquées pendant cet essai doivent être pratiquement sinusoïdales. Le circuit d'essai doit être suffisamment amorti pour réduire les surtensions dues aux transitoires.

La température initiale du diélectrique du condensateur en essai doit, avant l'application de la tension, être la plus basse température de la catégorie de températures.

Dans les applications pour lesquelles les conditions de surcharges après des perturbations du réseau sont inconnues, l'essai suivant doit être effectué:

Le condensateur, 10 min après avoir été retiré de l'enceinte frigorifique, doit être soumis à $1,5 U_N$ (entre les bornes) et, dans les 30 s suivantes, une surtension de $1,1 U_{lim}$ (au moins égale à $2,25 U_N$) doit être appliquée sans aucune interruption de la tension, pendant une période de cinq à 10 cycles après laquelle la tension de $1,5 U_N$ est maintenue à nouveau, sans aucune interruption de la tension (figure 2, page 40). Après un temps de 1,5 à 2 min à $1,5 U_N$, le condensateur est soumis à une autre période de surtension égale à la précédente et ainsi jusqu'à ce que le nombre suivant de périodes de surtension à fréquence industrielle égale à $1,1 U_{lim}$ ait été appliqué (voir figure 2, page 40):

- 50 périodes de surtension pour les appareils de protection types K et N1;
- 100 périodes de surtension pour les appareils de protection types L, M et N2.

S'il n'y a pas de dispositif de protection contre les surtensions, chaque période de surtension doit être égale ou plus longue que la durée de la tension de défaut U_{lim} avant que le défaut soit éliminé ou le condensateur découplé. Le condensateur doit être soumis à cinq périodes de surtension de cette durée.

Après la dernière période de surtension, la tension $1,5 U_N$ doit être maintenue pendant 30 min.

2.11.3 Test on model unit and standard unit

The model unit shall be equipped with bushing(s), shall have the internal bushing connection wire provided with its standard insulation, shall be filled with impregnant but shall contain no elements. The internal bushing connection wire may be either bent in a U-shape between the bushings or be fitted with a relieving device for the electrical stress.

The model unit shall be tested and accepted according to 2.11.2.

The standard unit shall be subjected to three positive impulses applied between the bushings joined together and the container. The acceptance criteria of 2.11.2 are applicable except that no flashover is permitted.

The test on the model unit is intended to verify the external insulation and the test on the standard unit is intended to verify the internal insulation.

2.12 Cold duty test (type test)

The voltages applied during this test shall be substantially sinusoidal. The test circuit shall be suitably damped to reduce overvoltages due to transients.

The initial dielectric temperature of the test unit prior to the voltage application shall be the lowest temperature of the temperature category.

For applications where the overload conditions following system disturbances are unknown, the following test shall be applied.

The unit shall within 10 min after being removed from the refrigerator be exposed to $1,5 U_N$ (between terminals), and within 30 s thereafter, an overvoltage of $1,1 U_{lim}$ (but at least $2,25 U_N$) shall be applied without any voltage interruption for a period of five to 10 cycles after which $1,5 U_N$ is maintained again without any voltage interruption (figure 2, page 41). After an interval of 1,5 to 2 min at $1,5 U_N$, another equal overvoltage period shall be applied, and so on until the following number of power frequency overvoltage periods of $1,1 U_{lim}$ have been applied (see figure 2, page 41):

- 50 overvoltage cycles for protector types K and N1;
- 100 overvoltage cycles for protector types L, M and N2.

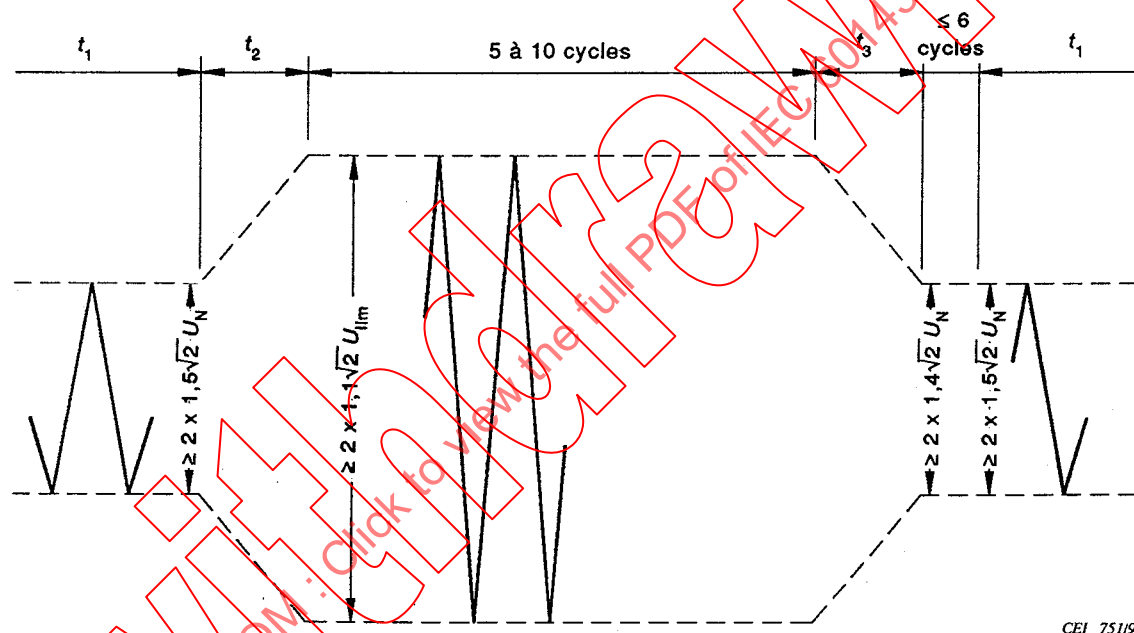
In the case of no overvoltage protector, each single overvoltage period shall be equal to or longer than the duration of the fault voltage U_{lim} before the fault is switched off or the capacitor by-passed. The capacitor shall be exposed to five overvoltage periods of this duration.

After the last overvoltage period, a voltage of $1,5 U_N$ shall be maintained for a time of 30 min.

Quand les conditions de surcharge sont connues, la courbe de la tension en fonction du temps entre les périodes de surtension à $1,1 U_{lim}$ et le(s) niveau(x) de surtension d'essai ultérieur(s) (c'est-à-dire $1,5 U_N$) peu(ven)t être modifié(s) après accord entre acheteur et constructeur. Il convient que ces conditions d'essais modifiées soient basées sur les courants maximaux en service (article 4.1) et les conditions de surcharge à la suite de perturbations du réseau (voir 7.2.1 et figure 3, page 56).

Avant et après l'essai, la capacité doit être mesurée conformément à 2.3.1 et les deux mesures doivent être affectées d'un facteur de correction afin d'être ramenées à une même température du diélectrique (2.1.2). Pour ces mesures, il ne doit pas y avoir de variation significative de la capacité et, de toute façon, celle-ci doit être inférieure à la variation correspondant à la perforation d'un élément ou à l'ouverture d'un coupe-circuit interne. Pour interpréter les résultats des mesures, il faut tenir compte des facteurs spécifiés en 2.9.2.

L'essai de tenue au froid peut être fait sur un condensateur unitaire normal ou sur un condensateur spécial présentant les caractéristiques décrites dans la CEI 871-2.



CEI 751/92

Le temps t_1 représente l'intervalle de 1,5 min à 2 min qui s'écoule entre deux applications successives de la surtension. Les temps t_2 et t_3 dépendent des paramètres des circuits d'essai et il est recommandé qu'ils soient aussi courts que possible.

Figure 2 – Limites de temps et d'amplitude d'une période de surtension

2.13 Essai de courant de décharge (essai de type)

Le condensateur unitaire doit être chargé à une tension continue de $\sqrt{2} U_{lim}$ (mais sans être inférieure à $2,5 U_N$) et être ensuite déchargé en une seule fois dans un circuit dont l'impédance est aussi faible que possible.

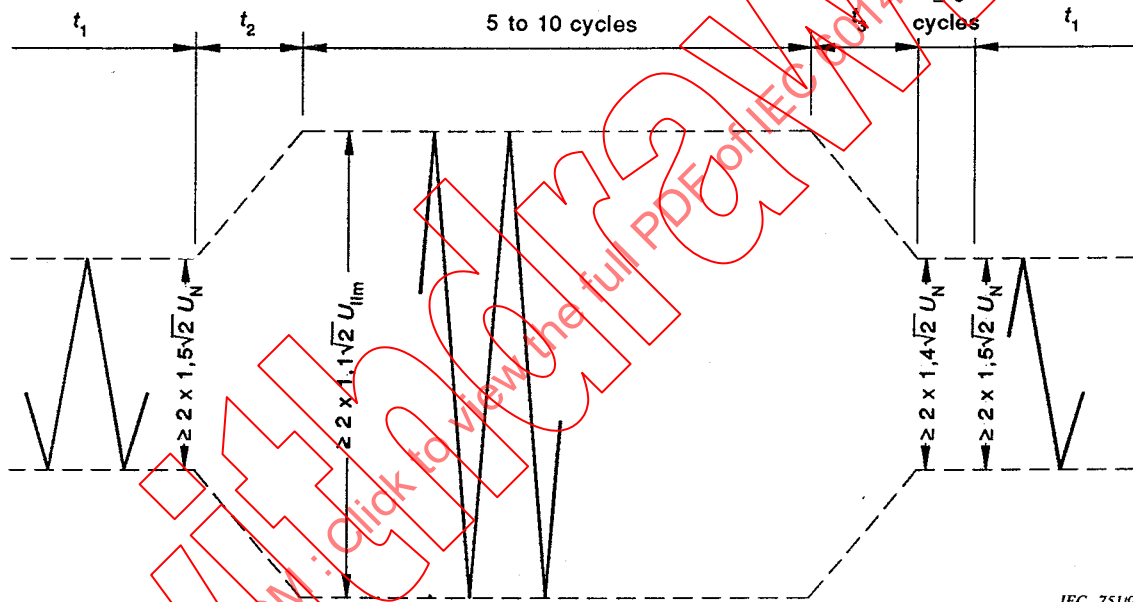
Ce même condensateur unitaire doit ensuite être chargé à une tension continue conformément aux indications du tableau 2 et déchargé dans un circuit présentant les caractéristiques suivantes:

- la valeur de crête du courant de décharge ne doit pas être inférieure à 120 fois le courant assigné (valeur efficace) du condensateur unitaire;

When overload conditions are known, the voltage versus time profile between the overvoltage test periods of $1,1 U_{lim}$ and the subsequent overvoltage test level(s) (i.e., $1,5 U_N$) may be changed as agreed between purchaser and manufacturer. These revised test conditions should be based on maximum working currents (clause 4.1) and overload conditions following system disturbances (see 7.2.1 and figure 3, page 57).

Before and after the test, the capacitance shall be measured according to 2.3.1 and the two measurements shall be corrected to the same dielectric temperature (see 2.1.2). There shall be no significant change of capacitance for these measurements and in any case it shall be less than the change corresponding to puncture of an element or to operation of an internal fuse. When interpreting the results of the measurements, the factors stated in 2.9.2 shall be taken into account.

The cold duty test may be performed on either a standard unit or on a special unit having the characteristics described in IEC 871-2.



IEC 751/92

The time t_1 is the interval of 1,5 min to 2 min between two consecutive overvoltage applications. The times t_2 and t_3 depend on the test circuit parameters and should be as short as possible.

Figure 2 – Time and amplitude limits for an overvoltage period

2.13 Discharge current test (type test)

The capacitor unit shall be charged to a d.c. voltage of $\sqrt{2} U_{lim}$ (but not less than $2,5 U_N$) and then discharged once through a circuit having an impedance as low as possible.

The same unit shall then be charged to a d.c. voltage in accordance with table 2 and discharged through a circuit which satisfies the following conditions:

- the peak value of the discharge current shall be not less than 120 times the rated (r.m.s.) current of the capacitor unit;

- l'amortissement du courant de décharge doit être de 10 % au moins inférieur à l'amortissement contractuel (voir 7.6.3).

Cette décharge est répétée 10 fois, à des intervalles inférieurs à 20 s. Dans les 10 min suivant la dernière décharge, le condensateur unitaire doit être soumis à un essai de tenue en tension entre bornes, conformément à l'article 2.5.

Avant et après l'essai, la capacité doit être mesurée conformément aux dispositions de 2.3.1 et les deux mesures doivent être affectées d'un facteur de correction afin d'être ramenées à une même température du diélectrique (voir 2.1.2). Pour ces mesures, il ne doit pas y avoir de variation significative de la capacité et, de toute façon, celle-ci doit être inférieure à la variation correspondant à la perforation d'un élément ou au fonctionnement d'un coupe-circuit interne. Pour interpréter les résultats des mesures, il faut tenir compte des facteurs spécifiés en 2.9.2.

NOTES

- 1 Lorsque le courant de décharge consécutif au fonctionnement du dispositif de protection contre les surtensions est très différent de la valeur obtenue en multipliant le courant assigné par 100 dans le cas de dispositifs de protection contre les surtensions de type K, M ou N1, ou par 50 dans le cas de dispositifs de protection contre les surtensions de type L ou N2 (voir 7.6.2), le courant de décharge spécifié pour l'essai doit être porté à 1,2 fois la première valeur de crête du courant de décharge pour les dispositifs de protection de types K, M et N1 et à 2,4 fois cette valeur pour les dispositifs de protection de types L et N2.
- 2 S'il est prévu que le condensateur soit soumis en service à des décharges fréquentes, le nombre de décharges amorties de l'essai précédent peut, après accord, être porté à 20.
- 3 La décharge non amortie est destinée à prouver que les condensateurs unitaires peuvent supporter les contraintes auxquelles ils sont soumis lors d'un amorçage qui contourne le circuit d'amortissement.

SECTION 3: NIVEAUX D'ISOLEMENT

3.1 Tensions d'essai

3.1.1 Valeurs normalisées

Les tensions d'essai des condensateurs unitaires comme des installations de condensateurs doivent être choisies parmi les valeurs normalisées prescrites par la CEI 71 (CEI 71-1, 71-2 et 71-3).

Les niveaux normalisés de la plus haute tension appliquée au matériel sont divisés en trois gammes:

Gamme A: Tensions inférieures à 52 kV. Les valeurs de la CEI 71 sont complétées par deux valeurs (1,2 kV et 2,4 kV) de la tension la plus élevée pour le matériel et figurent au tableau 4-A (pratique courante dans la plupart des pays européens et dans plusieurs autres pays). Le choix entre les valeurs de la liste 1 et de la liste 2 peut être fait en tenant compte des informations figurant dans la CEI 71. Les valeurs adoptées à partir de la pratique courante dans certains pays d'Amérique du Nord et certains autres pays figurent au tableau 4-B.

Gamme B: De 52 kV à 300 kV exclus. Les valeurs de la CEI 71 sont données dans le tableau 5. Ce tableau associe un ou plusieurs niveaux d'isolement recommandés à chaque valeur normalisée de la tension la plus élevée pour le matériel. Il ne faut pas utiliser de valeurs intermédiaires. Plusieurs niveaux d'isolement peuvent coexister dans un

- the damping of the discharge current shall be at least 10 % less than the contractual damping (see 7.6.3).

This discharge shall be repeated 10 times at intervals of less than 20 s. Within 10 min after the last discharge, the unit shall be subjected to a voltage test between terminals according to clause 2.5.

Before and after the test, the capacitance shall be measured according to 2.3.1 and the two measurements shall be corrected to the same dielectric temperature (see 2.1.2). There shall be no significant change of capacitance at these measurements and in any case it shall be less than the change corresponding to puncture of an element or to operation of an internal fuse. When interpreting the results of the measurements, the factors stated in 2.9.2 shall be taken into account.

NOTES

- 1 When the discharge current following operation of the overvoltage protector is substantially different from 100 times the rated current in the case of overvoltage protectors type K, M or N1, or 50 times the rated current in the case of overvoltage protectors type L or N2 (see 7.6.2), the discharge current specified for the test shall be changed to 1,2 times the first peak of the discharge current for the protectors Type K, M and N1 and to 2,4 times the same to the protectors Type L and N2.
- 2 If the capacitor in service is expected to be subjected to frequent discharges, the number of damped discharges in the above test may, by agreement, be increased to 20.
- 3 The undamped discharge is intended to prove that the units can withstand the stresses occurring at a flashover which by-passes the damping circuit.

SECTION 3: INSULATION LEVEL

3.1 Test voltages

3.1.1 Standard values

The test voltages of the capacitor units and of the capacitor installation shall be chosen from the standard values prescribed by IEC 71 (IEC 71-1, 71-2 and 71-3).

The standardized values of the highest voltage for equipment are divided into three ranges:

Range A: Voltage less than 52 kV. The values of IEC 71 are supplemented by two values (1,2 kV and 2,4 kV) of the highest voltage for equipment and are given in table 4-A (current practice in most European and several other countries). The choice between the values of list 1 or list 2 may be made taking into account the information given in IEC 71. Values based on current practice in some North American and other countries are given in table 4-B.

Range B: From 52 kV to less than 300 kV. The values of IEC 71 are given in table 5. The table associates one or more recommended insulation levels with each standard value of the highest voltage for equipment. Intermediate values shall not be employed. Several insulation levels may exist in the same system appropriate to installations situated in

même réseau correspondant à des installations situées dans des endroits différents ou à des matériels différents situés dans la même installation. Pour choisir le niveau d'isolement, en fonction des conditions particulières de chaque installation, voir la CEI 71.

Gamme C: Tensions égales et supérieures à 300 kV. Les valeurs de la CEI 71 sont données dans le tableau 6. Ce tableau associe un ou plusieurs niveaux d'isolement recommandés à chaque valeur normalisée de la tension la plus élevée pour le matériel. Il ne faut pas utiliser de valeurs intermédiaires. Plusieurs niveaux d'isolement peuvent coexister dans un même réseau correspondant à des installations situées dans des endroits différents ou à des matériels différents situés dans la même installation. Pour choisir le niveau d'isolement, en fonction des conditions particulières de chaque installation, voir la CEI 71.

C'est à l'acheteur qu'il appartient de spécifier, parmi les tensions d'essai alternatives des tableaux 4 à 6, lesquelles doivent être appliquées.

3.1.2 Tensions d'essai des condensateurs unitaires

3.1.2.1 Condensateurs unitaires totalement isolés de la cuve

Les condensateurs unitaires dont la cuve est raccordée à la terre doivent présenter un niveau d'isolement conforme aux indications des tableaux 4-A ou 4-B.

3.1.2.2 Condensateurs unitaires à cuve isolée de la terre

Ce paragraphe s'applique seulement aux condensateurs unitaires montés sur des châssis isolés.

La tension d'essai à fréquence industrielle de l'isolement par rapport à la cuve doit être calculée à l'aide de la formule suivante:

$$U_t = 1,2 \, n \, U_{\text{lim}} \quad (1)$$

avec un minimum égal à $2,15 \, n \, U_N$, U_t étant la tension d'essai à fréquence industrielle, U_{lim} la tension limite du condensateur unitaire, U_N la tension assignée du condensateur unitaire et n le nombre d'unités reliées en série correspondant au châssis métallique auquel les cuves sont raccordées (par exemple, $n = 3$ pour six condensateurs unitaires reliés en série avec un point milieu connecté au châssis).

3.1.3 Isolement par rapport à la terre et entre les batteries d'une phase

Les tensions d'essai doivent être choisies parmi les valeurs normalisées, conformément à 3.1.1.

3.1.4 Isolement dans une batterie d'une phase

Chaque isolation entre les parties constituantes d'une batterie d'une phase doit avoir des tensions d'essai déterminées d'après la formule (1) de 3.1.2.2. Toutefois, dans ce cas, n correspond au nombre d'unités qui sont concernées par cette isolation.

NOTE - Pour le circuit d'amortissement et l'isolement qui est en parallèle avec ce circuit, la tension d'essai à fréquence industrielle doit être égale à $1,2/\sqrt{2}$ fois la tension instantanée qui apparaît dans le circuit d'amortissement lorsque le dispositif de protection contre les surtensions fonctionne (articles 7.6 et 7.7).

different locations or to various equipment situated in the same installation. For selection of the insulation level in relation to the particular conditions of the installation, see IEC 71.

Range C: 300 kV and above. The values of IEC 71 are given in table 6. The table associates two or more recommended insulation levels with each standard value of the highest voltage for equipment. Intermediate values shall not be employed. Several insulation levels may exist in the same system appropriate to installations situated in different locations or to various equipment situated in the same installation. For selection of the insulation given by the level in relation to the particular conditions of the installation, see IEC Standard 71.

The purchaser shall specify which of the alternative test voltages of tables 4 to 6 shall be applied.

3.1.2 *Test voltages of capacitor units*

3.1.2.1 *Units with full insulation to container*

The units having container connected to earth shall have an insulation level according to table 4-A or table 4-B.

3.1.2.2 *Units with container insulated from earth*

This sub-clause applies to units mounted on insulated racks.

The power-frequency test voltage of the insulation to the container shall be calculated according to the following formula:

$$U_t = 1,2 \, n \, U_{lim} \quad (1)$$

with a minimum of $2,15 \, n \, U_N$, where U_t is the power frequency test voltage, U_{lim} the limiting voltage of the capacitor unit, U_N the rated voltage of the capacitor unit and n the number of units in series relative to the metal rack to which the containers are connected (e.g., if six units are series-connected in one rack with the centre point connected to the rack, $n = 3$).

3.1.3 *Insulation to earth and between phase banks*

The test voltages shall be chosen from the standard values in accordance with 3.1.1.

3.1.4 *Insulation across phase bank*

Each insulation across parts of a phase bank shall have the test voltages determined according to formula (1) in 3.1.2.2. However, in this case n corresponds to the number of units which span across this insulation.

NOTE - For the damping circuit and insulation connected in parallel with it, the power frequency test voltage shall be chosen to $1,2/\sqrt{2}$ times the instantaneous voltage appearing across the damping circuit when the overvoltage protector operates (clauses 7.6 and 7.7).

3.2 Ligne de fuite

Les indications figurant dans la CEI 815 s'appliquent. L'utilisateur doit spécifier le niveau de pollution ou la ligne de fuite spécifique minimale qui doit être utilisé.

Les valeurs de la ligne de fuite spécifique figurant dans la CEI 815 sont basées sur la tension la plus élevée pour le matériel (voir 1.3.23).

a) Lignes de fuite par rapport à la terre et entre phases:

Les prescriptions de la CEI 815 doivent être utilisées.

b) Lignes de fuite dans un segment ou dans une batterie d'une phase:

La tension assignée de chaque ligne de fuite individuelle doit être multipliée par $1,2 \sqrt{3}$. La valeur obtenue donne une tension «équivalente» la plus élevée pour le matériel qui doit être multipliée par la valeur de la ligne de fuite spécifique choisie pour obtenir la ligne de fuite minimale requise. Le facteur 1,2 permet de tenir compte des surtensions provoquées par les surintensités admissibles conformément aux dispositions de l'article 4.1. Si l'une des surintensités de l'article 4.1 a été augmentée, le facteur 1,2 doit être augmenté de façon linéaire par rapport à la surintensité, figurant à l'article 4.1, qui a subi la plus forte augmentation.

Les isolateurs qui en fonctionnement normal sont exposés à un très faible niveau de tension alors qu'ils sont soumis à une haute tension pendant le fonctionnement du dispositif de protection contre les surtensions doivent être sélectionnés en appliquant seulement les prescriptions de la tension d'essai.

Tableau 4-A – Niveaux d'isolement normalisés entre phase et terre et entre phases pour $U_m < 52$ kV – Série I (basée sur la pratique courante dans la plupart des pays européens et plusieurs autres pays)

Tension la plus élevée pour le matériel U_m (valeur efficace)	Tension assignée de tenue au choc de foudre (valeur de crête)		Tension assignée de tenue de courte durée à fréquence industrielle (valeur efficace)
	Liste 1	Liste 2	
kV	kV	kV	kV
1,2	–	25	6
2,4	–	35	8
3,6	20	40	10
7,2	40	60	20
12	60	75	28
17,5	75	95	38
24	95	125	50
36	145	170	70

3.2 Creepage distance

The recommendations given in IEC 815 apply. The purchaser shall specify which one of the pollution levels or the minimum specific creepage distance shall be applicable.

The specific creepage distance values given in IEC 815 are based on the highest voltage for equipment (see 1.3.23).

a) Creepage distances to earth and between phases:

The requirements of IEC 815 shall be used.

b) Creepage distances within a phase bank or segment:

The rated voltage across each individual creepage distance shall be multiplied by $1,2\sqrt{3}$. The obtained value forms an "equivalent" highest voltage for equipment which shall be multiplied with the selected specific creepage distance value to obtain the required minimum creepage distance. The factor 1,2 allows for the overvoltages caused by the permissible overcurrents according to clause 4.1. If any of the overcurrents of clause 4.1 has been increased, the factor 1,2 shall be increased linearly to the overcurrent of clause 4.1 that has been increased most.

Those insulators which under normal operating conditions are exposed to a very low voltage but which are subjected to a high voltage during operation of the overvoltage protector shall be selected by the test voltage requirement alone.

Table 4-A – Standard phase-to-earth and phase-to-phase insulation levels for $U_m < 52$ kV - Series I (based on current practice in most European and several other countries)

Highest voltage for equipment U_m (r.m.s.)	Rated lightning impulse withstand voltage (peak)		Rated short duration power-frequency withstand voltage (r.m.s.)
	Liste 1	Liste 2	
kV	kV	kV	kV
1,2	–	25	6
2,4	–	35	8
3,6	20	40	10
7,2	40	60	20
12	60	75	28
17,5	75	95	38
24	95	125	50
36	145	170	70

Tableau 4-B – Niveaux d'isolement normalisés entre phase et terre et entre phases pour $U_m < 52 \text{ kV}$ – Série II (basée sur la pratique courante dans certains pays d'Amérique du Nord et certains autres pays)

Tension la plus élevée pour le matériel U_m (valeur efficace)	Tension assignée de tenue au choc de foudre (valeur de crête)	Tension assignée de tenue de courte durée à fréquence industrielle (valeur efficace)
kV	kV	kV
1,3	30 *	6
2,75	45 *	13
5,5	75	24
15,5	95	30
19,8	125	36
27,5	150	50
38,0	200	70
48,3	250	95

* Ne s'applique pas aux circuits non exposés.

Tableau 5 – Niveaux d'isolement normalisés pour $52 \text{ kV} \leq U_m < 300 \text{ kV}$. Les valeurs des tensions d'essai entre phases qui sont entre parenthèses ne sont habituellement pas utilisées (voir la CEI 71-3)

Tension la plus élevée pour le matériel U_m (valeur efficace)	Tension assignée de tenue au choc de foudre (valeur de crête)		Tension assignée de tenue de courte durée à fréquence industrielle (valeur efficace)	
	Phase-terre	Phase-phase	Phase-terre	Phase-phase
kV	kV	kV	kV	kV
52	250	250	95	95
72,5	325	325	140	140
123	450	450	185	185
	550	550	230	230
145	450	(450)	185	230
	550	550	230	230
	650	650	275	275
170	550	(550)	230	275
	650	650	275	275
	750	750	325	325
245	650	(650)	275	360
	750	(750)	325	360
	850	850	360	360
	950	950	395	395
	1 050	1 050	460	460

Table 4-B – Standard phase-to-earth and phase-to-phase insulation levels for $U_m < 52$ kV - Series II (based on current practice in some North American and other countries)

Highest voltage for equipment U_m (r.m.s.)	Rated lightning impulse withstand voltage (peak)	Rated short duration power-frequency withstand voltage (r.m.s.)
kV	kV	kV
1,3	30 *	6
2,75	45 *	18
5,5	75	24
15,5	95	30
19,8	125	36
27,5	150	50
38,0	200	70
48,3	250	95

* Does not apply to non-exposed circuits

Table 5 – Standard insulation levels for $52 \text{ kV} \leq U_m < 300 \text{ kV}$.
The phase-to-phase test voltages in brackets should not normally be used (see IEC 71-3)

Highest voltage for equipment U_m (r.m.s.)	Rated lightning impulse withstand voltage (peak)		Rated short duration power-frequency withstand voltage (r.m.s.)	
	Phase-to-earth	Phase-to-phase	Phase-to-earth	Phase-to-phase
kV	kV	kV	kV	kV
52	250	250	95	95
72,5	325	325	140	140
123	450	450	185	185
	550	550	230	230
145	450	(450)	185	230
	550	550	230	230
	650	650	275	275
170	550	(550)	230	275
	650	650	275	275
	750	750	325	325
245	650	(650)	275	360
	750	(750)	325	360
	850	850	360	360
	950	950	395	395
	1 050	1 050	460	460

Tableau 6 – Niveaux d'isolement normalisés pour $U_m \geq 300$ kV

Tension la plus élevée pour le matériel U_m (valeur efficace)	Tension assignée de tenue au choc de manoeuvre (valeur de crête)		Tension assignée de tenue au choc de foudre (valeur de crête)
	Phase-terre	Phase-phase	Phase-terre Phase-phase
kV	kV	kV	kV
300	750 850	1 175 1 300	850 950 1 050
362	850 950	1 300 1 425	950 1 050 1 175
420	950 1 050	1 425 1 550	1 050 1 175 1 300 1 425
525	1 050 1 175	1 675 1 800	1 175 1 300 1 425 1 550
765	1 300 1 425 1 550	2 250 2 400 2 550	1 425 1 550 1 800 1 950 2 100 2 400

SECTION 4: SURCHARGES ET SURTENSIONS

4.1 Courants de service

Une batterie de condensateurs série doit pouvoir supporter en service des courants inférieurs ou égaux à 1,5 fois le courant assigné I_N , dans les conditions suivantes:

- Selon la définition de 7.2.1, la surintensité ne doit pas dépasser
 - 1,10 I_N pendant 8 h sur une période de 12 h
 - 1,35 I_N pendant 30 min sur une période de 6 h
 - 1,50 I_N pendant 10 min sur une période de 2 h.
- La puissance moyenne de la batterie de condensateurs, pour chaque période d'utilisation de 24 h, ne doit pas dépasser la puissance assignée.

NOTE - Les valeurs correspondent aux prescriptions de surcharge minimales. Pour les réseaux présentant certaines configurations, par exemple dans le cas de lignes fonctionnant en parallèle, les prescriptions peuvent être modifiées. Dans ce cas, ces nouvelles valeurs doivent être utilisées lors du choix du courant assigné, conformément aux dispositions de 7.2.1.

Table 6 – Standard insulation levels for $U_m \geq 300$ kV

Highest voltage for equipment	Rated switching impulse withstand voltage		Rated lightning impulse withstand voltage
U_m (r.m.s.)	(peak)		(peak)
	Phase-to-earth	Phase-to-phase	Phase-to-earth Phase-to-phase
kV	kV	kV	kV
300	750 850	1 175 1 300	850 950 1 050
362	850 950	1 300 1 425	950 1 050 1 175
420	950 1 050	1 425 1 550	1 050 1 175 1 300 1 425
525	1 050 1 175	1 675 1 800	1 175 1 300 1 425 1 550
765	1 300 1 425 1 550	2 250 2 400 2 550	1 425 1 550 1 800 1 950 2 100 2 400

SECTION 4: OVERLOADS AND OVERVOLTAGES

4.1 Working currents

A series capacitor bank shall be suitable for operation at currents not exceeding 1,5 times the rated current I_N , subject to the following conditions:

- By definition of 7.2.1, the overcurrent shall not exceed:
 - 1,10 I_N for 8 h in a 12 h period
 - 1,35 I_N for 30 min in a 6 h period
 - 1,50 I_N for 10 min in a 2 h period.
- The average output of the capacitor bank over any service period of 24 h shall not exceed the rated output.

NOTE - The values correspond to minimum overload requirements. With certain network configurations, e.g. for lines operating in parallel, the requirements may be changed. In such a case, these new values shall be used when selecting the rated current according to 7.2.1.

4.2 Surtensions transitoires

Les condensateurs série doivent pouvoir supporter, en régime intermittent, des surtensions transitoires dont la valeur instantanée, $\sqrt{2} U_{lim}$, est la valeur la plus élevée possible susceptible de se produire aux bornes du condensateur (2.1.3). L'amplitude prévue de cette surtension doit faire l'objet d'un accord entre le constructeur et l'acheteur. Il convient que l'acheteur précise le taux estimé de répétition des surtensions.

SECTION 5: RÈGLES DE SÉCURITÉ

5.1 Dispositifs de décharge

Chaque condensateur unitaire ou groupe d'unités en parallèle doit être équipé d'un dispositif permettant de le décharger à une tension résiduelle au plus égale à 75 V à partir d'une tension initiale égale à $\sqrt{2} U_N$. La durée maximale de décharge est de 10 min pour les condensateurs unitaires ou groupe de condensateurs unitaires en parallèle. Il ne doit y avoir aucun interrupteur, coupe-circuit à fusible ou autre dispositif d'isolement entre le ou les condensateurs unitaires et le dispositif de décharge.

Les circuits de décharge doivent être dimensionnés de façon adéquate du point de vue transport de courant et absorption d'énergie pour décharger le condensateur à partir d'un niveau de tension égal à $\sqrt{2} U_{lim}$ et aussi pour refermer automatiquement la ligne et la batterie de condensateurs série.

L'utilisation d'un dispositif de décharge ne dispense pas de mettre les bornes du condensateur en court-circuit et à la terre avant toute intervention.

NOTES

- 1 Les conditions de fonctionnement sous une tension supérieure à la tension assignée peuvent provoquer l'apparition d'une tension résiduelle supérieure à 75 V.
- 2 Un défaut affectant une unité protégée par un coupe-circuit ou un amorçage à travers une partie de la batterie peut entraîner l'apparition de charges résiduelles locales dans la batterie d'une phase, qui ne peuvent pas être déchargées dans la durée prescrite au moyen d'un dispositif de décharge raccordé entre les bornes du segment ou de la batterie d'une phase.
- 3 Dans certains pays, des durées de décharge plus courtes et une tension résiduelle plus faible sont exigées. Dans ce cas, l'utilisateur doit en informer le constructeur.
- 4 Les règles d'utilisation peuvent spécifier qu'il est nécessaire que les segments ou les batteries d'une phase soient équipés d'un dispositif de décharge supplémentaire.

5.2 Connexions de masse

Pour permettre de fixer le potentiel de la cuve métallique d'un condensateur unitaire et évacuer le courant de défaut en cas de claquage du condensateur à la cuve, celle-ci doit être équipée d'un moyen de raccordement convenant pour un écrou correspondant à une vis de dimension au moins égale à M 10 ou équivalente (par exemple supports avec surface de montage non peinte).

4.2 Transient overvoltages

Series capacitors shall be suitable for repeated operations at transient overvoltages with the highest possible instantaneous value $\sqrt{2} U_{\text{lim}}$ that is expected to occur across the capacitor terminals (see 2.1.3). This expected magnitude of the overvoltage shall be agreed between the manufacturer and purchaser. The purchaser should give the estimated repetition rate.

SECTION 5: SAFETY REQUIREMENTS

5.1 Discharge device

Each capacitor unit or group of parallel units shall be provided with a means for discharging the residual voltage to 75 V or less from $\sqrt{2} U_N$. The maximum discharge time is 10 min for the capacitor unit or group of parallel units. There must be no switch, fuse, or any other isolating device between the capacitor unit(s) and the discharge device.

The discharge circuits must have adequate current carrying and energy absorbing capacity to discharge the capacitor from a voltage level equal to $\sqrt{2} U_{\text{lim}}$ and for auto-reclosing of the line and the series capacitor bank.

A discharge device is not a substitute for short-circuiting the capacitor terminals together and to earth before handling.

NOTES

- 1 Operating conditions above the rated voltage may cause a residual voltage over 75 V.
- 2 A fault in a unit cleared by a fuse, or a flashover across part of the bank can produce local residual charges inside the phase bank which cannot be cleared within the specified time by means of a discharge device connected between the terminals of the phase bank or segment.
- 3 In certain countries, a shorter discharge time and a lower residual voltage are required. In this case, the purchaser shall inform the manufacturer.
- 4 The service requirements may require that the phase banks or segments should be equipped with an additional discharge device.

5.2 Container connection

To enable the potential of the metal container of a capacitor unit to be fixed, and to be able to carry the fault current in the event of a breakdown to the container, the container shall be provided with connection means suited for a bolt with a screw size of at least M 10 or equivalent (e.g. brackets with unpainted mounting surface).

5.3 Protection de l'environnement

Lorsque les condensateurs contiennent des produits (par exemple des polychlorobiphényles) qui ne doivent pas être dispersés dans l'environnement, il faut respecter les dispositions légales du pays ou de la région en question (annexe C). Si cela est prescrit, les condensateurs unitaires et la batterie doivent comporter une étiquette appropriée.

5.4 Autres règles de sécurité

L'utilisateur doit spécifier, lors de l'appel d'offre, toute prescription spéciale résultant des règles de sécurité en vigueur dans le pays où le condensateur doit être installé.

SECTION 6: MARQUAGE

6.1 Marquage des condensateurs unitaires

6.1.1 Plaque signalétique

Les indications suivantes doivent être portées sur la plaque signalétique de chaque condensateur unitaire:

- 1) Constructeur.
- 2) Numéro d'identification et année de fabrication; l'année peut faire partie du numéro d'identification ou être sous forme codée.
- 3) Courant assigné, I_N en ampères.
- 4) Capacité assignée, C_N en microfarads.
- 5) Fréquence assignée, f_N en hertz.
- 6) Tension assignée, U_N en volts ou en kilovolts.
- 7) Puissance assignée, Q_N en kilovars.
- 8) Tension limite U_{lim} en volts ou en kilovolts et type du dispositif de protection contre les surtensions (voir 7.6.2), par exemple 9 kV (K).
- 9) Catégorie de température.
- 10) Le dispositif de décharge, s'il est interne, doit être indiqué en toute lettre ou par le symbole  ou par la résistance assignée en kilohms ou en mégohms.
- 11) Niveau d'isolement U_i en kilovolts.
- 12) La présence éventuelle de coupe-circuit internes doit être indiquée en toute lettre ou par le symbole .
- 13) Désignation chimique ou commerciale du produit d'imprégnation; cette information peut également être portée sur la plaque d'avertissement (voir 6.1.2).
- 14) Référence à la CEI 143 (avec l'année d'édition).

Un emplacement doit être réservé pour l'indication de la valeur de la capacité mesurée (voir 2.3.1). Cette valeur peut être indiquée de l'une des deux façons suivantes:

5.3 Protection of the environment

When capacitors contain materials (e.g. polychlorinated biphenyls) that must not be dispersed into the environment, the legal requirements of the country concerned shall be followed (annex C). The units and the bank shall be labelled accordingly, if so required.

5.4 Other safety requirements

The purchaser shall specify at the time of enquiry any special requirements with regard to the safety regulations applicable in the country in which the capacitor is to be installed.

SECTION 6: MARKINGS

6.1 Markings of the unit

6.1.1 Rating plate

The following information shall be given on the rating plate of each capacitor unit:

- 1) Manufacturer.
- 2) Identification number and year of manufacture; the year may be a part of identification number or be in code form.
- 3) Rated current I_N in amperes.
- 4) Rated capacitance C_N in microfarads.
- 5) Rated frequency f_N in hertz.
- 6) Rated voltage U_N in volts or kilovolts.
- 7) Rated output Q_N in kilovars.
- 8) Limiting voltage U_{lim} in volts or kilovolts and type of the overvoltage protector (see 7.6.2), e.g., 9 kV (K).
- 9) Temperature category.
- 10) Discharge device, if internal, shall be indicated by wording or by the symbol  or by the rated resistance in kilohms or megaohms.
- 11) Insulation level U_i in kilovolts.
- 12) Internal fuses, if included, shall be indicated by wording or by the symbol .
- 13) Chemical or trade name of impregnant; this indication may alternatively be stated on the warning plate (see 6.1.2).
- 14) Reference to IEC 143 (plus the year of issue).

A place shall be reserved for the measured capacitance (see 2.3.1). This value may be indicated in one of the following ways:

- par la valeur absolue de capacité qui peut remplacer la valeur de la capacité assignée;
- par la différence ΔC entre la capacité mesurée et la capacité assignée, indiquée, par exemple, à l'aide des symboles suivants:
 - ++ pour ΔC compris entre +7,5 % et +4,5 %
 - + pour ΔC compris entre +4,5 % et +1,5 %
 - +– pour ΔC compris entre +1,5 % et –1,5 %
 - pour ΔC compris entre –1,5 % et –4,5 %
 - pour ΔC compris entre –4,5 % et –7,5 %

Le niveau d'isolement peut être indiqué par deux nombres séparés par une barre, le premier nombre donnant la valeur de la tension assignée de tenue de courte durée à fréquence industrielle, en kilovolts, et le deuxième donnant la valeur de la tension assignée de tenue au choc de foudre, en kilovolts, par exemple 28/75 kV. Pour les condensateurs unitaires dont une borne est connectée en permanence à la cuve et qui ne sont pas essayés selon les dispositions des articles 2.10 et 2.11, ces indications ne s'appliquent pas.

6.1.2 Plaque d'avertissement

Si le condensateur unitaire contient des produits qui risquent de polluer l'environnement ou qui peuvent être dangereux d'une autre façon (par exemple produits inflammables), le condensateur unitaire doit être pourvu d'une étiquette ou d'un autre marquage correspondant aux lois applicables du pays ou de la région de l'utilisateur. L'acheteur doit informer le constructeur du ou des règlements en question.

6.2 Marquage des batteries de condensateurs

6.2.1 Notice d'instructions ou plaque signalétique

Les indications minimales suivantes doivent être données par le constructeur dans une notice d'instructions ou en variante, à la suite d'un accord contractuel, sur une plaque signalétique:

- 1) Constructeur.
- 2) Puissance assignée Q_N (par exemple 3 x 10 Mvar).
- 3) Réactance de chaque phase.
- 4) Courant assigné I_N .
- 5) Surintensité admissible pendant 10 min (article 4.1).
- 6) Tension assignée U_N .
- 7) Tension limite U_{lim} .
- 8) Niveau d'isolement par rapport à la terre.
- 9) Durée de la décharge de la batterie d'une phase de $\sqrt{2} U_N$ à 75 V.
- 10) Type du dispositif de protection contre les surtensions (voir 7.6.2).
- 11) Courant de court-circuit symétrique admissible et durée.

Si d'autres renseignements sont portés sur une notice d'instructions, la plaque signalétique (ou une autre plaque s'il n'y a pas de plaque signalétique) doit faire référence à cette notice d'instructions.

- as an absolute capacitance value which may replace the rated capacitance;
- as a difference ΔC between the measured and the rated capacitance indicated, for example, by symbols for the capacitance deviation ranges as follows:
 - ++ for ΔC between +7,5 % and +4,5 %
 - + for ΔC between +4,5 % and +1,5 %
 - +– for ΔC between +1,5 % and –1,5 %
 - for ΔC between –1,5 % and –4,5 %
 - for ΔC between –4,5 % and –7,5 %.

The insulation level can be marked by means of two numbers separated by a stroke, the first number giving rated short duration power-frequency withstand voltage in kilovolts and the second number giving rated lightning impulse withstand voltage in kilovolts, e.g. 28/75 kV. For units having one terminal permanently connected to the container and not tested according to clauses 2.10 and 2.11, this information is not applicable.

6.1.2 Warning plate

If the capacitor unit contains material which may pollute the environment or may be hazardous in any other way (e.g. inflammability), the unit shall be provided with a label or otherwise marked according to the relevant laws of the country of the user. The purchaser shall inform the manufacturer about such law(s).

6.2 Markings of the bank

6.2.1 Instruction sheet or rating plate

The following minimum information shall be given by the manufacturer in an instruction sheet or alternatively, on contractual agreement, on a rating plate:

- 1) Manufacturer.
- 2) Rated output Q_N (e.g. 3 x 10 Mvar).
- 3) Reactance of each phase.
- 4) Rated current I_N .
- 5) Permissible overcurrent during 10 min (clause 4.1).
- 6) Rated voltage U_N .
- 7) Limiting voltage U_{lim} .
- 8) Insulation level with respect to earth.
- 9) Time to discharge the phase bank from $\sqrt{2} U_N$ to 75 V.
- 10) Type of the overvoltage protector (see 7.6.2).
- 11) Permissible symmetrical short-circuit current and its duration.

If further information is given in an instruction sheet the rating plate (or another plate if a rating plate does not exist) shall bear reference to this instruction sheet.

Si la batterie de condensateurs se compose de segments connectés en série, les points 3, 6, 7 et 9 doivent être spécifiés pour chaque segment.

Le niveau d'isolement peut être indiqué par deux nombres séparés par une barre, le premier nombre donnant la tension assignée de tenue de courte durée à fréquence industrielle (pour $U_m < 300$ kV) ou la tension assignée de tenue au choc de manoeuvre (pour $U_m \geq 300$ kV), en kilovolts, et le deuxième nombre donnant la valeur assignée de tenue au choc de foudre, en kilovolts, par exemple, 185/450 kV.

6.2.2 Plaque d'avertissement

Le 6.1.2 s'applique également aux batteries.

SECTION 7: GUIDE DE SÉLECTION DES CARACTÉRISTIQUES ASSIGNÉES ET POUR L'INSTALLATION ET L'EXPLOITATION

7.1 Généralités

Puisque les condensateurs série réduisent la réactance de ligne et, en conséquence, diminuent le déphasage des tensions aux extrémités de la ligne, ils sont utilisés dans les lignes de grande longueur de transport d'énergie, pour réduire la chute de tension et améliorer la stabilité du réseau, ce qui se traduit par une augmentation de la capacité de transmission de la ligne. Ils sont également utilisés pour régler la répartition de la puissance active entre les lignes fonctionnant en parallèle, afin de réduire les pertes totales de transport.

Par suite de leur action automatique et instantanée, les condensateurs série sont utilisés dans les lignes de distribution d'énergie, pour réduire les fluctuations rapides de la tension dues à des fluctuations de charge. En conséquence, dans la plupart des cas, la qualité de la tension du réseau est améliorée.

Par suite des fluctuations du courant de ligne, les condensateurs série sont soumis à de plus grandes variations de la tension entre bornes que les condensateurs shunt. En cas de court-circuit sur le réseau, l'élévation de la tension peut être telle qu'un condensateur conçu pour y résister serait peu économique. C'est pour cela que dans la plupart des cas les surtensions sont limitées par un dispositif de protection contre les surtensions, accordé en parallèle avec le segment ou la batterie d'une phase.

L'influence des condensateurs série sur le réseau et leurs conditions de service sont différentes pour la plupart des utilisations. Pour obtenir les meilleurs résultats techniques et économiques, il est recommandé au constructeur et à l'utilisateur d'étudier chaque cas particulier en étroite coopération.

7.2 Choix des valeurs assignées de la tension et du courant

7.2.1 Courant assigné

Le courant de charge d'un condensateur série varie habituellement dans les conditions normales de fonctionnement. De plus, pendant et après une perturbation du réseau, des oscillations et des courants de surcharge de secours apparaissent. La figure 3 illustre ce point.

If the capacitor bank consists of series-connected segments, items 3, 6, 7 and 9 shall be related to each segment.

The insulation level can be marked by means of two numbers separated by a stroke, the first number giving the rated short duration power-frequency withstand voltage (for $U_m < 300$ kV) or the rated switching impulse withstand voltage (for $U_m \geq 300$ kV) in kilovolts, and the second number giving the rated lightning impulse withstand voltage in kilovolts, e.g. 185/450 kV.

6.2.2 Warning plate

6.1.2 is also valid for the bank.

SECTION 7: GUIDE FOR SELECTION OF RATINGS, AND FOR INSTALLATION AND OPERATION

7.1 General

Since series capacitors reduce the inductive line reactance, and thereby decrease the phase angle between the voltages at the ends of the line, they are used in long transmission lines to improve voltage regulation and system stability, and so to increase transmission capacity of the line. They are also used for governing the active power distribution between lines working in parallel thereby reducing the total transmission losses.

Because of their automatic and instantaneous response, series capacitors are used in distribution lines to reduce rapid voltage fluctuations due to load variation. Consequently, the voltage conditions in the system are improved in most cases.

Because of the fluctuating line current, series capacitors are subjected to much greater variation of the voltage between terminals than shunt capacitors. When a short-circuit occurs in the system, this voltage may be so high that capacitor units designed to withstand it would be uneconomical. Therefore such overvoltages are in most cases limited by an overvoltage protector which by-passes the phase bank or segment.

The effect of series capacitors on the system and their operating conditions are different in almost every application. To attain the best technical and economic results, each particular case should be studied individually in co-operation between the manufacturer and purchaser.

7.2 Choice of rated current and voltage ratings

7.2.1 Rated current

The load current of a series capacitor varies generally in normal working conditions. Moreover, during and following a system disturbance, swing and emergency currents will appear. Figure 3 gives an example.

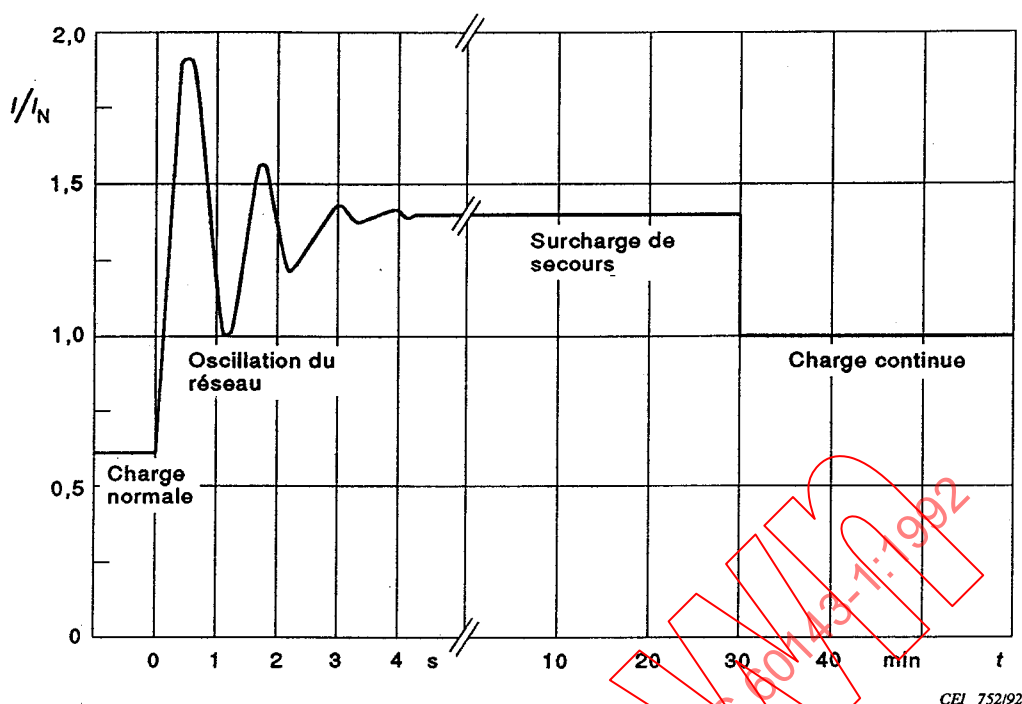


Figure 3 – Oscillation de courant typique d'un condensateur série après un défaut et perte d'une ligne en parallèle

Le courant assigné I_N de la batterie est choisi en tenant compte des résultats d'une analyse de la courbe temps-courant prévue. Il convient que le courant assigné soit choisi à partir des quatre règles suivantes (article 4.1):

- le quotient par 1,5 du courant maximal (en excluant les transitoires) maintenu à travers le condensateur pendant une durée ne dépassant pas 10 min;
- le quotient par 1,35 du courant maximal maintenu à travers le condensateur durant plus de 10 min, mais sans dépasser 30 min;
- le quotient par 1,1 du courant maximal maintenu à travers le condensateur durant plus de 30 min, mais sans dépasser 8 h;
- la puissance moyenne du condensateur ne doit pas dépasser la puissance assignée pendant une période quelconque de 24 h.

NOTE - Si une analyse de la courbe temps-courant prévu n'est pas pratique à faire en suivant la procédure spécifiée ci-dessus, il convient de choisir l'intensité assignée I_N après accord entre le constructeur et l'utilisateur.

7.2.2 Tensions assignées

Les prescriptions relatives à la qualité diélectrique de l'isolation entre les bornes sont imposées par deux tensions principales:

- la tension assignée U_N correspondant à l'exploitation normale (voir 1.3.17);
- la tension limite U_{lim} qui correspond aux surtensions transitoires dues à des conditions de défaut ou à des conditions anormales du réseau (voir 1.3.21 et article 4.2).

Il n'y a pas de relations fixes entre U_{lim} et U_N .

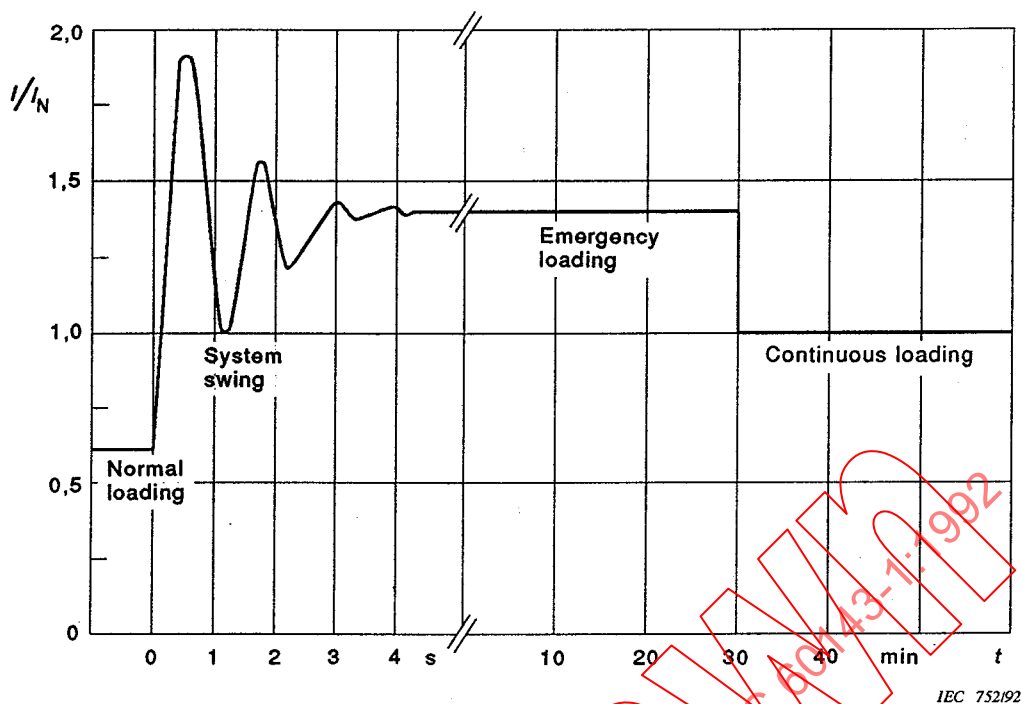


Figure 3 – Typical current swing on reinsertion of series capacitor after fault and loss of parallel line

The rated current I_N of the bank is chosen in relation to the results of an analysis of the expected current-time profile. The rated current should be selected on the basis of the following four requirements (clause 4.1):

- the highest through current (excluding transients) sustaining not more than 10 min, divided by 1,5;
- the highest through current sustaining more than 10 min but not exceeding 30 min, divided by 1,35;
- the highest through current sustaining more than 30 min but not exceeding 8 h, divided by 1,1;
- the average output of the capacitor over any period of 24 h shall not exceed the rated output.

NOTE – If any analysis of the expected current-time profile should not be practicable following the procedure laid down above, the rated current I_N should be chosen by agreement between the manufacturer and purchaser.

7.2.2 Voltage ratings

The requirements for the dielectric strength of the insulation between terminals are specified by two principal voltages:

- the rated voltage U_N which relates to normal operation (see 1.3.17);
- the limiting voltage U_{lim} which relates to transient voltages due to fault or abnormal conditions in the system (see 1.3.21 and clause 4.2).

There is no fixed relation between U_{lim} and U_N .

7.3 Capacité

7.3.1 Tolérance de la capacité

Si les réactances nettes des trois phases d'une ligne sont différentes, des tensions de phase différentes apparaissent à l'extrémité réceptrice de la ligne et le point neutre du réseau se trouve déplacé. Cela peut avoir des effets nuisibles sur les transformateurs et les autres appareils. Des courants de terre peuvent apparaître si les points neutres sont mis à la terre.

Le paragraphe 2.3.2 admet une certaine différence de capacité entre les phases. Cependant, pour les raisons mentionnées, il est recommandé de réduire ces différences autant que possible. Pour les batteries constituées d'un grand nombre d'unités, on peut facilement obtenir ce résultat en répartissant les unités de façon adéquate sur les phases.

7.3.2 Variation de la capacité en fonction de la température

Selon la conception des condensateurs, leur capacité varie plus ou moins en fonction de la température. La plus forte variation de la capacité se produit généralement immédiatement après la mise en service. L'échauffement des condensateurs et, en conséquence, les capacités, peuvent alors être en déséquilibre et provoquer un fonctionnement intempestif des relais de protection.

7.4 Température de service

Il convient d'accorder une attention particulière à la température de service la plus élevée du condensateur, parce que celle-ci a une grande influence sur sa durée de vie.

7.4.1 Installation

Il convient d'installer les condensateurs de façon à permettre une bonne évacuation par rayonnement et convection de la chaleur produite par les pertes. La ventilation des cellules et la disposition des condensateurs unitaires doivent assurer une bonne circulation de l'air autour de chaque unité. La température des condensateurs soumis au rayonnement solaire ou au rayonnement d'une surface quelconque à température élevée se trouve également augmentée.

Les condensateurs installés à haute altitude (plus de 1 000 m) présentent une dissipation thermique réduite et, en conséquence, l'échauffement de la cuve est plus important. Toutefois, à ces altitudes, la température ambiante est généralement plus basse.

7.4.2 Température haute de l'air ambiant

Les condensateurs correspondant au symbole C conviennent pour la plupart des applications dans des conditions tropicales. Cependant, dans certains endroits, la température de l'air peut être telle qu'il est nécessaire d'utiliser des condensateurs de symbole D. Cela peut également être le cas lorsque les condensateurs sont exposés régulièrement au rayonnement solaire pendant plusieurs heures, par exemple dans les zones désertiques, même si la température ambiante n'est pas excessive. Dans certains cas exceptionnels, la température de l'air ambiant peut être supérieure au maximum de +55 °C ou à la moyenne journalière +45 °C. Lorsqu'il est impossible d'améliorer les conditions de refroidissement, il convient d'utiliser des condensateurs de conception spéciale ou de densité de puissance plus faible.

7.3 Capacitance

7.3.1 Capacitance tolerance

If the net reactances in the three phases of a line are different, differing phase voltages will appear at the receiving end of the line, and the neutral point of the voltage system will be displaced. This may give rise to undesirable effects in transformers and other apparatus. If the neutral points are earthed, earth currents may circulate.

Subclause 2.3.2 allows a certain difference between the phase capacitances. However, for the reasons mentioned, it is recommended that the capacitance differences should be as small as possible. In banks consisting of many units, this can be easily attained by distributing the units suitably over the phases.

7.3.2 Capacitance variation with temperature

Depending on design of the capacitor, its capacitance will vary more or less with temperature. The largest change of capacitance usually occurs immediately after energization. The warming up of the capacitors and thus the capacitances may then be unbalanced which can cause undue operation of the relay protection.

7.4 Operating temperature

Attention should be paid to the upper operating temperature of the capacitor, because this has a great influence on its life.

7.4.1 Installation

Capacitors should be so placed that there is adequate dissipation by convection and radiation of the heat produced by the capacitor losses. The ventilation of any enclosure and the arrangement of the capacitor units shall provide good air circulation around each unit. The temperature of capacitors subjected to radiation from the sun or from any high-temperature surface will also be increased.

Capacitors installed at high altitudes (more than 1 000 m) will have a reduced heat dissipation and the container temperature rise will increase. The ambient temperature, however, is generally lower at such an altitude.

7.4.2 High ambient air temperature

Capacitors for symbol C are suitable for the majority of applications under tropical conditions. In some locations, however, the ambient air temperature may be such that capacitors for symbol D are required. The latter may also be needed for those cases where the capacitors are regularly subjected to radiation of the sun for several hours, e.g., in desert territories, even though the ambient air temperature is not excessive. In exceptional cases, the ambient air temperature may be higher than the +55 °C maximum, or the +45 °C daily mean. Where it is impossible to improve the cooling conditions, capacitors of special design or with a decreased power density should be chosen.

7.5 Conditions spéciales

En plus des conditions énoncées à l'article 7.4, il importe que le constructeur soit informé par l'utilisateur de toutes les conditions spéciales de service.

a) Humidité relative élevée:

La ligne de fuite spécifique (article 3.2) doit être choisie en conséquence. L'attention est attirée sur les possibilités de shuntage des coupe-circuit externes par des dépôts ou de l'humidité sur leurs surfaces.

b) Moisissures à développement rapide:

Les moisissures ne se développent pas sur les métaux, les matériaux céramiques, certaines laques et peintures. Si on utilise des produits fongicides, leurs caractéristiques ne durent pas plus de quelques mois. Dans tous les cas, des moisissures peuvent proliférer dans une installation, aux endroits où les poussières, etc., peuvent se déposer.

c) Atmosphère corrosive:

Ce type d'atmosphère existe dans les zones industrielles et les régions côtières. Il convient de noter que, dans les climats caractérisés par une température élevée, l'effet d'une atmosphère corrosive peut être plus sévère que dans un climat tempéré. Des atmosphères très corrosives peuvent également exister dans le cas d'utilisations à l'intérieur des bâtiments.

d) Pollution:

Lorsque les condensateurs sont placés dans un endroit caractérisé par une forte pollution, la ligne de fuite spécifique (article 3.2) doit être choisie en conséquence.

e) Altitude supérieure à 1 000 m:

Les condensateurs utilisés à des altitudes supérieures à 1 000 m sont soumis à des conditions spéciales. Le choix du type doit être fait par accord entre le constructeur et l'utilisateur (voir 7.4.1 et 7.7.2).

f) Zones sismiques:

Certaines zones sont sujettes à des probabilités élevées de secousses sismiques, qui peuvent affecter la conception mécanique des condensateurs série installés dans ces régions. L'utilisateur doit spécifier la valeur de l'accélération et le spectre de réponse.

7.6 Dispositifs de protection et de commutation

7.6.1 Coupe-circuit des condensateurs

En principe, les coupe-circuit des condensateurs sont de deux types: à fusibles internes pour chaque élément ou groupes d'éléments et à fusibles externes pour chaque unité ou groupe d'unités en parallèle.

Si la batterie est protégée contre les défauts internes par un relais, par exemple à protection différentielle, il est recommandé que ce relais fonctionne dès que la tension des unités non défectueuses dépasse de plus de 10 % la valeur qui correspond aux conditions normales de service. Les caractéristiques des coupe-circuit doivent correspondre aux caractéristiques du relais de protection, c'est-à-dire que l'action des coupe-circuit doit être plus rapide que celle du relais.

7.5 Special conditions

In addition to the conditions covered in clause 7.4, the manufacturer should be advised by the purchaser of any special service conditions.

a) High relative humidity:

The specific creepage distance (clause 3.2) shall be selected accordingly. Attention is drawn to the possibility of external fuses being shunted by a deposit or moisture on their surfaces.

b) Rapid mould growth:

Metals, ceramic materials and some paints and lacquers do not support mould growth. When fungicidal materials are used, they do not retain their poisoning property for more than several months. In any case, mould may develop in an installation on places where dust, etc., can settle.

c) Corrosive atmosphere:

Such atmosphere is found in industrial and coastal areas. It should be noted that in climates of higher temperature, the effects of corrosive atmospheres may be more severe than in temperate climates. Highly corrosive atmospheres may be present also for indoor applications.

d) Pollution:

When capacitors are mounted in a location with a high degree of pollution, the specific creepage distance (clause 3.2) shall be selected accordingly.

e) Altitude exceeding 1 000 m:

Capacitors used at an altitude exceeding 1 000 m are subjected to special conditions. The choice of the type should be made by agreement between the manufacturer and purchaser (see 7.4.1 and 7.7.2).

f) Earthquakes:

In some areas there is a higher probability of earthquakes, which may effect the mechanical design of series capacitors to be installed in such areas. The purchaser shall specify the acceleration value and response spectrum.

7.6 Protective and switching devices

7.6.1 Capacitor fuses

The capacitor fuses are in principle of two kinds: internal fuses for each element or group of elements, and external fuses for each unit or parallel group of units.

If relay protection is arranged for internal faults in the bank, e.g. unbalance protection, it is recommended that this be set to trip when the voltage of the sound units exceeds more than 10 % of the value appearing under sound state. The fuse characteristics shall be properly co-ordinated with the relay protection, i.e. the fuses shall operate before the relay.

7.6.1.1 Coupe-circuit interne d'un élément

Le coupe-circuit interne est destiné à mettre hors circuit tout élément perforé et, ainsi, à assurer le fonctionnement normal de l'unité défectueuse et de la batterie lorsqu'un tel défaut minime se produit. Si plusieurs coupe-circuit d'une unité se déclenchent, il peut être nécessaire de déconnecter la batterie. Une unité défectueuse peut être détectée en procédant à des mesures de capacité dans une partie limitée de la batterie, sans déposer le câblage.

Les prescriptions détaillées applicables aux fusibles internes figurent dans la CEI 595.

7.6.1.2 Coupe-circuit externe d'une unité

Le coupe-circuit externe est destiné à mettre hors circuit toute unité qui se trouve partiellement ou totalement en court-circuit. Le coupe-circuit externe s'enclenche seulement lorsque le nombre de perforations des éléments du condensateur unitaire en défaut est supérieur à un niveau donné. Le coupe-circuit externe est très fréquemment équipé d'un appareil de signalisation qui permet de localiser l'unité défectueuse. Le claquage de certains coupe-circuit externes (dans certains cas, d'un seul coupe-circuit) nécessite le débranchement de la batterie, en particulier lorsqu'elle se compose seulement d'un petit nombre d'unités directement raccordées en parallèle.

Les prescriptions détaillées applicables aux coupe-circuit externes sont données à l'annexe A.

7.6.2 Dispositif de protection contre les surtensions

Quatre types de dispositifs de protection contre les surtensions permettent de limiter rapidement les surtensions aux bornes des condensateurs série:

- type K - éclateur à arc entretenu;
- type L - éclateur à arc intermittent (éclateur à auto-extinction); le fonctionnement intermittent de l'éclateur commence habituellement à une tension inférieure à $\sqrt{2} U_{lim}$ (valeurs typiques: 0,3 à 0,6 fois $\sqrt{2} U_{lim}$ mais au-dessus de $\sqrt{2} U_N$);
- type M - résistance non linéaire;
- type N - dispositif de mise en court-circuit à thyristor.

NOTES

1 Si la tension de déclenchement d'un dispositif de protection contre les surtensions dépend de la densité de l'air, il est sous-entendu que U_{lim} correspond aux conditions pour lesquelles la tension de déclenchement est la plus élevée, c'est-à-dire à la pression de l'air la plus élevée et à la température la plus basse. De plus, la tolérance de la tension de déclenchement doit être prise en compte pour déterminer U_{lim} .

2 Il est également possible de ne pas utiliser un dispositif de protection contre les surtensions. Cela peut se produire lorsque le courant de défaut est faible et/ou lorsqu'il est techniquement plus avantageux de surdimensionner le condensateur au lieu d'installer un dispositif de protection contre les surtensions, par exemple pour les très petites batteries de condensateur. Dans ces cas, les détails doivent être convenus et être basés sur les conditions de l'article 4.2.

3 Pour assurer une remise en service rapide de la batterie, il est possible d'utiliser une combinaison constituée de deux éclateurs de type K.

7.6.1.1 Internal element fuses

The purpose of the internal fuse is to isolate a punctured element and thus ensure undisturbed service of the faulty unit and the bank in the case of such a minor fault. Operation of more fuses in a unit may necessitate disconnection of the bank. A faulty unit can be found by capacitance measurements within a limited part of the phase bank without removing the wiring.

The detailed requirements for the internal fuses are found in IEC 595.

7.6.1.2 External unit fuses

The purpose of the external fuse is to isolate a unit if this has become partly or completely short-circuited. The external fuse will operate only when the number of punctures in elements in the failing capacitor unit has exceeded a given level. The external fuse is most often equipped with a signalling device by means of which the faulty unit can be found. Operation of some few external fuses (in certain cases only of one fuse) necessitates disconnection of the bank especially if there is only a small number of units directly in parallel.

The detailed requirements for the external fuses are found in annex A.

7.6.2 Overvoltage protector

Four types of overvoltage protector are used for rapid limiting of the overvoltages across the series capacitor terminals:

- type K - spark gap with sustained arc;
- type L - spark gap with repetitive arc (self-extinguishing gap); the repetitive functioning of the gap usually starts at a voltage below $\sqrt{2} U_{lim}$ (typical values 0,3 to 0,6 times $\sqrt{2} U_{lim}$ but above $\sqrt{2} U_N$);
- type M - non-linear resistor;
- type N - thyristor-type short-circuiting device.

NOTES

1 If the sparkover voltage of an overvoltage protector is dependent on air density, U_{lim} is understood to correspond to the conditions resulting in the highest sparkover voltage, i.e., to the highest air pressure and the lowest temperature. Also, the tolerance on sparkover voltage should be taken into account when determining U_{lim} .

2 The possibility of using no overvoltage protector also exists. This may be the case when the fault current is low and/or it is technically more advantageous to overdimension the capacitor instead of installing an overvoltage protector, e.g. in the case of very small capacitor banks. The details in such a case should be agreed upon and be based on the conditions according to clause 4.2.

3 In order to ensure a rapid reinsertion of the bank, a combination of two type K spark gaps may be used.

7.6.2.1 Dispositif de protection contre les surtensions du type K

Lorsque l'éclateur amorce par suite d'un courant de ligne excessif provoqué par un défaut sur le réseau, un arc persiste soit jusqu'au déclenchement de la ligne soit jusqu'à fermeture d'un interrupteur court-circuitant le condensateur.

Tant que l'arc est maintenu, le condensateur subit une crête de tension dont la valeur ne doit pas dépasser $\sqrt{2} U_{lim}$. Le condensateur est soumis à un transitoire de décharge une fois seulement à chaque déclenchement de l'éclateur.

Il convient que la valeur de crête du courant de décharge soit limitée à 100 fois la valeur du courant assigné (efficace) du condensateur. Voir toutefois le 7.6.3.

7.6.2.2 Dispositif de protection contre les surtensions du type L

Lorsque l'éclateur amorce par suite d'un courant de ligne excessif provoqué par un défaut sur le réseau, l'arc est éteint lorsque le courant d'arc passe par zéro permettant ainsi des déclenchements successifs de l'éclateur pendant le défaut. Les moyens utilisés pour que l'éclateur fonctionne de cette façon peuvent être pneumatiques et/ou magnétiques. En ce qui concerne l'extinction finale de l'arc, il n'est pas nécessaire de déclencher la ligne ni de fermer un interrupteur court-circuitant le condensateur. Pour cette raison, le niveau contre les surtensions d'amorçage de cet éclateur peut être plus faible que celui du dispositif de protection du type K.

Pendant le fonctionnement de l'éclateur, le condensateur est exposé à la fois à des surtensions élevées, en particulier lorsque plusieurs déclenchements successifs interviennent à une tension élevée, et à des décharges répétées.

La valeur de crête du courant de décharge est limitée à 50 fois la valeur de courant assignée (efficace) du condensateur. Voir toutefois le 7.6.3.

7.6.2.3 Dispositif de protection contre les surtensions du type M

La résistance non linéaire est reliée en permanence aux bornes du condensateur. Lorsque la batterie fonctionne à son courant de charge normal, un courant déterminé mais très faible traverse la résistance non linéaire.

En présence d'un défaut externe à la ligne concernée, le condensateur série est réinséré automatiquement lorsque le défaut disparaît. Même pendant ce défaut, le condensateur série exerce une certaine influence compensatrice. C'est pour cela que, dans beaucoup de cas, la valeur U_{lim} choisie avec le type M peut être plus basse que celle des dispositifs de protection contre les surtensions des types K et L. Par ailleurs, si un court-circuit affecte la ligne compensée elle-même, les disjoncteurs qui sont aux extrémités de la ligne sont ouverts et la réinsertion automatique est inutile.

La résistance non linéaire doit être conçue pour supporter les contraintes thermiques qui se produisent pendant les conditions de surcharge indiquées à l'article 4.1, pendant les oscillations dans le réseau, conformément au 7.2.1, et celles du courant de défaut maximal de la ligne pour une tension de $\sqrt{2} U_{lim}$.

7.6.2.1 *Type K overvoltage protector*

When the gap sparks over due to an excessive line current caused by a fault in the system, an arc is sustained until de-energizing the line or closing a by-pass switch.

During arcing of the gap, the capacitor is exposed to one voltage peak whose value shall not exceed $\sqrt{2} U_{\text{lim}}$. The capacitor is subjected to a discharge transient once only at every operation of the gap.

The peak value of the discharge current should be limited to 100 times the rated (r.m.s.) current of the capacitor. See, however, 7.6.3.

7.6.2.2 *Type L overvoltage protector*

When the gap sparks over due to an excessive line current caused by a fault in the system, the arc is extinguished at current zero, thus permitting repeated sparkover of the gap during the fault. The means for obtaining this spark-gap operation sequence may be pneumatic and/or magnetic. For final extinguishing of the arc, it is not necessary to de-energize the line nor to close a by-pass switch. For this reason, a lower gap setting may be chosen than with the type K overvoltage protector.

During gap operation, the capacitor is exposed to both high overvoltages, especially when the repetitive sparkovers take place at a high voltage, and to repeated discharges.

The peak value of the discharge current should be limited to 50 times the rated (r.m.s.) current of the capacitor. See, however, 7.6.3.

7.6.2.3 *Type M overvoltage protector*

The non-linear resistor is permanently connected across the capacitor terminals. When the bank is operated at normal load current a given but very low current passes through the non-linear resistor.

In the case of a fault external to the line concerned, the series capacitor becomes automatically reinserted when the fault disappears. Even during such a fault the series capacitor exerts a certain compensating effect. For this reason, in many cases the U_{lim} chosen with type M can be lower than with types K and L overvoltage protectors. On the other hand, in the event of a short circuit at the compensated line itself, the breakers at the ends of the line will be opened, and such an automatic reinsertion is of no use.

The non-linear resistor shall be designed to withstand the thermal stresses occurring during the overload conditions according to clause 4.1, during the system swing according to 7.2.1 and those of the maximum line fault current at a voltage of $\sqrt{2} U_{\text{lim}}$.

Si le défaut externe dure longtemps, par exemple à cause d'un mauvais fonctionnement de la protection de ligne, la résistance non linéaire peut être surchargée thermiquement. De plus, des courts-circuits intervenant sur la ligne compensée peuvent provoquer des courants tellement élevés qu'il n'est pas économique de dimensionner en conséquence la résistance non linéaire. Dans ces cas, pour protéger la résistance non linéaire, elle peut être mise hors circuit par un commutateur ou par un éclateur déclenché.

Il convient que la valeur de crête du courant de décharge soit limitée à 100 fois la valeur du courant assigné (efficace) du condensateur. Voir toutefois 7.6.3.

7.6.2.4 Dispositif de protection contre les surtensions du type N

Le dispositif de protection contre les surtensions du type N est un appareil à thyristor. Il y a deux modes de fonctionnement:

- Le type N1 pour lequel le dispositif à thyristor reste court-circuité après le premier amorçage et pendant toute la durée du défaut. La valeur de U_{lim} et le courant de décharge peuvent être choisis comme pour le dispositif de protection du type K.
- Le type N2 pour lequel le dispositif à thyristor se rétablit après chaque demi-cycle de surtension et se réamorce au moment de la surtension suivante. La valeur de U_{lim} et le courant de décharge peuvent être choisis comme pour le dispositif de protection du type L.

7.6.3 Circuits d'amortissement pour le courant de décharge

Le taux d'amortissement du courant de décharge doit être tel que le courant décroisse en quelques millisecondes, afin de ne pas appliquer de contraintes excessives aux coupe-circuit. Le rapport entre l'amplitude du deuxième courant de décharge et celle du premier courant de décharge de même polarité est habituellement choisi entre 0,4 et 0,5; toutefois, des valeurs jusqu'à 0,7 peuvent être utilisées. Les valeurs du courant maximal indiquées en 7.6.2 s'appliquent. Le taux d'amortissement sélectionné doit être convenu entre le constructeur et l'acheteur.

Pour tous les types de dispositifs de protection contre les surtensions, d'autres facteurs (par exemple le courant de décharge que peut supporter le commutateur de découplage) peuvent entraîner une limitation de l'amplitude du courant de décharge à un niveau plus bas que les valeurs indiquées en 7.6.2. Dans ce cas, un courant plus faible peut être utilisé pour l'essai de courant de décharge (article 2.13). Par ailleurs, si tous les composants du circuit de décharge le permettent, des courants de décharge plus élevés peuvent être admis et le courant appliqué pendant l'essai de courant de décharge peut être augmenté de façon correspondante. Ces cas particuliers peuvent faire l'objet d'un accord entre le constructeur et l'acheteur.

7.6.4 Autres appareils

Pour les grosses batteries de condensateurs série, un commutateur de découplage (disjoncteur ou commutateur de charge) est utilisé pour court-circuiter le condensateur lors d'un fonctionnement prolongé du dispositif de protection contre les surtensions ou si la surtension prolongée n'est pas suffisante pour provoquer l'amorçage de l'éclateur. Ces surtensions peuvent être produites par des surcharges ou par des oscillations hyposynchrones dans le réseau (article 7.8). Il convient que le courant de décharge qui traverse le commutateur, lorsqu'il est fermé pour $\sqrt{2} U_{lim}$, soit limité comme il est recommandé en 7.6.2 pour le dispositif de protection approuvé contre les surtensions.

In the event of prolonged duration of an external fault, e.g., due to malfunction of the line protection, the non-linear resistor may become thermally overloaded. Also short-circuits at the compensated line may imply such high currents that it is not economical to dimension the non-linear resistor accordingly. In order to protect the non-linear resistor in such cases, it may be by-passed by a switch or triggered spark-gap.

The peak value of the discharge current should be limited to 100 times the rated (r.m.s.) current of the capacitor. See, however, 7.6.3.

7.6.2.4 Type N overvoltage protector

Type N overvoltage protector is a thyristor device. There exist two modes of operation:

- Type N1 where the thyristor device remains short-circuited after the first ignition and throughout the total fault time. The U_{lim} value and the discharge current can be chosen as in the case of type K protector.
- Type N2 where the thyristor device restores after each overvoltage half-cycle and reignites at the next over-voltage. The U_{lim} value and the discharge current can be chosen as in the case of type L protector.

7.6.3 Damping circuits for discharge current

The damping rate of the discharge current shall be such that the current decays in a few milliseconds, in order not to overstress the fuses. The ratio between the second and the first discharge current amplitudes of the same polarity is usually chosen in the range of 0,4 to 0,5 but values up to 0,7 may be used. The maximum current values according to 7.6.2 apply. The selected damping rate shall be agreed upon between the manufacturer and the purchaser.

For all types of overvoltage protectors, other factors (such as the discharge current capability of the by-pass switch) may call for limiting the discharge current amplitude to a lower level than the values indicated in 7.6.2. In such a case, a lower current may be applied in the discharge current test (clause 2.13). On the other hand, if all components in the discharge path permit, higher discharge currents may be permissible, and the current applied during the discharge current test could be raised correspondingly. These special cases shall be agreed upon between the manufacturer and purchaser.

7.6.4 Other devices

For large series capacitor banks, a by-pass switch (a circuit-breaker or a load switch) is used to short-circuit the capacitor in the event of prolonged operation of the overvoltage protector or in the event of prolonged overvoltage not sufficient to cause the gap to operate. Such overvoltages may be produced by overloads or by sub-synchronous oscillations in the system (clause 7.8). The discharge current through the switch, when closed at $\sqrt{2} U_{lim}$, should be limited to the extent recommended for the relevant over-voltage protector in 7.6.2.

Le commutateur de découplage doit supporter les contraintes qui se produisent lors de la commutation du condensateur; il faut veiller au risque de réamorçage.

Pour les opérations d'inspection et de maintenance des grosses batteries, des sectionneurs doivent être prévus pour débrancher la batterie sans interrompre le fonctionnement de la ligne.

Pour éviter des élévations de tension prolongées sur certaines parties de la batterie, à cause d'un défaut sur des unités ou d'amorçages, une protection différentielle peut être utilisée pour chaque batterie d'une phase ou segment. Puisque certains types de défaut de la plate-forme isolée par rapport à la terre ne peuvent pas être détectés ni par la protection différentielle ni par les relais qui sont aux extrémités de la ligne, une protection supplémentaire de défaut de plate-forme peut être utilisée.

7.6.5 Schémas de connexion

Quelques exemples de schémas de connexion sont présentés à l'annexe B.

7.7 Choix du niveau d'isolement

7.7.1 Cas normaux

Le niveau d'isolement d'une batterie de condensateurs série doit être choisi en fonction du niveau d'isolement du réseau auquel la batterie est reliée, conformément à l'article 3.1. Il faut bien distinguer le niveau d'isolement du segment ou de la batterie d'une phase et celui des unités. Il convient d'envisager les possibilités suivantes:

- Le niveau d'isolement des unités, basé sur la tension maximale qui peut apparaître entre les bornes et la cuve d'une unité quelconque de la batterie d'une phase, n'est pas inférieur à celui de cette batterie. Il est donc inutile de se servir d'une isolation supplémentaire (externe aux unités).
- Le niveau d'isolement des unités est inférieur à celui de la batterie d'une phase. Une isolation supplémentaire (externe aux unités) est nécessaire par rapport à la terre pour les supports métalliques isolés de la terre et, s'il y en a, entre les unités raccordées en série. Si la répartition de la tension entre les unités n'est pas connue, il convient que toute l'isolation externe corresponde au niveau d'isolement de la batterie d'une phase. En revanche, si la répartition de la tension est connue, il est recommandé de choisir les tensions d'essai conformément à l'article 3.1.

En service normal, il n'y a qu'une tension très faible entre les bornes et les structures métalliques voisines de certaines pièces du circuit d'amortissement. Lors du fonctionnement du dispositif de protection contre les surtensions, ces pièces peuvent être soumises à de fortes surtensions transitoires qui doivent être prises en compte pour déterminer leur niveau d'isolement. Voir la note du 3.1.4.

7.7.2 Altitude supérieure à 1 000 m

Les niveaux d'isolement choisis conformément à l'article 3.1 peuvent être trop faibles pour assurer l'isolation externe à une altitude supérieure à 1 000 m (voir 1.4.1). Dans un tel cas, l'utilisateur doit spécifier le niveau d'isolement requis par rapport aux conditions d'essai normales. Les prescriptions de l'article 3.1 s'appliquent toujours, mais pour le nouveau niveau d'isolement spécifié.

The by-pass switch must withstand the stresses occurring when switching the capacitor, and due regard shall be paid to the risk of restrikes.

For inspection and maintenance of large banks, disconnectors should be provided to disconnect the bank without interrupting operation of the line.

To avoid sustained voltage increase on parts of the bank due to failure of units, or flash-overs, unbalance protection for each phase bank or segment may be used. Since some types of fault to the platform insulated from earth cannot be detected either by the unbalance protection, or by the relays at the line ends, in addition a fault-to-platform protection may be used.

7.6.5 Connection diagrams

Some examples of connection diagrams are shown in annex B.

7.7 Choice of insulation level

7.7.1 Normal cases

The insulation level of a series capacitor bank shall be chosen in accordance with that of the system to which the bank will be connected according to clause 3.1. A clear distinction should be drawn between the insulation level of the phase bank or segment and that of the units. The following possibilities should be considered:

- The insulation level of the units, based on the highest voltage that can occur between the terminals and container of any unit in the phase bank, is not less than that of the phase bank. Extra insulation (external to the units) need not then be employed.
- The insulation level of the units is less than that of the phase bank. Extra insulation (external to the units) is necessary with respect to earth for the metal supporting structures not at earth potential, and between series-connected units, if any. Unless the voltage distribution between the units is known, all external insulation should correspond to the insulation level of the phase bank. If, however, the voltage distribution is known, test voltages should be chosen in accordance with clause 3.1.

Some parts of the damping circuit will in normal operation have a very low voltage across its terminals and to surrounding metalwork. When the overvoltage protector operates, these parts may be subjected to high voltage surges, which shall be considered when determining their insulation level. See the note to 3.1.4.

7.7.2 Altitude exceeding 1 000 m

Insulation levels chosen according to clause 3.1 might be too low for external insulation at an altitude higher than 1 000 m (see 1.4.1). The purchaser should in such a case specify which insulation level is required when referred to normal test conditions. The requirements of clause 3.1 are still valid, but for the new specified insulation level.

Pour les unités à une borne, il convient que le constructeur apporte la preuve que l'isolation externe de la traversée supporte les tensions d'essai qui correspondent à l'altitude du site.

7.8 Phénomènes perturbateurs

7.8.1 Généralités

La fréquence propre d'un réseau contenant d'importantes installations de condensateurs série est généralement inférieure à la fréquence assignée. Il peut donc se produire, dans certaines conditions, des phénomènes de résonance à des fréquences inférieures à la fréquence assignée. La probabilité d'apparition de tels phénomènes dépendant de nombreux facteurs, il est recommandé que chaque cas soit étudié séparément.

7.8.2 Ferro-résonance

Par suite des effets de saturation du fer, l'appel de courant peut engendrer des oscillations résonnantes entretenues de fréquence sous-harmonique. Ce phénomène peut se produire lorsqu'un transformateur à vide ou une réactance shunt est enclenché en période de faible charge sur un réseau à compensation série, en particulier à la suite d'un rejet de charge.

7.8.3 Auto-excitation des moteurs

Pendant le démarrage d'un moteur asynchrone, son inductance augmente et la fréquence du courant dans le rotor diminue. A une certaine vitesse, cette fréquence devient égale à la fréquence propre du réseau. Un courant résonnant peut apparaître et exciter le moteur qui se comporte comme un alternateur asynchrone lorsque sa vitesse qui correspond à la résonance est légèrement dépassée.

7.8.4 Résonance hyposynchrone

La résonance hyposynchrone est un phénomène d'oscillation d'un arbre électromécanique à une fréquence hyposynchrone qui peut apparaître entre un condensateur série et un ou plusieurs gros turbo-alternateurs.

7.8.5 Instabilité

Une instabilité signifie une variation périodique de la vitesse du rotor par rapport à la vitesse synchrone. Une instabilité peut apparaître entre alternateurs ou entre un alternateur et des machines synchrones, lors de brusques modifications de la charge.

7.8.6 Variation périodique de la charge

Si la charge varie périodiquement, les condensateurs série peuvent amplifier les fluctuations de la tension. Cette situation apparaît, par exemple, lorsqu'un moteur puissant entraîne une scie à mouvement rectiligne qui présente une variation périodique du couple.

7.8.7 Protection du réseau au moyen de relais

Il y a lieu de prêter attention au fait qu'un condensateur série peut perturber le fonctionnement des relais utilisés pour protéger le réseau, en particulier, ceux destinés à la protection par mesure d'impédance.