

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60871-1

Première édition
First edition
1987

**Condensateurs shunt destinés à être installés
sur des réseaux à courant alternatif
de tension assignée supérieure à 660 V –**

**Première partie:
Généralités
Caractéristiques fonctionnelles, essais
et valeurs assignées – Règles de sécurité –
Guide d'installation et d'exploitation**

**Shunt capacitors for a.c. power systems
having a rated voltage above 660 V –**

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



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60871-1: 1987

Numéros des publications

Les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000 dès le 1er janvier 1997.

Publications consolidées

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

- **Bulletin de la CEI**
- **Annuaire de la CEI**
Accès en ligne*
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement (Accès en ligne)*

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*.

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

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

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

Numbering

As from the 1st 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 revision work, the issue of revised editions and amendments may be obtained from IEC National Committees and from the following IEC sources:

- **IEC Bulletin**
- **IEC Yearbook**
On-line access*
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates (On-line access)*

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*.

IEC publications prepared by the same technical committee

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

* See web site address on title page.

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60871-1

Première édition
First edition
1987

**Condensateurs shunt destinés à être installés
sur des réseaux à courant alternatif
de tension assignée supérieure à 660 V –**

**Première partie:
Généralités
Caractéristiques fonctionnelles, essais
et valeurs assignées – Règles de sécurité –
Guide d'installation et d'exploitation**

**Shunt capacitors for a.c. power systems
having a rated voltage above 660 V –**

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

© IEC 1987 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

W

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

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	6
PRÉFACE	6
SECTION UN — GÉNÉRALITÉS	
Articles	
1. Domaine d'application	8
2. Objet	8
3. Définitions	10
4. Conditions de service	12
SECTION DEUX — RÈGLES DE QUALITÉ ET ESSAIS	
5. Prescriptions relatives aux essais	16
6. Classification des essais	16
7. Mesure de la capacité (essai individuel)	18
8. Mesure de la tangente de pertes ($\text{tg } \delta$) du condensateur (essai individuel)	20
9. Essai de tenue en tension (essai individuel)	20
10. Essai diélectrique en courant alternatif entre bornes et cuve (essai individuel)	22
11. Essai du dispositif interne de décharge (essai individuel)	22
12. Essai de l'étanchéité (essai individuel)	22
13. Essai de stabilité thermique (essai de type)	22
14. Mesure de la tangente de pertes ($\text{tg } \delta$) du condensateur à température élevée (essai de type)	24
15. Essai diélectrique en courant alternatif entre bornes et cuve (essai de type)	26
16. Essai au choc de foudre entre bornes et cuve (essai de type)	26
17. Essai de décharge en court-circuit (essai de type)	28
SECTION TROIS — NIVEAUX D'ISOLEMENT	
18. Niveau d'isolement	28
SECTION QUATRE — SURCHARGES	
19. Tension maximale admissible	38
20. Courant maximal admissible	40
SECTION CINQ — RÈGLES DE SÉCURITÉ	
21. Dispositifs de décharge	40
22. Connexions de masse	40
23. Protection de l'environnement	42
24. Autres règles de sécurité	42
SECTION SIX — MARQUAGE	
25. Marquage des condensateurs unitaires	42
26. Marquage des batteries de condensateurs	44
SECTION SEPT — GUIDE D'INSTALLATION ET D'EXPLOITATION	
27. Généralités	46
28. Choix de la tension assignée	46
29. Température de service	48
30. Conditions spéciales	50

CONTENTS

	Page
FOREWORD	7
PREFACE	7
SECTION ONE — GENERAL	
Clause	
1. Scope	9
2. Object	9
3. Definitions	11
4. Service conditions	13
SECTION TWO — QUALITY REQUIREMENTS AND TESTS	
5. Test requirements	17
6. Classification of tests	17
7. Capacitance measurement (routine test)	19
8. Capacitor loss tangent ($\tan \delta$) measurement (routine test)	21
9. Voltage test between terminals (routine test)	21
10. A.C. voltage test between terminals and container (routine test)	23
11. Test of internal discharge device (routine test)	23
12. Sealing test (routine test)	23
13. Thermal stability test (type test)	23
14. Capacitor loss tangent ($\tan \delta$) measurement at elevated temperature (type test)	25
15. A.C. voltage test between terminals and container (type test)	27
16. Lightning impulse test between terminals and container (type test)	27
17. Short-circuit discharge test (type test)	29
SECTION THREE — INSULATION LEVELS	
18. Insulation levels	29
SECTION FOUR — OVERLOADS	
19. Maximum permissible voltage	39
20. Maximum permissible current	41
SECTION FIVE — SAFETY REQUIREMENTS	
21. Discharge devices	41
22. Container connections	41
23. Protection of the environment	43
24. Other safety requirements	43
SECTION SIX — MARKINGS	
25. Markings of the unit	43
26. Markings of the bank	45
SECTION SEVEN — GUIDE FOR INSTALLATION AND OPERATION	
27. General	47
28. Choice of the rated voltage	47
29. Operating temperature	49
30. Special conditions	51

	Pages
31. Surtensions	50
32. Courants de surcharge	54
33. Disjoncteurs et dispositifs de protection	56
34. Choix des niveaux d'isolement	58
35. Choix des lignes de fuite	60
36. Condensateurs connectés à des réseaux équipés de commandes à distance par fréquences acoustiques	60
ANNEXE A — Formules pour l'installation des condensateurs	62
ANNEXE B — Précautions à prendre pour éviter la pollution de l'environnement par les diphényles polychlorés	66
ANNEXE C — Règles supplémentaires pour les condensateurs de puissance utilisés pour le filtrage	68
ANNEXE D — Règles d'essai et guide d'application pour coupe-circuit externes et unités à protéger par coupe-circuit externe	72

Withdrawing
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60671-1:1987

	Page
31. Overvoltages	51
32. Overload currents	55
33. Switching and protective devices	57
34. Choice of insulation levels	59
35. Choice of creepage distances	61
36. Capacitors connected to systems with audio-frequency remote control	61
 APPENDIX A — Formulae for capacitors and installations	 63
APPENDIX B — Precautions to be taken to avoid pollution of the environment by polychlorinated biphenyls	67
APPENDIX C — Additional requirements for power filter capacitors	69
APPENDIX D — Test requirements and application guide for external fuses and units to be externally fused	73

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

CONDENSATEURS SHUNT DESTINÉS À ÊTRE INSTALLÉS SUR DES RÉSEAUX À COURANT ALTERNATIF DE TENSION ASSIGNÉE SUPÉRIEURE À 660 V

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

PRÉAMBULE

- 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.
- 4) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand il est déclaré qu'un matériel est conforme à l'une de ses recommandations.

PRÉFACE

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

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

Règle des Six Mois	Rapport de vote
33(BC)70	33(BC)79

Pour de plus amples renseignements, consulter le rapport de vote mentionné dans le tableau ci-dessus.

Les publications suivantes de la CEI sont citées dans la présente norme:

- Publications n° 50 (436): Vocabulaire Electrotechnique International, Chapitre 436: Condensateurs de puissance (en préparation).
- 60: Technique des essais à haute tension.
- 71: Coordination de l'isolement.
- 71-1 (1976): Première partie: Termes, définitions, principes et règles.
- 71-2 (1976): Deuxième partie: Guide d'application.
- 99: Parafoudres.
- 110 (1973): Recommandation concernant les condensateurs pour les installations de génération de chaleur par induction soumis à des fréquences comprises entre 40 et 24 000 Hz.
- 143 (1972): Condensateurs-série destinés à être installés sur des réseaux.
- 252 (1975): Condensateurs des moteurs à courant alternatif.
- 358 (1971): Condensateurs de couplage et diviseurs capacitifs.
- 549 (1976): Coupe-circuit à fusibles haute tension destinés à la protection externe des condensateurs de puissance en dérivation.
- 566 (1982): Condensateurs destinés à être utilisés dans les circuits de lampes tubulaires à fluorescence et autres lampes à décharge.
- 593 (1977): Coupe-circuit internes et déconnecteurs internes à surpression pour condensateurs shunt.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

SHUNT CAPACITORS FOR A.C. POWER SYSTEMS HAVING A RATED VOLTAGE ABOVE 660 V

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

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.
- 4) The IEC has not laid down any procedure concerning marking as an indication of approval and has no responsibility when an item of equipment is declared to comply with one of its recommendations.

PREFACE

This standard has been prepared by IEC Technical Committee No. 33: Power Capacitors.

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

Six Months' Rule	Report on Voting
33(CO)70	33(CO)79

Further information can be found in the Report on Voting indicated in the table above.

The following IEC publications are quoted in this standard:

- Publications Nos. 50 (436): International Electrotechnical Vocabulary, Chapter 436: Power Capacitors (in preparation).
- 60: High Voltages Test Techniques.
- 71: Insulation Co-ordination.
- 71-1 (1976): Part 1: Terms, Definitions, Principles and Rules.
- 71-2 (1976): Part 2: Application Guide.
- 99: Lightning Arresters.
- 110 (1973): Recommendation for Capacitors for Inductive Heat Generating Plants Operating at Frequencies between 40 and 24 000 Hz.
- 143 (1972): Series Capacitors for Power Systems.
- 252 (1975): A.C. Motor Capacitors.
- 358 (1971): Coupling Capacitors and Capacitor Dividers.
- 549 (1976): High-voltage Fuses for the External Protection of Shunt Power Capacitors.
- 566 (1982): Capacitors for Use in Tubular Fluorescent and other Discharge Lamp Circuits.
- 593 (1977): Internal Fuses and Internal Overpressure Disconnectors for Shunt Capacitors.

CONDENSATEURS SHUNT DESTINÉS À ÊTRE INSTALLÉS SUR DES RÉSEAUX À COURANT ALTERNATIF DE TENSION ASSIGNÉE SUPÉRIEURE À 660 V

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

SECTION UN – GÉNÉRALITÉS

1. Domaine d'application

La présente norme est applicable aux condensateurs unitaires et aux batteries de condensateurs destinés en particulier à être utilisés pour corriger le facteur de puissance des réseaux à courant alternatif dont la tension assignée est supérieure à 660 V et la fréquence comprise entre 15 Hz et 60 Hz.

Cette norme est également applicable aux condensateurs destinés à être utilisés pour le filtrage dans les circuits de puissance.

Notes 1. — L'annexe C donne les définitions, prescriptions et essais supplémentaires qui concernent les condensateurs de filtrage.

2. — La Publication 593 de la CEI donne les prescriptions supplémentaires qui sont applicables aux condensateurs protégés par des coupe-circuit internes ainsi que les prescriptions qui sont applicables à ces coupe-circuit.

3. — L'annexe D donne les prescriptions supplémentaires qui sont applicables aux condensateurs protégés par des coupe-circuit externes ainsi que les prescriptions qui sont applicables à ces coupe-circuit.

4. — La présente norme n'est pas applicable aux condensateurs à haute tension composés de condensateurs à basse tension avec diélectrique métallisé du type autorégénérateur. La future Publication XXX de la CEI donnera les définitions, prescriptions et essais supplémentaires qui sont applicables aux condensateurs autorégénérateurs.

5. — La présente norme n'est pas applicable aux types de condensateurs ci-après:

- Condensateurs shunt destinés à être installés sur des réseaux à courant alternatif de tension assignée inférieure ou égale à 660 V (Publication XXX de la CEI, en préparation).
- Condensateurs pour installations de génération de chaleur par induction fonctionnant entre 40 Hz et 24 000 Hz (Publication 110 de la CEI).
- Condensateurs-série (Publication 143 de la CEI).
- Condensateurs pour applications sur moteurs et condensateurs analogues (Publications 252 de la CEI).
- Condensateurs de couplage et diviseurs capacitifs (Publication 358 de la CEI).
- Condensateurs utilisés sur les circuits électroniques de puissance (Publication YYY de la CEI (à l'étude)).
- Petits condensateurs pour courant alternatif utilisés avec les lampes fluorescentes et à décharge (Publication 566 de la CEI).
- Condensateurs d'antiparasitage radioélectrique (Publication ZZZ de la CEI (à l'étude)).
- Condensateurs prévus pour être utilisés sur divers types d'appareils électriques et considérés de ce fait comme éléments composants.
- Condensateurs utilisés sur du courant continu en présence de courant alternatif superposé.

6. — Les accessoires tels que les isolateurs, les commutateurs, les transformateurs de mesure, les coupe-circuit externes, etc., doivent satisfaire aux prescriptions des normes correspondantes de la CEI.

2. Objet

La présente norme a pour objet:

- a) de formuler des règles uniformes concernant les caractéristiques fonctionnelles, les valeurs assignées et les essais;
- b) de formuler des règles spécifiques de sécurité;
- c) de servir de guide d'installation et d'exploitation.

SHUNT CAPACITORS FOR A.C. POWER SYSTEMS HAVING A RATED VOLTAGE ABOVE 660 V

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

SECTION ONE – GENERAL

1. Scope

This standard is applicable to capacitor units and capacitor banks intended to be used in particular for power-factor correction of a.c. power systems having a rated voltage above 660 V and a frequency of 15 Hz to 60 Hz.

It is also applicable to capacitors intended for use in power filter circuits.

Notes 1. — Additional definitions, requirements and test for filter capacitors are given in Appendix C.

2. — Additional requirements for capacitors to be protected by internal fuses, as well as requirements for the internal fuses, are given in IEC Publication 593.
3. — Requirements for capacitors to be protected by external fuses, as well as requirements for the external fuses, are given in Appendix D.
4. — This standard is not applicable to high-voltage capacitors composed of low-voltage capacitors of the self-healing metallized dielectric type. Additional definitions, requirements and tests for self-healing capacitors will be found in the future IEC Publication XXX.
5. — The following are also excluded from this standard:
 - Shunt capacitors for a.c. power systems of up to and including 660 V rated voltage (IEC Publication XXX, in preparation).
 - Capacitors for induction heat-generating plants, operating at frequencies between 40 Hz and 24 000 Hz (IEC Publication 110).
 - Series capacitors (IEC Publication 143).
 - Capacitors for motor applications and the like (IEC Publication 252).
 - Coupling capacitors and capacitor dividers (IEC Publication 358).
 - Capacitors to be used in power electronics circuits (IEC Publication YYY (under consideration)).
 - Small a.c. capacitors to be used for fluorescent and discharge lamps (IEC Publication 566).
 - Capacitors for suppression of radio interference (IEC Publication ZZZ (under consideration)).
 - Capacitors intended to be used in various types of electrical equipment and thus considered as components.
 - Capacitors intended for use with d.c. voltage superimposed on the a.c. voltage.
6. — Accessories, such as insulators, switches, instrument transformers, external fuses, etc., shall comply with the relevant IEC standards.

2. Object

The object of this standard is:

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

3. Définitions

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

3.1 *Élément de condensateur (ou élément*)*

Dispositif constitué essentiellement par deux électrodes séparées par un diélectrique (VEI 436-01-03*).

3.2 *Condensateur unitaire (ou unité)*

Ensemble d'un ou de plusieurs éléments de condensateurs placés dans une même enveloppe et reliés à des bornes de sortie (VEI 436-01-04).

3.3 *Batterie de condensateurs (ou batterie)*

Ensemble de condensateurs unitaires raccordés de façon à agir conjointement (VEI 436-01-06).

3.4 *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 ou d'une batterie de condensateurs.

3.5 *Installation de condensateurs*

Batterie de condensateurs et ses accessoires (VEI 436-01-07).

3.6 *Dispositif de décharge d'un condensateur*

Dispositif pouvant être incorporé dans le condensateur et capable de ramener pratiquement à zéro, dans un temps spécifié, la tension entre les bornes de celui-ci, lorsque le condensateur a été déconnecté du réseau (VEI 436-03-15).

3.7 *Coupe-circuit interne d'un condensateur*

Coupe-circuit monté à l'intérieur d'une unité et connecté en série avec un élément ou un groupe d'éléments (VEI 436-03-16).

3.8 *Bornes de ligne*

Bornes à connecter aux conducteurs d'une ligne (VEI 436-03-01).

Note. — Dans les condensateurs polyphasés, la borne qui doit être connectée au conducteur neutre n'est pas considérée comme une borne de ligne.

3.9 *Capacité assignée d'un condensateur (C_N)*

Valeur de la capacité pour laquelle le condensateur a été conçu (VEI 436-01-12).

3.10 *Puissance assignée d'un condensateur (Q_N)*

Puissance réactive déduite des valeurs assignées de la capacité, de la fréquence et de la tension (ou du courant) (VEI 436-01-15).

3.11 *Tension assignée d'un condensateur (U_N)*

Valeur efficace (eff.) de la tension alternative pour laquelle le condensateur a été conçu (VEI 436-01-16).

Note. — Dans le cas de condensateurs constitués d'un ou de plusieurs circuits distincts (par exemple, unités monophasées destinées à être utilisées en montage polyphasé, ou unités polyphasées avec circuits séparés), U_N se rapporte à la tension assignée de chaque circuit.

Pour les condensateurs polyphasés possédant des connexions électriques internes entre phases ainsi que pour les batteries de condensateurs polyphasés, U_N se rapporte à la tension entre phases.

3.12 *Fréquence assignée d'un condensateur (f_N)*

Fréquence pour laquelle le condensateur a été conçu (VEI 436-01-14).

* Publication 50(436) de la CEI. (En préparation.)

3. Definitions

For the purpose of this standard, the following definitions apply:

3.1 Capacitor element (or element*)

A device consisting essentially of two electrodes separated by a dielectric (IEV 436-01-03*).

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).

3.3 Capacitor bank (or bank)

A number of capacitor units connected so as to act together (IEV 436-01-06).

3.4 Capacitor

In this standard, the word “capacitor” is used when it is not necessary to lay particular stress upon the different meanings of the word “capacitor unit” or “capacitor bank”.

3.5 Capacitor installation

A capacitor bank and its accessories (IEV 436-01-07).

3.6 Discharge device of a capacitor

A device, which may be incorporated in a capacitor, capable of reducing the voltage between the terminals effectively to zero within a given time, after the capacitor has been disconnected from a network (IEV 436-03-15).

3.7 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).

3.8 Line terminals

Terminals to be connected to the lines (IEV 436-03-01).

Note. — In polyphase capacitors, a terminal intended to be connected to the neutral conductor is not considered to be a line terminal.

3.9 Rated capacitance of a capacitor (C_N)

The capacitance value for which the capacitor has been designed (IEV 436-01-12).

3.10 Rated output of a capacitor (Q_N)

The reactive power derived from the rated values of capacitance, frequency and voltage (or current) (IEV 436-01-15).

3.11 Rated voltage of a capacitor (U_N)

The r.m.s. value of the alternating voltage for which the capacitor has been designed (IEV 436-01-16).

Note. — In the case of capacitors consisting of one or more separate circuits (for example single-phase units intended for use in polyphase connection, or polyphase units with separate circuits), U_N refers to the rated voltage of each circuit.

For polyphase capacitors with internal electrical connections between the phases, and polyphase capacitor banks, U_N refers to the phase-to-phase voltage.

3.12 Rated frequency of a capacitor (f_N)

The frequency for which the capacitor has been designed (IEV 436-01-14).

* IEC Publication 50(436). (In preparation.)

3.13 *Courant assigné d'un condensateur (I_N)*

Valeur efficace du courant alternatif pour laquelle le condensateur a été conçu (VEI 436-01-13).

3.14 *Pertes du condensateur*

Puissance active dissipée par le condensateur (VEI 436-04-10).

Notes 1. — Il convient de tenir compte de toutes les composantes qui engendrent ces pertes:

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

2. — Les pertes du condensateur peuvent être assimilées à une résistance-série équivalente de l'unité et/ou de la batterie.

3.15 *Tangente de l'angle de pertes ($\tan \delta$) d'un condensateur*

Rapport entre la résistance-série équivalente et la réactance capacitive d'un condensateur dans des conditions spécifiées de fréquence et de tension alternative sinusoïdale (VEI 436-04-11).

3.16 *Tension maximale admissible d'un condensateur*

Valeur efficace maximale de la tension alternative que le condensateur peut supporter pendant un temps déterminé dans des conditions spécifiées (VEI 436-04-07).

3.17 *Courant maximal admissible d'un condensateur*

Valeur efficace maximale du courant alternatif que le condensateur peut supporter pendant un temps déterminé dans des conditions spécifiées (VEI 436-04-09).

3.18 *Température de l'air ambiant*

Température de l'air à l'emplacement prévu pour le condensateur.

3.19 *Température de l'air de refroidissement*

Température de l'air de refroidissement mesurée à l'état stable à l'endroit le plus chaud de la batterie, 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 mesurée en partant de sa base.

3.20 *Etat stable*

Equilibre thermique atteint par un condensateur fonctionnant dans des conditions constantes de puissance et de température ambiante.

3.21 *Tension résiduelle*

Tension qui reste aux bornes d'un condensateur pendant un certain temps après sa déconnexion.

4. *Conditions de service*

4.1 *Conditions de service normales*

La présente norme donne les prescriptions applicables aux condensateurs utilisés dans les conditions suivantes:

a) *Tension résiduelle à la mise sous tension.*

Elle ne doit pas être supérieure à 10% de la tension assignée (articles 21 et 31, paragraphe 19.2 et annexe A).

b) *Altitude.*

Elle ne doit pas dépasser 1 000 m.

3.13 *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).

3.14 *Capacitor losses*

The active power dissipated by a capacitor (IEV 436-04-10).

Notes 1. — All loss-producing components should be included:

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

2. — The capacitor losses may be recalculated as an equivalent series resistor to the unit and /or bank.

3.15 *Tangent of the loss angle ($\tan \delta$) of a capacitor*

The ratio between the equivalent series resistance and the capacitive reactance of a capacitor at specified sinusoidal alternating voltage and frequency (IEV 436-04-11).

3.16 *Maximum permissible voltage of a capacitor*

The maximum r.m.s. alternating voltage which a capacitor can withstand for a given time in specified conditions (IEV 436-04-07).

3.17 *Maximum permissible current of a capacitor*

The maximum r.m.s. alternating current which a capacitor can carry for a given time in specified conditions (IEV 436-04-09).

3.18 *Ambient air temperature*

The temperature of the air at the proposed location of the capacitor.

3.19 *Cooling air temperature*

The temperature of the cooling air measured at the hottest position in the 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 measured from its base.

3.20 *Steady-state condition*

Thermal equilibrium attained by the capacitor at constant output and at constant ambient air temperature.

3.21 *Residual voltage*

The voltage remaining on the terminals of a capacitor at a certain time following disconnection.

4. *Service conditions*

4.1 *Normal service conditions*

This standard gives requirements for capacitors intended for use in the following conditions:

a) *Residual voltage at energization.*

Not to exceed 10% of rated voltage (Clause 21, Clause 31, Sub-clause 19.2 and Appendix A).

b) *Altitude.*

Not exceeding 1 000 m.

c) Catégories de température de l'air ambiant.

Les condensateurs sont classés en catégories de température, chaque catégorie étant repérée 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. Les lettres représentent les valeurs limites supérieures des plages de variation de la température dont les valeurs maximales sont spécifiées dans le tableau I.

Ces catégories de température couvrent une plage totale qui s'étend de -50°C à $+55^{\circ}\text{C}$.

Il convient de choisir la valeur la plus basse de la température de l'air ambiant à laquelle le condensateur peut être utilisé, dans les cinq valeurs préférentielles suivantes: $+5^{\circ}\text{C}$, -5°C , -25°C , -40°C , -50°C .

Note. — Avec l'accord du constructeur, le condensateur peut être utilisé à une température plus basse que celle des limites ci-dessus, à condition que la mise sous tension se fasse à une température égale ou supérieure à l'une des valeurs indiquées (paragraphe 29.1).

Le tableau I se fonde sur des conditions de service pour lesquelles le condensateur n'a pas d'influence sur la température de l'air ambiant (par exemple, installations extérieures).

TABLEAU I

Symbole	Température de l'air ambiant ($^{\circ}\text{C}$)		
	Maximum	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

Note. — Les valeurs de température correspondant au tableau I se trouvent dans les tables de température météorologiques établies pour les lieux d'installation.

Si le condensateur exerce une influence sur la température de l'air environnant, l'effet de la ventilation et/ou le choix du condensateur doivent être tels que, dans cette sorte d'installation, la température de l'air de refroidissement ne dépasse pas les limites indiquées dans le tableau I de plus de 5°C .

Pour définir la catégorie normale de température d'un condensateur, il est possible de choisir n'importe quelle combinaison de valeurs minimale et maximale, par exemple $-40/\text{A}$ ou $-5/\text{C}$. Les catégories préférentielles normales de température sont les suivantes: $-40/\text{A}$, $-25/\text{A}$, $-5/\text{A}$ et $-5/\text{C}$.

4.2 Conditions de service inhabituelles

Sauf accord différent passé entre constructeur et acheteur, la présente norme ne s'applique pas aux condensateurs dont les conditions de service prises en général ne sont pas compatibles avec les prescriptions de la présente norme.

c) Ambient air temperature categories.

Capacitors are classified in temperature categories, each category being specified by a number followed by a letter. The number represents the lowest ambient air temperature at which the capacitor may operate. The letters represent upper limits of temperature variation ranges, having maximum values specified in Table I.

The temperature categories cover a total temperature range from -50°C to $+55^{\circ}\text{C}$.

The lowest ambient air temperature at which the capacitor may be operated should be chosen from the five preferred values $+5^{\circ}\text{C}$, -5°C , -25°C , -40°C , -50°C .

Note. — With the agreement of the manufacturer, the capacitor may be used at a lower temperature than the limits above, provided that energization takes place at a temperature at or above these limits (Sub-clause 29.1).

Table I is based on service conditions in which the capacitor does not influence the ambient air temperature (for example outdoor installations).

TABLE I

Symbol	Ambient air temperature ($^{\circ}\text{C}$)		
	Maximum	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

Note. — The temperature values according to Table I can be found in the meteorological temperature tables covering the installation site.

If the capacitor influences the air temperature, the ventilation and/or choice of capacitor shall be such that the cooling-air temperature in the installation does not exceed the temperature limits of Table I by more than 5°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 $-5/\text{C}$. Preferred standard temperature categories are: $-40/\text{A}$, $-25/\text{A}$, $-5/\text{A}$ and $-5/\text{C}$.

4.2 Unusual service conditions

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

SECTION DEUX — RÈGLES DE QUALITÉ ET ESSAIS

5. Prescriptions relatives aux essais

5.1 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 à fusibles externes, etc., doivent suivre les dispositions des normes correspondantes de la CEI.

5.2 Conditions d'essai

Sauf spécification contraire, pour un essai ou une mesure particulière, la température du diélectrique du condensateur doit être comprise entre +5 °C et +35 °C.

Lorsqu'il est nécessaire d'apporter une correction, la température de référence doit être de +20 °C, sauf convention différente entre le constructeur et l'acheteur.

On peut admettre 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 température ambiante constante pendant une durée suffisante.

Les essais et les mesures en courant alternatif doivent être effectués à la fréquence de 50 Hz ou 60 Hz, sans tenir compte de la fréquence assignée du condensateur et en l'absence de spécification différente.

6. Classification des essais

Les essais sont classés en essais individuels, essais de type et essais d'acceptation.

6.1 Essais individuels

- a) Mesure de la capacité (article 7).
- b) Mesure de la tangente de pertes ($\tan \delta$) du condensateur (article 8).
- c) Essai de tenue en tension (article 9).
- d) Essai diélectrique en courant alternatif entre bornes et cuve (article 10).
- e) Essai du dispositif interne de décharge (article 11).
- f) Essai de l'étanchéité (article 12).

Les essais individuels doivent être exécutés par le constructeur sur chaque condensateur avant livraison. Sur demande, un rapport d'essai doit être fourni à l'acheteur.

L'ordre d'exécution des essais ci-dessus n'est pas obligatoire.

Note. — Sur accord entre constructeur et acheteur, un essai de décharge en court-circuit peut être effectué comme essai individuel. L'accord fixera également les paramètres d'essai.

6.2 Essais de type

- a) Essai de stabilité thermique (article 13).
- b) Mesure de la tangente de pertes ($\tan \delta$) au condensateur à température élevée (article 14).
- c) Essai diélectrique en courant alternatif entre bornes et cuve (article 15).
- d) Essai au choc de foudre entre bornes et cuve (article 16).
- e) Essai de décharge en court-circuit (article 17).

Les essais de type sont exécutés afin de s'assurer, au point de vue conception, dimensions, matériaux et réalisation, que le condensateur est conforme aux caractéristiques et aux prescriptions fonctionnelles spécifiées dans la présente norme.

Sauf spécification contraire, chaque condensateur sur lequel les essais de type doivent être effectués doit d'abord avoir supporté de façon satisfaisante tous les essais individuels.

SECTION TWO — QUALITY REQUIREMENTS AND TESTS

5. Test requirements

5.1 General

This section gives the test requirements for capacitor units.

Supporting insulators, switches, instrument transformers, external fuses, etc. shall be in accordance with relevant IEC standards.

5.2 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 temperature, provided that the capacitor has been left in an unenergized state at a constant ambient temperature for an adequate period.

The a.c. tests and measurements shall be carried out at a frequency of 50 Hz or 60 Hz independent of the rated frequency of the capacitor, if not otherwise specified.

6. Classification of tests

The tests are classified as routine tests, type tests and acceptance tests.

6.1 Routine tests

- a) Capacitance measurement (Clause 7).
- b) Capacitor loss tangent ($\tan \delta$) measurement (Clause 8).
- c) Voltage test between terminals (Clause 9).
- d) A.C. voltage test between terminals and container (Clause 10).
- e) Test of internal discharge device (Clause 11).
- f) Sealing test (Clause 12).

Routine tests shall be carried out by the manufacturer on every capacitor before delivery. On request, the purchaser shall be supplied with a test report.

The test sequence above is not mandatory.

Note. — If agreed between purchaser and manufacturer a short-circuit discharge test may be carried out as a routine test. The test parameters shall also be agreed upon.

6.2 Type tests

- a) Thermal stability test (Clause 13).
- b) Capacitor loss tangent ($\tan \delta$) measurement at elevated temperature (Clause 14).
- c) A.C. voltage test between terminals and container (Clause 15).
- d) Lightning impulse voltage test between terminals and container (Clause 16).
- e) Short-circuit discharge test (Clause 17).

Type tests are carried out in order to ascertain that, as regards design, size, materials and manufacture, the capacitor complies with the characteristics and operational requirements specified in this standard.

Unless otherwise specified, every capacitor sample to which it is intended to apply the type test shall first have withstood satisfactorily the application of all the routine tests.

Les essais de type doivent être faits sur des condensateurs de conception et de fabrication identiques à celles du condensateur proposé ou qui ne s'en écartent d'aucune manière susceptible d'affecter les propriétés qui doivent être contrôlées par les essais de type.

Il n'est pas essentiel que tous les essais de type soient effectués sur une même unité; ils peuvent l'être sur des unités différentes ayant les mêmes caractéristiques.

Les essais de type doivent être exécutés par le constructeur; un certificat donnant les résultats détaillés des essais doit être fourni à l'acheteur, à sa demande.

6.3 Essais d'acceptation

Les essais individuels et/ou les essais de type, ou seulement certains d'entre eux, peuvent être renouvelés par le constructeur selon les dispositions éventuelles du contrat et par accord avec l'acheteur.

Le nombre d'échantillons qui seront soumis à ces nouveaux essais doit, comme les critères d'acceptation, faire l'objet d'un accord entre le constructeur et l'acheteur et doit être mentionné dans le contrat.

7. Mesure de la capacité (essai individuel)

7.1 Modalités de la mesure

La capacité doit être mesurée avec 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.

Il est possible d'effectuer les mesures à une tension différente pourvu que les facteurs de correction appropriés fassent l'objet d'un accord entre le constructeur et l'acheteur.

La capacité définitive doit être mesurée après exécution des essais de tension (articles 9 et 10).

Pour mettre en évidence une variation éventuelle de la capacité, due par exemple à la perforation d'un élément ou à la défaillance d'un coupe-circuit interne, on doit effectuer une mesure préliminaire de la capacité avant les autres essais individuels électriques. Cette mesure préliminaire doit être faite avec une tension réduite ne dépassant pas $0,15 U_N$.

La précision de la méthode de mesure doit permettre de respecter les tolérances indiquées au paragraphe 7.2. Sur accord particulier, une précision plus élevée peut être exigée et, dans ce cas, le constructeur doit déclarer la précision de la méthode de mesure employée.

La reproductibilité de la méthode de mesure doit permettre de mettre en évidence un élément perforé ou un coupe-circuit interne ouvert.

Notes 1. — Avec les condensateurs polyphasés, la tension de mesure doit être réglée de manière à avoir 0,9 à 1,1 fois la tension assignée aux bornes de chaque élément.

2. — Sur accord, le constructeur doit fournir les courbes ou tableaux indiquant:

- la capacité dans les conditions d'état stable à la puissance assignée en fonction de la température ambiante 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.

7.2 Tolérances sur la capacité

La capacité ne doit pas s'écarter de sa valeur assignée de plus de:

- 5% à +15% pour les condensateurs unitaires ou les batteries comportant une unité par phase;
- 5% à +10% pour les batteries dont la puissance assignée totale est inférieure ou égale à 3 Mvar;
- 0% à +10% pour les batteries dont la puissance assignée totale est comprise entre 3 Mvar et 30 Mvar;
- 0% à +5% pour les batteries dont la puissance assignée totale est supérieure à 30 Mvar.

The type tests shall be made upon capacitors of a design identical with that of the capacitor to be supplied or on capacitors of design and processing that do not differ from it in any way that might influence the properties to be checked by the type test.

It is not essential that all type tests be carried out on the same capacitor unit; they may be carried out on different units having the same characteristics.

The type tests shall be carried out by the manufacturer, and, on request, the purchaser shall be supplied with a certificate detailing the results of such tests.

6.3 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 that may be subjected to such tests, and the acceptance criteria, shall be subject to agreement between manufacturer and purchaser, and shall be stated in a contract.

7. Capacitance measurement (routine test)

7.1 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 appropriate correction factors are agreed upon between the manufacturer and the purchaser.

The final capacitance measurement shall be carried out after the voltage test (Clauses 9 and 10).

In order to reveal any change in capacitance, for example due to puncture of an element, or failure of an internal fuse, a preliminary capacitance measurement shall be made, before the other electrical routine tests. This preliminary measurement shall be performed with a reduced voltage not higher than $0.15 U_N$.

The accuracy of the measuring method shall be such that the tolerances according to Sub-clause 7.2 can be met. If agreed upon, a higher accuracy may be required and in such a case the accuracy of the measuring method shall be stated by the manufacturer.

The repeatability of the measuring method shall be such that a punctured element or an operated internal fuse can be detected.

Notes 1. — For polyphase capacitors the measuring voltage shall be adjusted to give 0.9 to 1.1 times rated voltage across each element.

2. — The manufacturer shall, by agreement, provide curves or tables showing:

- the capacitance under steady-state conditions at rated output as a function of ambient temperature within the temperature category;
- the capacitance as a function of the dielectric temperature within the temperature category.

7.2 Capacitance tolerances

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

–5% to +15% for capacitor units or banks containing one unit per phase;

–5% to +10% for banks up to 3 Mvar total rating;

0% to +10% for banks from 3 Mvar to 30 Mvar total rating;

0% to +5% for banks above 30 Mvar total rating.

La valeur de la capacité est la capacité mesurée dans les conditions du paragraphe 7.1.

Pour les unités ou les batteries triphasées, le rapport entre les valeurs maximale et minimale de la capacité mesurée entre deux bornes de ligne quelconques ne doit pas dépasser 1,08.

Notes 1. — Pour les tolérances, voir également le paragraphe 31.5.

2. — L'annexe A donne une formule pour calculer la puissance d'un condensateur triphasé à partir de mesures effectuées sur un condensateur monophasé.
3. — Pour les batteries dont la puissance assignée totale est supérieure à 3 Mvar, le constructeur et l'acheteur peuvent s'entendre sur des tolérances plus étroites sur la puissance et sur le rapport des capacités par phase.
4. — Dans les batteries connectées en étoile avec neutre isolé, on peut désirer de plus faibles rapports entre valeurs maximale et minimale des capacités par phase; se reporter au paragraphe 31.5.

8. Mesure de la tangente de pertes ($\tan \delta$) du condensateur (essai individuel)

8.1 Modalités de la mesure

Les pertes ($\tan \delta$) du condensateur doivent être mesurées avec 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. La précision de la méthode de mesure ainsi que la corrélation avec les valeurs mesurées à la tension assignée et à la fréquence assignée doivent être consignées.

- Notes 1.* — Avec les condensateurs polyphasés, la tension de mesure doit être réglée de manière à avoir 0,9 à 1,1 fois la tension assignée aux bornes de chaque élément.
2. — La valeur de $\tan \delta$ pour certains types de diélectriques est fonction de la durée de mise sous tension avant la mesure.

8.2 Prescriptions relatives aux pertes

Les prescriptions relatives aux pertes des condensateurs peuvent faire l'objet d'un accord entre constructeur et acheteur.

La valeur des pertes est celle qui est mesurée dans les conditions du paragraphe 8.1.

Note. — Sur accord, le constructeur devra fournir les courbes ou tableaux indiquant la variation des pertes du condensateur (ou de $\tan \delta$) dans les conditions d'état stable à la puissance assignée en fonction de la température ambiante dans les limites de la catégorie de température.

9. Essai de tenue en tension (essai individuel)

Chaque condensateur doit être soumis pendant 10 s aux conditions de l'essai du paragraphe 9.1 ou à celles du paragraphe 9.2. En l'absence d'un accord, le choix est laissé au constructeur. Au cours de l'essai, il ne doit se produire ni perforation, ni contournement.

9.1 Essai en courant alternatif

L'essai en courant alternatif doit être exécuté avec une tension pratiquement sinusoïdale de valeur:

$$U_t = 2,15 U_N$$

Les Etats-Unis d'Amérique utilisent $U_t = 2,0 U_N$

Notes 1. — Les autres pays ne peuvent utiliser $U_t = 2,0 U_N$ que sur accord entre constructeur et acheteur.

2. — Si l'on procède à un second essai après livraison des condensateurs, une tension égale à 75% de U_t est recommandée pour ce second essai.
3. — Avec les condensateurs polyphasés, la tension d'essai doit être réglée pour avoir la valeur appropriée aux bornes de chaque élément.
4. — Les unités munies de coupe-circuit à fusibles internes et qui demeurent dans les tolérances de capacité malgré l'ouverture d'un ou de plusieurs de ces coupe-circuit ne peuvent être livrés qu'après accord entre constructeur et acheteur.
5. — Quand l'impédance des condensateurs unitaires ou des batteries, dont le neutre est raccordé à la terre, est trop élevée pour modifier sensiblement les surtensions du réseau et que les batteries ne sont pas protégées conformément aux dispositions des paragraphes 31.2 et 34.2, la tension d'essai à appliquer aux unités doit être égale à la tension de tenue appropriée à fréquence industrielle prise dans les tableaux IIIA, IIIB, et IV. Si les unités qui constituent la batterie sont connectées en série, la tension d'essai doit être proportionnée.

The capacitance value is that measured under the conditions of Sub-clause 7.1.

In three-phase units and banks, the ratio of maximum to minimum values of capacitance measured between any two line terminals shall not exceed 1.08.

Notes 1. — See also Sub-clause 31.5 concerning tolerances.

2. — A formula for the calculation of the output of a three-phase capacitor from single-phase capacitance measurements is given in Appendix A.
3. — For banks above 3 Mvar total rating, closer tolerances for output and phase capacitance ratios may be agreed between manufacturer and purchaser.
4. — Smaller ratios of maximum to minimum value of the phase capacitances may be needed in star connected banks with isolated neutral; see Sub-clause 31.5.

8. Capacitor loss tangent ($\tan \delta$) measurement (routine test)

8.1 Measuring procedure

The capacitor losses ($\tan \delta$) shall be measured at 0.9 to 1.1 times rated voltage using a method that excludes errors due to harmonics. The accuracy of the measuring method and the correlation with the values measured at rated voltage and frequency shall be given.

- Notes 1.* — For polyphase capacitors the measuring voltage shall be adjusted to give 0.9 to 1.1 times rated voltage across each element.
2. — The $\tan \delta$ value of certain types of dielectric is a function of the energization time before the measurement.

8.2 Loss requirements

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

The value of capacitor losses is that measured under the conditions of Sub-clause 8.1.

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

9. Voltage test between terminals (routine test)

Every capacitor shall be subjected for 10 s to either the test of Sub-clause 9.1 or that of Sub-clause 9.2. In the absence of an agreement, the choice is left to the manufacturer. During the test, neither puncture nor flashover shall occur.

9.1 A.C. test

The a.c. test shall be carried out with a substantially sinusoidal voltage of:

$$U_t = 2.15 U_N$$

In the United States of America the value $U_t = 2.0 U_N$ is used.

- Notes 1.* — Other countries may use the value $U_t = 2.0 U_N$ only if agreed between purchaser and manufacturer.
2. — If the capacitors are to be re-tested after delivery a voltage of 75% of U_t is recommended for the second test.
 3. — For polyphase capacitors, the test voltage shall be adjusted to give the appropriate voltage across each element.
 4. — Units having internal element fuses, and within the capacitance tolerances in spite of one or more operated element fuses, may only be delivered after agreement between purchaser and manufacturer.
 5. — When the impedance of capacitor units or banks having earthed neutrals is too high to effectively modify system overvoltages and the banks are not protected in accordance with Sub-clauses 31.2 and 34.2, the test voltages for units shall be equal to the appropriate power frequency withstand test voltage from Tables IIIA, IIIB and IV. If the units in the bank are connected in series the test voltage shall be in proportion.

9.2 Essai en courant continu

La tension d'essai doit avoir la valeur:

$$U_t = 4,3 U_N$$

Notes 1. — Voir paragraphe 9.1, note 2.

2. — Voir paragraphe 9.1, note 3.

3. — Voir paragraphe 9.1, note 4.

4. — Voir paragraphe 9.1, note 5, la tension d'essai étant néanmoins continue avec une valeur égale à 2,0 fois (4,3/2,15) la valeur servant dans les conditions de la note 5 du paragraphe 9.1.

10. Essai diélectrique en courant alternatif entre bornes et cuve (essai individuel)

Les condensateurs unitaires dont toutes les bornes sont isolées de la cuve doivent être soumis pendant une durée de 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 suivant les dispositions de l'article 18.

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

Cet essai doit être exécuté même dans le cas où l'une des bornes est prévue pour être raccordée en service à la cuve.

Les unités pourvues d'une borne reliée en permanence à la cuve ne sont pas soumises à cet essai.

Les unités avec phases séparées doivent être soumises à des essais de tension entre phases dont la valeur est la même que pour l'essai entre bornes et la cuve.

11. Essai du dispositif interne de décharge (essai individuel)

La résistance du dispositif interne de décharge éventuellement prévu doit être vérifiée par la mesure de cette résistance (article 21 et annexe A).

La méthode peut être choisie par le constructeur.

L'essai doit être exécuté après l'essai de tension de l'article 9.

12. Essai de l'étanchéité (essai individuel)

Le condensateur hors tension doit être chauffé complètement de sorte que, pendant au moins 2 h, toutes ses parties atteignent une température supérieure d'au moins 20 °C à la valeur maximale du tableau I.

Il ne doit se produire aucune fuite.

Il est recommandé d'utiliser un détecteur de fuites approprié.

13. Essai de stabilité thermique (essai de type)

13.1 Généralités

Cet essai est destiné à:

- a) montrer la stabilité thermique du condensateur en régime de surcharge;
- b) mettre le condensateur dans les conditions qui permettent d'effectuer la mesure des pertes de manière reproductible.

13.2 Modalités de la mesure

Le condensateur unitaire soumis à l'essai doit être placé entre deux autres unités ayant les mêmes valeurs assignées et chargées à la même tension que le condensateur à essayer. En variante, on peut utiliser deux condensateurs factices contenant des résistances. La puissance dissipée par ces résistances doit être réglée de manière que la température de la cuve des condensateurs factices au voisinage du sommet des faces en regard soit égale ou supérieure à

9.2 D.C. test

The test voltage shall be:

$$U_t = 4.3 U_N$$

Notes 1. — See Sub-clause 9.1, Note 2.

2. — See Sub-clause 9.1, Note 3.

3. — See Sub-clause 9.1, Note 4.

4. — See Sub-clause 9.1, Note 5, the test voltage, however, being d.c. and having a value of 2.0 (4.3/2.15) times the value according to Note 5 of Sub-clause 9.1.

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

Units having all 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 18.

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 subjected to this test.

Units with separate phases shall be subjected to voltage tests between phases of the same value as for the terminals to container test.

11. Test of internal discharge device (routine test)

The resistance of the internal discharge device, if any, shall be checked by a resistance measurement (Clause 21 and Appendix A).

The method may be selected by the manufacturer.

The test shall be made after the voltage test of Clause 9.

12. Sealing test (routine test)

Unenergized capacitor units shall be heated throughout so that, for at least 2 h, all parts reach a temperature not lower than 20 °C above the maximum value in Table I.

No leakage shall occur.

It is recommended that a suitable leakage indicator be used.

13. Thermal stability test (type test)

13.1 General

This test is intended to:

- a) determine the thermal stability of the capacitor under overload conditions;
- b) condition the capacitor to enable a reproducible loss measurement to be made.

13.2 Measuring procedure

The capacitor unit subjected to the test shall be placed between two other units of the same rating which shall be energized at the same voltage as the test capacitor. Alternatively, two dummy capacitors each containing resistors may be used. The dissipation in the resistors shall be adjusted to a value such that the case temperature of the dummy capacitors near the top opposing faces are equal to or greater than those of the test capacitor. The separation between

celle du condensateur à essayer. L'espacement entre unités doit être inférieur ou égal à l'espacement normal. L'ensemble doit être placé en air calme dans une enceinte chauffante en adoptant la position la plus défavorable au point de vue thermique d'après les instructions du constructeur pour le montage en service. La température de l'air ambiant doit être maintenue à la valeur appropriée du tableau II. On la mesure à l'aide d'un thermomètre dont la constante thermique de temps est d'environ 1 h. Le thermomètre doit être muni d'un écran, de manière à ne recevoir que le minimum possible de rayonnement thermique des trois échantillons chargés.

TABLEAU II

Symbole	Température de l'air ambiant (°C)
A	40
B	45
C	50
D	55
Tolérance sur la température: $\pm 2^\circ\text{C}$	

Le condensateur à essayer doit être soumis à un courant alternatif de forme pratiquement sinusoïdale pendant une durée d'eau moins 48 h, la valeur de la tension appliquée étant maintenue constante pendant toute la durée de l'essai. Cette valeur est calculée à partir de la capacité mesurée (paragraphe 7.1) pour obtenir du condensateur une puissance égale à 1,44 fois sa puissance assignée.

Pendant les 6 dernières heures, la température doit être mesurée au moins quatre fois près du dessus de la cuve. Pendant ces 6 h, la température ne doit pas augmenter de plus de 1°C . Si l'on observe une variation plus importante, l'essai doit être prolongé pour permettre de satisfaire la règle des quatre mesures consécutives de température pendant une autre durée de 6 h.

La capacité doit être mesurée avant et après l'essai (paragraphe 7.1) dans les limites de la plage de température conforme au paragraphe 5.2 et ces deux mesures sont corrigées pour la même température du diélectrique. La différence entre les deux valeurs de capacité mesurée doit être inférieure à la quantité qui correspond à la perforation d'un élément ou à l'ouverture d'un coupe-circuit interne.

Il faut tenir compte des deux facteurs suivants pour interpréter les résultats des mesures:

- la reproductibilité des mesures;
- le fait que les modifications internes du diélectrique peuvent entraîner une petite variation de la capacité sans qu'un élément du condensateur ait été perforé ou qu'un coupe-circuit interne se soit ouvert.

Notes 1. — Pour vérifier le respect des conditions de température, il convient de tenir compte des fluctuations de tension et de la fréquence comme de celles de la température de l'air de refroidissement, pendant l'essai. Pour cette raison, il est conseillé de tracer des courbes de ces paramètres et de l'échauffement de la cuve en fonction du temps.

2. — Les condensateurs unitaires prévus pour être utilisés en 60 Hz peuvent être essayés en 50 Hz et vice versa, pourvu que la puissance assignée soit respectée. Pour les unités destinées à fonctionner en dessous de 50 Hz, les conditions d'essai devront faire l'objet d'un accord entre constructeur et acheteur.

14. Mesure de la tangente de pertes ($\text{tg } \delta$) du condensateur à température élevée (essai de type)

14.1 Modalités de la mesure

Les pertes ($\text{tg } \delta$) du condensateur doivent être mesurées à la fin de l'essai de stabilité thermique (article 13). La valeur de la tension de mesure doit être celle qui est utilisée pour cet essai de stabilité thermique.

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 temperature shown in Table II. 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 three energized samples.

TABLE II

Symbol	Ambient air temperature (°C)
A	40
B	45
C	50
D	55
Temperature tolerance: $\pm 2^\circ\text{C}$	

The test capacitor shall be subjected for a period of at least 48 h, to an a.c. voltage of substantially sinusoidal form. The magnitude of the voltage shall be kept constant throughout the test. Its value is computed from the measured capacitance (Sub-clause 7.1) to give a calculated output of the capacitor equal to 1.44 times its rated output.

During the last 6 h the temperature of the container near the top shall be measured at least four times. Throughout this period of 6 h, the temperature shall not increase by more than 1°C . Should a greater change be observed, the test shall be continued until the above requirement is satisfied for four consecutive measurements during a subsequent 6 h period.

Before and after the test the capacitance shall be measured (Sub-clause 7.1) within the temperature range according to Sub-clause 5.2 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 either breakdown of an element or operation of an internal fuse.

When interpreting the results of the measurements, two 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 of the capacitor or operation of an internal fuse having occurred.

Notes 1. — When checking if the temperature conditions are satisfied, fluctuations of voltage, frequency and cooling-air temperature during the test should 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 at 50 Hz and units intended for 50 Hz may be tested at 60 Hz provided that the specified output is applied. For units rated below 50 Hz the test conditions should be agreed between purchaser and manufacturer.

14. Capacitor loss tangent ($\tan \delta$) measurement at elevated temperature (type test)

14.1 Measuring procedure

The capacitor losses ($\tan \delta$) shall be measured at the end of the thermal stability test (Clause 13). The measuring voltage shall be that of the thermal stability test.

14.2 Prescriptions

La valeur mesurée de $\tan \delta$ selon les dispositions du paragraphe 14.1 ne doit pas dépasser la valeur déclarée par le constructeur, ou la valeur sur laquelle le constructeur et l'acheteur se sont accordés.

15. Essai diélectrique en courant alternatif entre bornes et cuve (essai de type)

Les condensateurs unitaires dont toutes les bornes sont isolées de la cuve doivent être soumis à un essai de 1 min selon les dispositions de l'article 18.

Pour les unités dont une borne est reliée en permanence à la cuve, les essais doivent être limités aux traversées et à la cuve (sans éléments).

Les essais sont exécutés à sec pour les unités utilisées à l'intérieur et sous pluie artificielle pour les unités utilisées à l'extérieur (voir Publication 60 de la CEI: Technique des essais à haute tension).

Pour les essais sous pluie artificielle, la position des traversées doit correspondre à celle qu'elles occupent en service.

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

Note. — Les unités destinées aux installations extérieures peuvent n'être soumises qu'à un essai à sec si le constructeur est à même de présenter un rapport concernant un essai de type séparé selon lequel les traversées supportent la tension d'essai sous pluie pendant 1 min. Pour cet essai de type, la position des traversées devra correspondre à celle qu'elles occupent en service.

16. Essai au choc de foudre entre bornes et cuve (essai de type)

Cet essai s'applique aux unités répondant aux conditions suivantes:

- les unités dont toutes les bornes sont isolées de la cuve et qui sont destinées à être raccordées à des lignes électriques aériennes doivent être essayées selon les dispositions du paragraphe 16.1.
- les unités dont une borne est connectée à la cuve et les unités qui ne sont pas destinées à être raccordées à des lignes électriques aériennes doivent être essayées uniquement sur unité modèle selon les dispositions du paragraphe 16.2.

L'essai au choc de foudre doit être exécuté selon les dispositions de la Publication 60 de la CEI, mais avec une forme d'onde de (1,2 à 5)/50 μ s et une valeur de crête correspondant au niveau d'isolement de l'unité selon les dispositions de l'article 18.

L'absence de défaut ou de claquage partiel au cours de l'essai doit être vérifiée à l'aide de l'oscilloscope cathodique qui sert à visualiser la tension et à contrôler la forme d'onde.

16.1 Essai sur unité normale

On applique, entre les traversées reliées les unes aux autres et la cuve, 15 impulsions de polarité positive suivies de 15 impulsions de polarité négative.

A l'inversion de polarité, il est permis d'appliquer quelques impulsions d'amplitude moindre avant les impulsions négatives.

On considère que le condensateur a passé l'essai avec succès si:

- il ne s'est pas produit de perforation;
- il ne s'est pas produit plus de deux contournements par polarité;
- la forme d'onde n'a pas présenté d'irrégularités ou si la forme d'onde présentée à tension réduite (soit une valeur comprise entre 50% et 70% de la tension d'essai) ne diffère pas de façon notable de celle qui apparaît au niveau de la tension d'essai.

En variante, l'unité normale doit être soumise à trois impulsions positives appliquées entre les traversées reliées les unes aux autres et la cuve. Les critères définis ci-dessus restent valables pour l'acceptation, à cette exception près qu'aucun contournement n'est toléré.

14.2 Requirements

The value of $\tan \delta$ measured in accordance with Sub-clause 14.1 shall not exceed the value declared by the manufacturer, or the value agreed upon between manufacturer and purchaser.

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

Units having all terminals insulated from the container shall be subjected to a test according to Clause 18 with a duration of 1 min.

Tests on units having one terminal permanently connected to the container shall be limited to the bushing(s) and container (without elements).

The test is dry for units to be used indoors, and with artificial rain (see IEC Publication 60: High-voltage Test Techniques) for units to be used outdoors.

The positions of the bushings when subjected to a test under 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 only a dry test 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 bushings in this separate type test should correspond to their position in service.

16. Lightning impulse test between terminals and container (type test)

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

- units having all terminals insulated from the container and intended for connection to overhead lines shall be tested in accordance with Sub-clause 16.1;
- units having one terminal connected to the container and units not intended for connection to overhead lines shall be tested according to Sub-clause 16.2 on a model unit only.

The lightning impulse test shall be made in accordance with IEC Publication 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 18.

The absence of failure or partial breakdown during the test shall be verified by a cathode-ray oscilloscope which is used to record the voltage and to check the wave-shape.

16.1 Test on a standard unit

Fifteen impulses of positive polarity followed by 15 impulses of negative polarity shall be applied between 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 the wave-shape recorded at a reduced voltage (i.e. at 50% to 70% of the test voltage) does not differ significantly from that recorded at test voltage.

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

16.2 Essai sur unité modèle

L'unité modèle doit comprendre des traversées munies de leurs conducteurs de connexion interne pourvus de leur isolement normal; elle doit être remplie d'un agent d'imprégnation, mais ne contenir aucun élément. Le fil de raccordement interne aux traversées peut être recourbé en U entre les traversées ou pourvu d'un dispositif réduisant les contraintes électriques.

L'unité modèle doit être essayée et acceptée selon les dispositions du paragraphe 16.1.

17. Essai de décharge en court-circuit (essai de type)

L'unité doit être chargée en courant continu, puis déchargée à travers un éclateur placé aussi près que possible du condensateur. Elle doit être soumise à cinq décharges de ce genre sur une durée de 10 min.

La tension d'essai doit être de $2,5 U_N$.

Dans les 5 min qui suivent cet essai, l'unité doit être soumise à un essai de tenue en tension entre bornes (article 9).

La capacité doit être mesurée avant l'essai de décharge et de nouveau après l'essai de tension. La différence entre les deux valeurs mesurées doit être moindre que la quantité qui correspond au claquage d'un élément ou à l'ouverture d'un coupe-circuit à fusibles interne.

Note. — L'essai de décharge a pour but de mettre en évidence les déficiences éventuelles des connexions internes.

SECTION TROIS — NIVEAUX D'ISOLEMENT

18. Niveaux d'isolement

18.1 Valeurs normales

Les niveaux d'isolement des condensateurs unitaires comme des installations de condensateurs doivent être choisis parmi les niveaux normalisés prescrits par la Publication 71-1 de la CEI.

La normalisation des valeurs de la tension la plus élevée pour le matériel est divisée en trois plages:

- Plage A: Tension inférieure à 52 kV. Les valeurs prescrites dans la Publication 71-1 de la CEI sont complétées par deux valeurs de tension la plus élevée pour le matériel (1,2 kV et 2,4 kV) qui figurent au tableau IIIA (pratique courante dans la plupart des pays européens et dans certains autres pays).

Les valeurs adoptées à partir de la pratique courante de quelques pays d'Amérique du Nord et de certains autres pays sont données dans le tableau IIIB pour les tensions jusqu'à 52 kV.

- Plage B: De 52 kV à 300 kV (exclus). Le tableau IV donne les valeurs prescrites dans la Publication 71-1 de la CEI.
- Plage C: Tensions égales et supérieures à 300 kV. Le tableau V donne les valeurs prescrites dans la Publication 71-1 de la CEI.

18.2 Niveaux d'isolement des condensateurs unitaires

Se reporter au paragraphe 18.4 pour les niveaux d'isolement applicables aux unités montées sur les réseaux monophasés.

16.2 *Test on a model unit*

The model unit shall be equipped with bushing(s), shall have the internal bushing connection wire equipped 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 equipped with an electrical stress relieving device.

The model unit shall be tested and accepted according to Sub-clause 16.1.

17. **Short-circuit discharge test (type test)**

The unit shall be charged by means of d.c. and then discharged through a gap situated as close as possible to the capacitor. It shall be subjected to five such discharges within 10 min.

The test voltage shall be $2.5 U_N$.

Within 5 min after this test, the unit shall be subjected to a voltage test between terminals (Clause 9).

The capacitance shall be measured before the discharge test and after the voltage test. The differences between the two measurements shall be less than an amount corresponding to either breakdown of an element or operation of an internal fuse.

Note. — The purpose of the discharge test is to reveal deficiencies in the internal connections.

SECTION THREE — INSULATION LEVELS

18. **Insulation levels**

18.1 *Standard values*

The insulation levels of the capacitor units and of the capacitor installation shall be chosen from the standard values prescribed by IEC Publication 71-1.

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

- Range A: Voltage less than 52 kV. The prescribed values from IEC Publication 71-1 are supplemented by two values of the highest voltage for equipment (1.2 kV and 2.4 kV) which are given in Table IIIA (current practice in most European and several other countries).

Values based on current practice in some North American and other countries are given in Table IIIB for voltages up to 52 kV.

- Range B: From 52 kV to less than 300 kV. The prescribed values from IEC Publication 71-1 are given in Table IV.
- Range C: 300 kV and above. The prescribed values from IEC Publication 71-1 are given in Table V.

18.2 *Insulation levels of capacitor units*

For insulation levels of capacitor units connected in single-phase systems see Sub-clause 18.4.

18.2.1 Unités totalement isolées de la cuve

Les unités dont la cuve est connectée à la terre et dont une traversée est raccordée au potentiel de ligne (la ou les autres traversées étant connectées à la ligne et/ou au neutre isolé) doivent avoir un niveau d'isolement conforme aux dispositions des tableaux IIIA ou IIIB.

Note. — La même prescription s'applique également aux unités connectées en série dont les cuves sont reliées à la terre.

18.2.2 Unités dont la cuve est isolée de la terre

Ce paragraphe s'applique aux unités montées sur châssis isolé en batterie dont le neutre est isolé ou connecté à la terre.

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

$$U_t = 2,15 U_N \cdot n$$

où:

U_t = tension d'essai à fréquence industrielle

U_N = tension assignée du condensateur

n = nombre d'unités reliées en série par rapport au châssis métallique auquel les cuves sont connectées (par exemple $n = 3$ pour six unités reliées en série à un châssis avec point milieu connecté à ce châssis)

Le même niveau de tension d'essai U_t doit servir de prescription minimale pour les barres omnibus et les isolateurs entre châssis qui sont en parallèle avec la ou les unités (voir paragraphe 18.3.2).

Note. — Si le châssis n'est pas connecté à un conducteur assurant la connexion des condensateurs, il convient que la tension d'essai à fréquence industrielle U_t fasse l'objet d'un accord.

18.3 Batteries de condensateurs connectés en étoile ou en triangle

18.3.1 Isolement à la terre (uniquement pour batteries avec neutre isolé)

La batterie doit être totalement isolée de la terre selon les dispositions des tableaux IIIA, IIIB, IV ou V.

18.3.2 Isolement de chaque phase d'une batterie de condensateurs

Chaque isolement entre parties constituantes d'une phase ou isolement à la terre des phases complètes de la batterie doit avoir un niveau déterminé à partir de la formule du paragraphe 18.2.2. Toutefois, n correspond dans ce cas au nombre d'unités entrant dans les limites de l'isolement intéressé.

Note. — Si des bobines d'amortissement sont connectées en série avec la batterie de condensateurs, soit au point de terre du neutre, soit au point de neutre isolé, ou aux raccords de ligne, il convient que leur niveau d'isolement soit égal à celui du réseau d'alimentation.

18.3.3 Isolement entre phases d'une batterie de condensateurs

Le niveau d'isolement entre connexions de ligne doit être conforme aux prescriptions des tableaux IIIA, IIIB, IV ou V.

L'isolement entre châssis (unités, connexions, etc.) montés sur différentes phases doit être étudié de manière à assurer la proportion appropriée de l'isolement total.

Note. — Si des bobines d'amortissement sont connectées comme il est indiqué dans la note du paragraphe 18.3.2, il convient que l'isolement entre phases ne soit pas affecté.

18.4 Unités et/ou batteries connectées à deux phases seulement

Le niveau d'isolement des unités et/ou des batteries connectées à deux phases seulement doit être choisi comme suit:

18.4.1 Connexion à deux lignes dans un réseau triphasé

Les niveaux d'isolement, les tensions d'essai, etc., doivent être choisis comme pour une batterie triphasée complète.

18.2.1 *Units with full insulation to container*

Units having containers connected to earth and having one bushing connected to line potential (the other bushing(s) being connected to line and/or isolated neutral) shall have an insulation level according to Table IIIA or Table IIIB.

Note. — The same requirement is also applicable to series connected units having earthed containers.

18.2.2 *Units with containers insulated from earth*

This sub-clause applies to units mounted on insulated racks in banks with either isolated or earthed neutrals.

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

$$U_t = 2.15 U_N \cdot n$$

where:

U_t = power frequency test voltage

U_N = rated voltage of the capacitor

n = number of units in series relative to the metal rack to which the containers are connected (for example if six units are series connected in one rack with the centre point connected to the rack, n is 3)

The same test level U_t shall be used as a minimum requirement for busbar and inter-rack insulators which are in parallel with the unit(s) (see Sub-clause 18.3.2).

Note. — If the rack is not connected to one of the electrical interconnections between capacitors units, the power frequency test voltage U_t should be agreed upon.

18.3 *Capacitor banks, star and delta connected*

18.3.1 *Insulation to earth (banks with isolated neutral only)*

The bank shall have full insulation to earth according to Table IIIA, Table IIIB, Table IV or Table V.

18.3.2 *Insulation across each phase of the capacitor bank*

Each insulation across parts of a phase or insulation to earth of the whole phase of the bank shall have its insulation level determined according to the formula of Sub-clause 18.2.2. However, n in this case corresponds to the number of units which span this insulation.

Note. — When damping reactors are connected in series with the capacitor bank, either at the earthed or insulated neutral point or in the line connections, their insulation levels should be equal to that of the supply system.

18.3.3 *Phase-to-phase insulation of the capacitor bank*

Insulation between line connections shall have an insulation level according to Table IIIA, Table IIIB, Table IV or Table V.

Insulation between racks (units, connections, etc.) mounted in different phases shall be designed to have an appropriate proportion of the whole insulation.

Note. — If the damping reactors are connected as described in the note of Sub-clause 18.3.2 the insulation between phases should not be impaired.

18.4 *Units and/or banks connected to single phases*

Units and/or banks connected to single phases shall have their insulation levels chosen as follows:

18.4.1 *Connection to two lines of a three-phase system*

Insulation levels, test voltages, etc., shall be chosen as for a complete three-phase bank.

18.4.2 Connexion à un réseau monophasé vrai

Il existe deux possibilités:

- pour les connexions entre ligne et terre, les niveaux d'isolement des unités ou des batteries doivent être choisis comme s'il s'agissait d'une phase entre ligne et terre d'un réseau triphasé ayant une tension entre lignes égale à $\sqrt{3}$ fois la tension entre ligne et terre du réseau monophasé;
- pour les connexions entre potentiels isolés de la terre, les niveaux d'isolement des unités ou des batteries doivent être les mêmes que pour les unités des phases d'une batterie connectée en triangle dans un réseau triphasé.

TABLEAU IIIA

Niveaux normaux d'isolement pour $U_m < 52 \text{ kV}$

Série I (d'après la pratique courante dans la plupart des pays d'Europe et dans certains autres pays)

Tension la plus élevée pour le matériel U_m (eff.)	Tension assignée de tenue au choc de foudre (crête)		Tension assignée de tenue de courte durée à fréquence industrielle (eff.)
	Liste 1	Liste 2	
kV	kV	kV	kV
1,2	—	25 ¹⁾	6
2,4	—	35 ¹⁾	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

¹⁾ Ne s'applique pas aux circuits non exposés.

On peut choisir entre les valeurs de la liste 1 et de la liste 2 en tenant compte des informations qui figurent dans les Publications 71-1 et 71-2 de la CEI.

TABLEAU IIIB

Niveaux normaux d'isolement pour $U_m < 52 \text{ kV}$

Série II (d'après la pratique courante dans certains pays d'Amérique du Nord et autres pays)

Tension la plus élevée pour le matériel U_m (eff.)	Tension assignée de tenue au choc de foudre (crête)	Tension assignée de tenue de courte durée à fréquence industrielle (eff.)
kV	kV	kV
1,30	30 ¹⁾	6
2,75	45 ¹⁾	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

¹⁾ Ne s'applique pas aux circuits non exposés.

18.4.2 Connection to a true single-phase system

Two possibilities exist:

- if connected between line and earth the insulation levels for the unit/bank shall be chosen as if this was a line-to-earth phase of a three-phase system having a line-to-line voltage equal to $\sqrt{3}$ times the line-to-earth voltage of the single-phase system;
- if connected between potentials isolated from earth the unit/bank shall have the same insulation levels as a unit/phase of a bank which is delta-connected in a three-phase system.

TABLE IIIA

Standard insulation levels for $U_m < 52 \text{ kV}$

Serie 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 power-frequency short duration withstand voltage (r.m.s.)
	List 1	List 2	
kV	kV	kV	kV
1.2	—	25 ¹⁾	6
2.4	—	35 ¹⁾	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

¹⁾ Does not apply to non-exposed circuits.

The choice between the values of List 1 and List 2 may be made, taking into account the information given in IEC Publications 71-1 and 71-2.

TABLE IIIB

Standard insulation levels for $U_m < 52 \text{ kV}$

Serie 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 power-frequency short duration withstand voltage (r.m.s.)
kV	kV	kV
1.30	30 ¹⁾	6
2.75	45 ¹⁾	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

¹⁾ Does not apply to non-exposed circuits.

TABLEAU IV

Niveaux normaux d'isolement pour $52 \text{ kV} \leq U_m < 300 \text{ kV}$

1	2	3	4
Tension la plus élevée pour le matériel U_m (eff.)	Base des valeurs en pour un (p.u.) $U_m \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$ (crête)	Tension assignée de tenue au choc de foudre (crête)	Tension assignée de tenue de courte durée à fréquence industrielle (eff.)
kV	kV	kV	kV
52	42,5	250	95
72,5	59	325	140
123	100	450	185
145	118	550	230
170	139	650	275
245	200	750	325
		850	360
		950	395
		1 050	460

Ce tableau associe un ou plusieurs niveaux d'isolement recommandés pour chaque valeur normale de tension la plus élevée pour le matériel.

On ne doit pas employer de tensions d'essai de valeurs intermédiaires.

Dans un même réseau, il peut exister différents niveaux d'isolement en fonction d'installations situées à des endroits différents ou des divers matériels situés dans la même installation. Se reporter à la Publication 71 de la CEI pour choisir les niveaux d'isolement en rapport avec les conditions particulières de l'installation.

TABLE IV

Standard insulation levels for $52 \text{ kV} \leq U_m < 300 \text{ kV}$

1	2	3	4
Highest voltage for equipment U_m (r.m.s.)	Base for per unit (p.u.) values $U_m \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$ (peak)	Rated lightning impulse withstand voltage (peak)	Rated power-frequency short duration withstand voltage (r.m.s.)
kV	kV	kV	kV
52	42.5	250	95
72.5	59	325	140
123	100	450	185
145	118	550	230
170	139	650	275
245	200	750	325
		850	360
		950	395
		1 050	460

The table associates one or more recommended insulation levels with each standard value of the highest voltage for equipment.

Intermediate test voltages shall not be employed.

Several insulation levels may exist in the same system appropriate to installations situated in different locations or to various equipments situated in the same installation. For the selection of the insulation given by the level in relation to the particular conditions of the installation, see IEC Publication 71.

TABLEAU V
Niveaux normaux d'isolement pour $U_m \geq 300 \text{ kV}$

1	2	3	4	5	6
Tension la plus élevée pour le matériel U_m (eff.)	Base des valeurs en pour un (p.u.) $U_m \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$ (crête)	Tension assignée de tenue aux chocs de manœuvre (crête)		Rapport entre tensions assignées de tenue aux chocs de foudre et de manœuvre	Tension assignée de tenue au choc de foudre (crête)
kV	kV	p.u.	kV		kV
300	245	3,06	750	1,13	850
				1,27	
		3,47		1,12	950
362	296	2,86	850	1,24	
		3,21		1,11	1 050
			950	1,24	
420	343	2,76		1,12	1 175
		3,06		1,24	
		2,45	1 050	1,11	1 300
525	429	2,74		1,36	
		2,08	1 175	1,21	1 425
				1,10	
			1 300	1,32	
				1,19	1 550
				1,09	
765	625	2,28	1 425	1,38	
		2,48		1,26	1 800
			1 550	1,16	
				1,26	1 950
				1,47	2 100
				1,55	2 400

Notes 1. — On trouvera dans la deuxième édition de la Publication 71-2 de la CEI, la discussion du choix des tensions assignées de tenue aux chocs de manœuvre.

2. — Le choix de la plage des tensions assignées de tenue au choc de foudre du tableau V en association avec une valeur particulière de tension assignée de tenue aux chocs de manœuvre a été établi d'après les considérations ci-après:

a) Les deux valeurs les plus faibles de la tension de tenue au choc de foudre s'appliquent aux équipements protégés par des parafoudres.

Elles ont été choisies en tenant compte du rapport des niveaux de protection contre les chocs de foudre à ceux des chocs de manœuvre susceptibles d'être assurés avec les parafoudres et en ajoutant les marges appropriées qui peuvent être particulièrement nécessaires à cause de l'effet plus important de la distance séparant les parafoudres et l'appareil protégé sur le niveau de protection réalisable pour les chocs de foudre en regard du même niveau pour les chocs de manœuvre.

b) Pour les équipements qui ne sont pas protégés par des parafoudres (ou qui ne le sont pas efficacement), seule la valeur la plus élevée des tensions de tenue au choc de foudre est à utiliser. Ces valeurs supérieures se fondent sur le rapport qui est normalement obtenu entre les tensions de tenue au choc de foudre et aux chocs de manœuvre pour l'isolement externe de l'appareillage (soit disjonc-

TABLE V
Standard insulation levels for $U_m \geq 300$ kV

1	2	3	4	5	6
Highest voltage for equipment U_m (r.m.s.)	Base for p.u. values $U_m \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$ (peak)	Rated switching impulse withstand voltage (peak)		Ratio between rated lightning and switching impulse withstand voltages	Rated lightning impulse withstand voltage (peak)
kV	kV	p.u.	kV		kV
300	245	3.06	750	1.13	850
				1.27	950
362	296	3.47	850	1.12	
		2.86		1.24	1 050
		3.21	950	1.11	
420	343	2.76		1.24	1 175
		3.06	1 050	1.12	
		2.45		1.24	1 300
525	429	2.74	1 175	1.11	
		2.08	1 300	1.36	1 425
				1.21	
				1.10	
				1.32	1 550
765	625	2.28	1 425	1.19	
		2.48	1 550	1.09	
				1.38	1 800
				1.26	
				1.16	1 950
				1.26	
				1.47	2 100
				1.55	2 400

Notes 1. — A discussion of the selection of rated switching impulse withstand voltages will be found in the second edition of IEC Publication 71-2.

2. — The range of rated lightning impulse withstand voltages in Table V, associated with a particular rated switching impulse withstand voltage has been chosen on the basis of the following considerations:

a) For equipment protected by surge arresters, the two lower values of lightning impulse withstand voltages are applicable.

They have been chosen by taking into account the ratio of lightning impulse protective levels to switching impulse protective levels likely to be achieved with surge arresters, and by adding appropriate margins which may be particularly necessary in view of the greater influence of the distance separating the surge arresters and the protected apparatus at the protection level achievable for lightning impulses as compared with that for switching impulses.

b) For equipment not protected by surge arresters (or not effectively protected), only the highest value of lightning impulse withstand voltages should be used. These highest values are based on the ratio that is normally obtained between the lightning and switching impulse withstand voltages of the external insulation of apparatus (e.g. circuit-breakers, disconnecting switches, instrument trans-

teurs, sectionneurs, transformateurs de mesures, etc.). Ces valeurs ont été choisies de manière que la conception de l'isolement soit principalement déterminée par la capacité de l'isolement externe à supporter les tensions d'essai aux chocs de manœuvre.

- c) Dans quelques cas extrêmes, on a prévu une valeur plus élevée pour la tension de tenue au choc de foudre. Cette valeur est à prendre dans la série des valeurs normalisées indiquées dans la Publication 71-1 de la CEI.

SECTION QUATRE — SURCHARGES

19. Tension maximale admissible

19.1 Tension de longue durée

Les condensateurs unitaires doivent pouvoir être utilisés aux niveaux de tension indiqués dans le tableau VI (articles 28 et 31).

TABLEAU VI

Type	Facteur de tension $\times U_N$ (eff.)	Durée maximale	Remarques
Fréquence industrielle	1,00	En permanence	Valeur moyenne la plus élevée pendant une période quelconque de mise sous tension du condensateur. Pour les périodes de mise sous tension inférieures à 24 h, les exceptions conformes aux valeurs ci-dessous (article 28) sont applicables
Fréquence industrielle	1,10	12 h par période de 24 h	Régulation et fluctuation de la tension du réseau
Fréquence industrielle	1,15	30 min par période de 24 h	Régulation et fluctuation de la tension du réseau
Fréquence industrielle	1,20	5 min	Remontée de tension sur allègement de charge (voir article 28)
Fréquence industrielle	1,30	1 min	
Fréquence industrielle plus harmoniques	Valeur telle que le courant ne dépasse pas la valeur indiquée à l'article 20 (voir également articles 32 et 33)		

Les amplitudes des surtensions qui peuvent être tolérées sans dégradation notable des condensateurs dépendent de leur durée, de leur nombre total et de la température des condensateurs (article 28). On suppose que les surtensions indiquées dans le tableau VI et dont la valeur est supérieure à $1,15 U_N$ ne se produisent pas plus de 200 fois dans la durée de service totale du condensateur.

19.2 Tensions de manœuvre

La tension résiduelle présente sur un condensateur avant mise sous tension ne doit pas dépasser 10% de la valeur de sa tension assignée (paragraphe 4.1 a)). La mise sous tension d'une batterie de condensateurs par un disjoncteur sans réamorçage entraîne généralement une surtension transitoire, dont la première crête ne dépasse pas $2\sqrt{2}$ fois la tension appliquée (en valeur efficace) pendant une durée maximale d'un demi-cycle.

On suppose que les condensateurs peuvent être commutés 1 000 fois par an de cette manière et dans ces conditions. (La crête de surintensité transitoire associée peut atteindre 100 fois I_N . Voir paragraphe 32.2.)

formers, etc.). They were chosen in such a way that the insulation design will be determined mainly by the ability of the external insulation to withstand the switching impulse test voltages.

- c) In a few extreme cases, provision has to be made for a higher value of lightning impulse withstand voltage. This higher value should be chosen from the series of standard values given in IEC Publication 71-1.

SECTION FOUR — OVERLOADS

19. Maximum permissible voltage

19.1 Long duration voltages

Capacitor units shall be suitable for operation at voltage levels according to Table VI (Clauses 28 and 31).

TABLE VI

Type	Voltage factor $\times U_N$ (r.m.s.)	Maximum duration	Observation
Power frequency	1.00	Continuous	Highest average value during any period of capacitor energization. For energization periods less than 24 h exceptions apply in accordance with the values below (Clause 28)
Power frequency	1.10	12 h in every 24 h	System voltage regulation and fluctuations
Power frequency	1.15	30 min in every 24 h	System voltage regulation and fluctuations
Power frequency	1.20	5 min	Voltage rise at light load (see Clause 28)
Power frequency	1.30	1 min	
Power frequency plus harmonics	Such that the current does not exceed the value given in Clause 20 (see also Clauses 32 and 33)		

The amplitudes of the overvoltages that may be tolerated without significant deterioration of the capacitor depend on their duration, their total number and the capacitor temperature (Clause 28). It is assumed that the overvoltages given in Table VI and having a value higher than $1.15 U_N$ occur not more than 200 times in the capacitor's life.

19.2 Switching voltages

The residual voltage on a capacitor prior to energization shall not exceed 10% of the rated voltage (Sub-clause 4.1 a)). The energization of a capacitor bank by a restrike-free circuit breaker usually causes a transient overvoltage, the first peak of which does not exceed $2\sqrt{2}$ times the applied voltage (r.m.s. value) for a maximum duration of $\frac{1}{2}$ cycle.

It is assumed that the capacitors may be switched 1 000 times per year under these conditions. (The associated peak transient overcurrent may reach 100 times the value I_N . See Sub-clause 32.2.)

Dans le cas où les condensateurs sont commutés plus fréquemment, les valeurs d'amplitude et de durée des surtensions comme des surintensités transitoires doivent être limitées à des niveaux plus faibles. Ces limitations et/ou réductions doivent faire l'objet d'un accord consigné au contrat.

20. Courant maximal admissible

Les condensateurs unitaires doivent pouvoir fonctionner de manière permanente sous un courant efficace valant 1,30 fois le courant engendré par la tension sinusoïdale assignée et la fréquence assignée, transitoires exclus. En fonction de la valeur réelle de la capacité, qui peut être de $1,15 C_N$ au maximum, le courant maximal peut atteindre $1,5 I_N$ (article 32).

Ces facteurs de surintensité sont destinés à tenir compte des effets combinés dus aux harmoniques et aux surtensions jusqu'à $1,10 U_N$ inclus, selon les dispositions du paragraphe 19.1.

SECTION CINQ — RÈGLES DE SÉCURITÉ

21. Dispositifs de décharge

Chaque condensateur unitaire doit être équipé d'un dispositif permettant de le décharger à une tension au plus égale à 75 V à partir d'une tension de crête initiale égale à $\sqrt{2}$ fois la tension assignée U_N .

Cette règle s'applique aux batteries dont la tension assignée est inférieure ou égale à 25 kV. La durée maximale de décharge est de 10 min pour les condensateurs comme pour les batteries.

Il ne doit y avoir aucun interrupteur, coupe-circuit à fusibles ou autre dispositif de sectionnement entre le condensateur unitaire et/ou la batterie et le dispositif de décharge défini ci-dessus.

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

Notes 1. — Un condensateur directement relié à un autre appareil électrique qui assure sa décharge est considéré comme convenablement déchargé si les caractéristiques du circuit satisfont aux règles de décharge.

2. — La durée de décharge de 10 min par batterie jusqu'à 25 kV impose une décharge de durée plus courte pour les condensateurs unitaires quand la batterie est constituée d'unités connectées en série.

3. — Pour les batteries dont la tension assignée est supérieure à 25 kV, dans lesquelles les unités sont généralement connectées en série, la tension aux bornes de la batterie peut être supérieure à 75 V au bout de 10 min de décharge par suite de l'effet cumulatif des tensions résiduelles de chaque unité. La durée de décharge à 75 V pour la batterie devra être déclarée par le constructeur dans la notice d'instruction ou sur une plaque signalétique.

4. — Dans certains pays, des durées de décharge plus réduites et des tensions plus faibles sont de règle. Dans ce cas, l'utilisateur devra en informer le constructeur.

5. — Les circuits de décharge devront avoir la capacité de débit suffisante pour décharger le condensateur à partir d'une surtension de crête de $1,3 U_N$ selon les dispositions de l'article 19.

6. — Un défaut électrique dans une unité protégée par un fusible ou un contournement d'une partie de la batterie peut produire dans cette dernière des charges résiduelles qui ne peuvent pas être déchargées dans la durée prescrite au moyen d'un dispositif de décharge connecté entre les bornes de la batterie.

7. — L'annexe A donne une formule pour calculer la résistance de décharge.

22. Connexions de masse

Pour pouvoir fixer le potentiel de l'enveloppe métallique du condensateur et évacuer le courant de défaut en cas de claquage du condensateur à la cuve, celle-ci doit comporter un moyen de connexion réalisé au minimum par un boulon de dimension M 10 ou équivalent.

In the case of capacitors which are switched more frequently, the values of the overvoltage amplitude and duration and the transient overcurrent shall be limited to lower levels. These limitations and/or reductions shall be agreed upon in the contract.

20. Maximum permissible current

Capacitor units shall be suitable for continuous operation at an r.m.s. current of 1.30 times the current that occurs at rated sinusoidal voltage and rated frequency, excluding transients. Depending on the actual capacitance value, which may be a maximum of $1.15 C_N$, the maximum current can reach $1.5 I_N$ (Clause 32).

These overcurrent factors are intended to take care of the combined effects due to harmonics and overvoltages up to and including $1.10 U_N$ according to Sub-clause 19.1.

SECTION FIVE — SAFETY REQUIREMENTS

21. Discharge devices

Each capacitor unit shall be provided with means for discharging to 75 V or less from an initial peak voltage of $\sqrt{2}$ times rated voltage U_N .

The above requirement applies to banks with a voltage rating of up to and including 25 kV. The maximum discharge time is 10 min for both capacitors and banks.

There must be no switch, fuse, or any other isolating device between the capacitor unit and/or bank and the discharging device as defined above.

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

Notes 1. — Capacitors connected directly to other electrical equipment providing a discharge path should be considered properly discharged, provided that the circuit characteristics are such as to meet the discharge requirements.

2. — A discharge time of 10 min per bank, up to 25 kV, requires a discharge time shorter than 10 min for individual capacitor units when the bank is composed of units connected in series.

3. — For banks having a rated voltage higher than 25 kV in which capacitor units usually are connected in series the voltage across the bank terminals may be higher than 75 V after 10 min due to the cumulative effect of the residual voltages for each unit. The discharge time to 75 V for the bank shall be stated by the manufacturer in the instruction sheet or on a rating plate.

4. — In certain countries smaller discharge times and voltages are required. In this event, the purchaser should inform the manufacturer.

5. — Discharge circuits should have adequate current carrying capacity to discharge the capacitor from the peak of the $1.3 U_N$ overvoltage according to Clause 19.

6. — An electrical fault in a unit protected by a fuse, or a flashover across part of the bank, can produce local residual charges inside the bank which cannot be discharged within the specified time by means of a discharge device connected between the terminals of the bank.

7. — A formula for the calculation of the discharge resistance is given in Appendix A.

22. Container connections

To enable the potential of the metal container of the capacitor to be fixed, and to be able to carry the fault current in the event of a breakdown to the container, the container shall have provision for connection by means of a bolt of thread size at least M 10 or equivalent.

23. Protection de l'environnement

Des précautions doivent être prises avec les condensateurs imprégnés de matériaux qui ne doivent pas être dispersés dans l'environnement. Il existe dans certains pays des dispositions légales à ce propos (voir paragraphe 25.3 et annexe B).

24. Autres règles de sécurité

L'acheteur doit spécifier lors de l'appel d'offres toute prescription spéciale résultant des règles de sécurité en vigueur dans le pays où les condensateurs doivent être installés.

SECTION SIX — MARQUAGE

25. Marquage des condensateurs unitaires

25.1 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. Puissance assignée Q_N en kilovars.
On doit indiquer la puissance totale pour les unités triphasées (voir annexe A).
4. Tension assignée U_N en volts ou kilovolts.
5. Fréquence assignée f_N en hertz.
6. Catégorie de température (voir le paragraphe 4.1).
7. Le dispositif de décharge éventuellement incorporé doit être indiqué en toutes lettres, ou par le symbole $\text{—} \square \text{—}$, ou encore par sa valeur ohmique assignée.
8. Niveau d'isolement U_i en kilovolts (uniquement pour les condensateurs unitaires dont toutes les bornes sont isolées de la cuve).
Le marquage du niveau d'isolement se fait au moyen de deux nombres séparés par une barre, le premier nombre étant l'indication de la valeur efficace de la tension d'essai à fréquence industrielle exprimée en kilovolts et le deuxième, la valeur de crête de la tension d'essai de choc, exprimée également en kilovolts (par exemple 28/75, voir article 18).
Ceci ne s'applique pas aux unités dont une borne est connectée en permanence à la cuve et qui ne sont pas essayées selon les dispositions de l'article 16.
9. Le symbole de connexion.
A l'exception des condensateurs monophasés n'ayant qu'une seule capacité, tous les condensateurs doivent comporter l'indication de leur schéma de connexion.
Le paragraphe 25.2 indique les symboles de connexion normalisés.
10. La présence éventuelle de coupe-circuit fusibles internes doit être indiquée en toutes lettres ou par le symbole $\text{—} \square \text{—}$.
11. Produit chimique servant à l'imprégnation ou sa désignation commerciale. (Ce renseignement doit être porté sur la plaque signalétique; voir paragraphe 25.3.)
12. Référence à la Publication 871 de la CEI (avec année d'édition).

Note. — Sur demande de l'acheteur, la capacité mesurée doit être indiquée, soit en valeur absolue, soit en pourcentage, ou encore par un symbole.

23. Protection of the environment

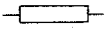
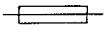
When capacitors are impregnated with materials that must not be dispersed into the environment, precautions shall be taken. In some countries, there are legal requirements in this respect. (See Sub-clause 25.3 and Appendix B.)

24. 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 SIX — MARKINGS**25. Markings of the unit****25.1 Rating plate**

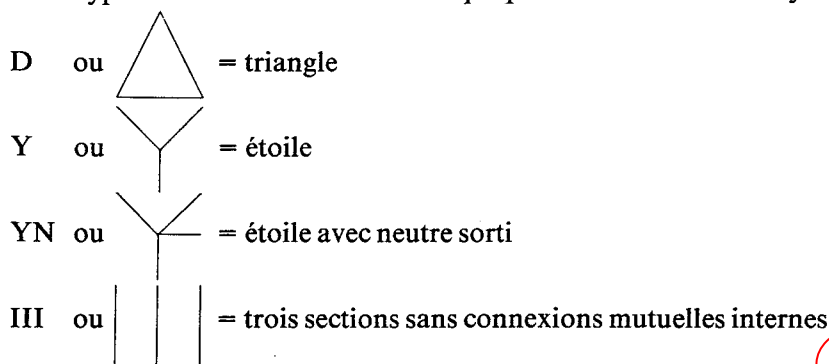
The following information shall be given on the rating plate of each capacitor unit:

1. Manufacturer.
2. Identification number and manufacturing year.
The year may be a part of identification number or be in code form.
3. Rated output Q_N in kilovars.
For three-phase units the total output shall be given (see Appendix A).
4. Rated voltage U_N in volts or kilovolts.
5. Rated frequency f_N in hertz.
6. Temperature category (see Sub-clause 4.1).
7. Discharge device, if internal, shall be indicated by wording or by the symbol  or by the rated ohmic value.
8. Insulation level U_i in kilovolts (only for units having all terminals insulated from the container).
The insulation level shall be marked by means of two numbers separated by a stroke, the first number giving the r.m.s. value of the power-frequency test voltage, in kilovolts, and the second number giving the crest value of the impulse test voltage, in kilovolts (for example 28/75) (see Clause 18).
For units having one terminal permanently connected to the container and not tested according to Clause 16 this information is not applicable.
9. Connection symbol.
All capacitors, except single-phase having one capacitance only, shall have their connection indicated.
For standardized connection symbols, see Sub-clause 25.2.
10. Internal fuses, if included, shall be indicated by wording or by the symbol .
11. Chemical or trade name of impregnant. (This indication shall be stated on the warning plate. See Sub-clause 25.3.)
12. Reference to IEC Publication 871 (plus year of issue).

Note. — On request of the purchaser, the measured capacitance shall be indicated either in absolute value, or in percentage, or by symbols.

25.2 Symboles de connexion normalisés

Le type de connexion doit être indiqué par des lettres ou au moyen des symboles ci-après:



25.3 Plaque d'avertissement

Si le condensateur unitaire contient des matériaux qui risquent de polluer l'environnement (article 23) ou qui peuvent être dangereux d'autre façon (par exemple en raison de leur inflammabilité), il doit être pourvu d'une étiquette conforme aux règlements correspondants du pays d'utilisation. L'acheteur doit informer le constructeur des dispositions de ces règlements.

Se reporter à l'annexe B pour les condensateurs imprégnés avec un diphényle polychloré.

26. Marquage des batteries de condensateurs

26.1 Notice d'instructions ou plaque signalétique

Les informations minimales ci-après doivent être données par le constructeur dans une notice d'instruction ou, en variante et sur demande de l'acheteur, sur une plaque signalétique:

1. Constructeur.
2. Puissance assignée Q_N en mégavars.
La puissance totale doit être indiquée.
3. Tension assignée U_N en kilovolts.
4. Niveau d'isolement U_i .

Le marquage du niveau d'isolement se fait au moyen de deux nombres séparés par une barre, le premier nombre étant l'indication de la valeur efficace de la tension assignée de tenue à fréquence industrielle de courte durée (pour $U_m < 300$ kV) ou la valeur de crête de la tension assignée de tenue au choc de manœuvre (pour $U_m \geq 300$ kV), valeurs exprimées en kilovolts, et le deuxième, la valeur de crête de la tension assignée de tenue au choc de foudre exprimée également en kilovolts (par exemple 185/450).

5. Le symbole de connexion.

Le paragraphe 25.2 indique les symboles de connexion normalisés.

Le symbole de connexion peut faire partie d'un schéma de connexion simplifié représentant par exemple la protection contre les déséquilibres, les bobines d'amortissement, etc.

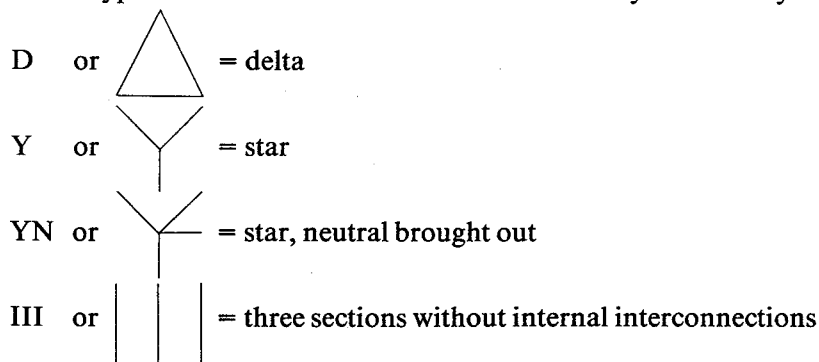
6. La durée minimale requise entre la déconnexion de la batterie et sa remise sous tension (voir paragraphe 4.1 a) et annexe A).
7. La durée de décharge à 75 V (dans le cas de batteries dont la tension assignée dépasse 25 kV).

26.2 Plaque signalétique

Les dispositions du paragraphe 25.3 s'appliquent également aux batteries de condensateurs.

25.2 Standardized connection symbols

The type of connection shall be indicated either by letters or by the following symbols:



25.3 Warning plate

If the capacitor unit contains material which may pollute the environment (Clause 23) or may be hazardous in any other way (for example flammability), the unit shall be equipped with a label according to the relevant laws of the country of the user. The purchaser shall inform the manufacturer about such law(s).

Regarding capacitors with polychlorobiphenyl impregnant, see Appendix B.

26. Markings of the bank

26.1 Instruction sheet or rating plate

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

1. Manufacturer.
2. Rated output Q_N in megavars.
Total output to be given.
3. Rated voltage U_N in kilovolts.
4. Insulation level U_i .

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

5. Connection symbol.

For standardized connection symbol see Sub-clause 25.2.

The connection symbol may be part of a simplified connection diagram showing for example unbalance protection, damping reactors, etc.

6. Minimum time required between disconnection and reclosure of the bank (see Sub-clause 4.1 a), and Appendix A).
7. Time to discharge to 75 V (in the case of banks rated above 25 kV).

26.2 Warning plate

Sub-clause 25.3 is also valid for the bank.

SECTION SEPT — GUIDE D'INSTALLATION ET D'EXPLOITATION

27. Généralités

Différant de la plupart des appareils électriques, une fois sous tension, les condensateurs shunt fonctionnent en permanence à pleine charge ou à des charges qui ne s'écartent de la pleine charge qu'en fonction des variations de tension et de fréquence.

Les contraintes et les températures excessives raccourcissent la durée de vie des condensateurs et c'est pourquoi il convient que les conditions de fonctionnement (c'est-à-dire la température, la tension et le courant) soient strictement spécifiées et contrôlées.

Il faut noter que l'introduction d'une capacité concentrée dans un réseau peut entraîner des conditions de fonctionnement néfastes (par exemple amplification des harmoniques, auto-excitation de machines, surtensions de manœuvre, mauvais fonctionnement d'appareils à fréquences acoustiques commandés à distance, etc.).

Les divers types de condensateurs et les nombreux facteurs qui interviennent rendent impossible de couvrir la totalité des cas d'installation et de fonctionnement par des règles simples. Les informations qui suivent concernant les points les plus importants à considérer.

En outre, il convient de suivre les recommandations du constructeur ainsi que celles du fournisseur d'électricité et particulièrement les recommandations qui portent sur la commutation des condensateurs quand le réseau est peu chargé.

28. Choix de la tension assignée

Il convient que la tension assignée du condensateur n'ait pas une valeur inférieure à la tension maximale de fonctionnement du réseau auquel il doit être connecté, compte tenu de l'influence du condensateur lui-même.

Dans certains réseaux, il peut exister une différence considérable entre les tensions assignée et opérative du réseau; ces données doivent être fournies par l'acheteur de manière que le constructeur puisse prévoir les marges nécessaires. Cela importe pour les condensateurs, étant donné que leurs caractéristiques fonctionnelles comme leur durée de vie risquent d'être défavorablement affectées par un accroissement indésirable de la tension présente sur le diélectrique du condensateur.

Quand des éléments inductifs sont placés en série avec le condensateur pour, entre autres, réduire les effets des harmoniques, l'augmentation résultante de la tension aux bornes du condensateur par rapport à la tension du réseau nécessite d'augmenter la tension assignée du condensateur de manière correspondante.

Si aucune information ne s'y oppose, on prendra comme tension de fonctionnement la tension assignée ou déclarée du réseau.

Pour déterminer la valeur de la tension présente aux bornes du condensateur, il convient de tenir compte de ce qui suit:

- les condensateurs shunt peuvent causer une augmentation de tension à l'endroit du réseau où ils sont installés (annexe A). Cette augmentation de la tension peut être accrue en présence d'harmoniques. Les condensateurs risquent donc de fonctionner à une tension supérieure à celle qui a été mesurée avant de les connecter;
- la tension présente aux bornes du condensateur peut être particulièrement élevée au moment où le réseau est peu chargé (voir annexe A). Il convient dans ce cas de pouvoir mettre le condensateur hors circuit totalement ou partiellement afin d'éviter des contraintes excessives sur les unités ainsi qu'un accroissement indésirable de la tension du réseau.

SECTION SEVEN — GUIDE FOR INSTALLATION AND OPERATION

27. General

Unlike most electrical apparatus, shunt capacitors, whenever energized, operate continuously at full load, or at loads that deviate from this value only as a result of voltage and frequency variations.

Overstressing and overheating shorten the life of a capacitor, and therefore the operating conditions (i.e. temperature, voltage and current) should be strictly controlled and specified.

It should be noted that the introduction of local capacitance in a system may produce unsatisfactory operating conditions (for example amplification of harmonics, self-excitation of machines, overvoltages due to switching, unsatisfactory working of audio-frequency remote-control apparatus, etc.).

Because of the different types of capacitor and the many factors involved, it is not possible to cover, by simple rules, installation and operation in all possible cases. The following information is given with regard to the more important points to be considered.

In addition, the recommendations of the manufacturer and the power supply authorities should be followed, especially those concerning the switching of capacitors when the network is under light load conditions.

28. Choice of the rated voltage

The rated voltage of the capacitor should be not less than the maximum operating voltage of the network to which the capacitor is to be connected, account being taken of the influence of the capacitor itself.

In certain networks, a considerable difference may exist between the operating and rated voltage of the network, details of which should be provided by the purchaser, so that due allowance can be made by the manufacturer. This is of importance for capacitors, since their performance and life may be adversely affected by an undue increase of the voltage across the capacitor dielectric.

Where inductive elements are inserted in series with the capacitor to reduce the effects of harmonics, etc., the resultant increase of the voltage at the capacitor terminals above the operating voltage of the network requires a corresponding increase in the rated voltage of the capacitor.

If no information to the contrary is available, the operating voltage should be assumed as equal to the rated or declared voltage of the network.

When determining the voltage to be expected on the capacitor terminals, the following considerations should be taken into account:

- shunt-connected capacitors may cause a voltage increase in the network where they are located (Appendix A). This voltage increase may be greater due to the presence of harmonics. Capacitors are therefore liable to operate at a higher voltage than that measured before connecting the capacitors;
- the voltage at the capacitor terminals may be particularly high at times of light load (see Appendix A). In this case, the whole or part of the capacitor should be switched off in order to prevent overstressing of the capacitor units and undue voltage increase in the network.

Ce n'est qu'en cas d'urgence que les condensateurs devront travailler simultanément à la surtension maximale admissible et au maximum de température ambiante et cela seulement pour des périodes de courte durée.

- Notes* 1. — Il convient d'éviter les marges de sécurité excessives dans le choix de la tension assignée U_N , car elles peuvent entraîner une diminution de la puissance.
2. — Se reporter à l'article 19 pour la tension maximale admissible.
3. — Il convient de prévoir l'influence des tolérances sur les capacités unitaires qui peut affecter la valeur de la tension de fonctionnement avec les ensembles connectés en série ou en étoile. L'ouverture de coupe-circuit à fusibles des condensateurs augmente également la tension de fonctionnement présente sur les unités restantes qui sont connectées en parallèle.

29. Température de service

29.1 Généralités

L'attention doit être attirée sur la température de service la plus élevée du condensateur, car celle-ci a une grande influence sur sa durée de vie.

Si le diélectrique du condensateur descend à une température plus basse que la limite inférieure de sa catégorie, des décharges partielles risquent d'apparaître dans le diélectrique, non seulement à la mise sous tension initiale du condensateur, mais également en cours de service quand de faibles pertes diélectriques ne causent qu'un échauffement négligeable du condensateur.

Note. — Si les pertes doivent être évaluées, il est recommandé de prendre la température ambiante moyenne comme température de référence en tenant compte de la puissance du condensateur pour différentes périodes de l'année ou pour la période de service. Il est également possible de définir les pertes pour plusieurs températures ambiantes et de calculer leur valeur moyenne.

Il convient de tenir compte dans les calculs de tous les éléments affectés de pertes, comme les coupe-circuit à fusibles externes, les bobines, etc., pour estimer les pertes totales des batteries.

29.2 Conditions de l'installation

Il convient de disposer les condensateurs de manière à permettre une bonne évacuation par rayonnement et par convection de la chaleur produite par les pertes. La ventilation des cellules, s'il y a lieu, et la disposition des condensateurs unitaires doivent assurer une bonne circulation de l'air autour des unités. Cela est particulièrement important pour les unités disposées en rangées superposées.

La température des condensateurs soumis au rayonnement solaire ou au rayonnement d'une surface quelconque à température élevée se trouve augmentée. Suivant la température de l'air de refroidissement, l'intensité et la durée du rayonnement, il peut être nécessaire de choisir l'une ou plusieurs des précautions suivantes:

- protéger les condensateurs contre le rayonnement;
- choisir un condensateur conçu pour une température de l'air ambiant plus élevée (par exemple catégorie -5/B au lieu de -5/A) ou spécialement étudié;
- utiliser des condensateurs prévus pour une tension assignée supérieure à celle qui est choisie d'après les dispositions de l'article 28;
- faire appel au refroidissement par air forcé.

Les condensateurs installés à haute altitude (plus de 1 000 m) travaillent dans des conditions de dissipation thermique de convection réduite dont il convient de tenir compte pour déterminer la puissance des unités. Toutefois, à de telles altitudes, la température ambiante est généralement plus basse (voir également le paragraphe 34.1).

29.3 Air à température ambiante élevée

Les condensateurs assortis du symbole C conviennent généralement à la majorité des utilisations dans des conditions tropicales. Dans certains emplacements toutefois, la température de l'air ambiant peut imposer l'emploi d'un condensateur de symbole D. Le cas peut aussi se

Only in case of emergency should capacitors simultaneously be operated at maximum permissible overvoltage and maximum ambient temperature and then only for short periods of time.

Notes 1. — An excessive safety margin in the choice of the rated voltage U_N should be avoided, because this would result in a decrease of output.

2. — See Clause 19 concerning maximum permissible voltage.

3. — Allowance should be made for the effect of unit capacitance tolerance on the operating voltage in series or star connected assemblies. The operation of capacitor fuses will also increase the operating voltage on the remaining parallel connected units.

29. Operating temperature

29.1 General

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

When the capacitor dielectric reaches a temperature below the lower limit of its category, there may be the danger of initiating partial discharges in the dielectric, not only when the capacitor is initially energized but also during service when the capacitor has low dielectric losses causing a negligible temperature rise.

Note. — If losses are to be evaluated, it is recommended that, as a reference temperature, the average ambient temperature is used, with due regard to the output of the capacitor for different periods of the year or the service period. It is also possible to define losses at several ambient temperatures and calculate their mean value.

All loss-producing accessories, such as external fuses, reactors, etc., should be included in calculation of total bank losses.

29.2 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. This is of importance for units mounted in rows above each other.

The temperature of capacitors subjected to radiation from the sun or from any high-temperature surface will be increased. Depending on the cooling-air temperature, the intensity of the cooling and the intensity and duration of the radiation, it may be necessary to use one or more of the following remedies:

- to protect the capacitors from radiation;
- to choose a capacitor designed for a higher ambient air temperature (for example category –5/B instead of –5/A, or which is otherwise suitably designed);
- to employ capacitors with rated voltage higher than that resulting from Clause 28;
- to employ forced air cooling.

Capacitors installed at high altitudes (more than 1 000 m) will be subject to decreased convective heat dissipation, which should be considered when determining the output of the units. The ambient temperature, however, is usually lower at such an altitude (see also Sub-clause 34.1).

29.3 High ambient air temperature

Capacitors for symbol C are generally suitable for the majority of applications under tropical conditions. In some locations, however, the ambient air temperature may be such that a symbol D capacitor is required. The latter may also be needed for those cases where the

présenter quand les condensateurs sont fréquemment soumis au rayonnement solaire pendant plusieurs heures (par exemple dans les territoires désertiques), même si la température ambiante n'est pas excessive (paragraphe 29.2).

Dans les cas exceptionnels, la température de l'air ambiant peut être supérieure au maximum de 55°C ou atteindre une moyenne journalière de 45°C. S'il est impossible d'améliorer les conditions de refroidissement, il y a lieu de choisir des condensateurs spécialement étudiés ou dont la tension assignée est supérieure.

30. Conditions spéciales

Pour compléter les conditions dont traite l'article 29, le constructeur devra être informé par l'acheteur des conditions spéciales de service telles que:

- *Humidité relative élevée*
Il peut être nécessaire d'utiliser des isolateurs spécialement étudiés. L'attention est attirée sur les possibilités de shuntage des coupe-circuit à fusibles externes par dépôt d'humidité à leur surface.
- *Moisissures à développement rapide*
Les métaux, les matériaux céramiques ainsi que certaines laques et peintures ne permettent pas la formation de moisissures. Quand des fongicides sont utilisés, ils ne gardent pas leur propriété fongicide au-delà de quelques mois. Dans tous les cas, les moisissures peuvent proliférer dans les installations où des poussières, etc., s'accumulent de manière permanente.
- *Atmosphères corrosives*
On trouve ce genre d'atmosphères dans les zones industrielles et côtières. Il convient d'observer que les effets dus à ces ambiances peuvent être plus graves dans les climats à température élevée que dans les climats tempérés. Les utilisations intérieures peuvent également se trouver dans des atmosphères hautement corrosives.
- *Pollution*
Il convient de prendre des précautions spéciales quand les condensateurs sont installés dans des endroits à degré de pollution élevé.
- *Altitudes supérieures à 1 000 m*
Les condensateurs utilisés à des altitudes supérieures à 1 000 m sont soumis à des conditions spéciales. Il convient que le choix du type se fasse par accord entre constructeur et acheteur (voir paragraphes 29.2 et 34.1).
- *Zones sismiques*
Certaines zones sont sujettes à des probabilités élevées de secousses sismiques qui peuvent affecter la tenue mécanique des condensateurs et/ou des batteries installés dans ces zones. L'acheteur doit spécifier les valeurs de l'amplitude d'accélération et d'amortissement.

31. Surtensions

L'article 19 spécifie les facteurs de surtension.

Avec l'accord du constructeur, certains facteurs de surtension peuvent être augmentés si l'influence estimée des surtensions est plus faible ou si les conditions de température sont moins sévères. Les limites indiquées pour les surtensions à fréquence industrielle sont valables, à condition que des surtensions transitoires ne leur soient pas superposées. Il convient que la tension de crête ne soit pas supérieure à 1,41 fois la valeur efficace indiquée.

31.1 Réamorçage des appareils de commutation

Il peut se produire des surtensions transitoires de valeur élevée quand les condensateurs sont déconnectés par un appareil de commutation, qui peut être l'interrupteur du conden-

capacitors are frequently subjected to the radiation of the sun for several hours (for example in desert territories), even though the ambient temperature is not excessive (Sub-clause 29.2).

In exceptional cases, the ambient air temperature may be higher than 55°C maximum, or 45°C daily mean. Where it is impossible to improve the cooling conditions, capacitors of special design or with a higher rated voltage should be used.

30. Special conditions

In addition to the conditions covered in Clause 29, the manufacturer should be advised by the purchaser of any special service conditions such as:

— *High relative humidity*

It may be necessary to use insulators of special design. Attention is drawn to the possibility of external fuses being shunted by a deposit of moisture on their surfaces.

— *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.

— *Corrosive atmospheres*

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

— *Pollution*

When capacitors are mounted in a location with a high degree of pollution, special precautions should be taken.

— *Altitudes exceeding 1 000 m*

Capacitors used at altitudes exceeding 1 000 m are subject to special conditions. The choice of the type should be made by agreement between purchaser and manufacturer (see Sub-clauses 29.2 and 34.1).

— *Earthquake areas*

In some areas there is a higher probability of earthquakes, which may affect the mechanical design of the capacitors and/or banks to be installed in such areas.

The purchaser shall specify acceleration amplitude and damping values.

31. Overvoltages

Clause 19 specifies overvoltage factors.

With the manufacturer's agreement, some overvoltage factors may be increased if the estimated overvoltage incidence is lower, or if the temperature conditions are less severe. These power frequency overvoltage limits are valid, provided that transient overvoltages are not superposed on them. The peak voltage should not exceed 1.41 times the given r.m.s. value.

31.1 Restriking of switches

High overvoltage transients may be encountered when capacitors are disconnected by switching devices which may be either the capacitor switch or more remote switch(es) which

sateur ou des interrupteurs plus éloignés, permettant le réamorçage. Il faut prendre soin de choisir des appareils de commutation qui fonctionnent sans causer des surtensions excessives.

S'il est néanmoins impossible d'éviter les réamorçages, il peut être nécessaire d'utiliser des condensateurs dont le niveau d'isolement et la tension assignée sont plus élevés.

31.2 Foudre

Il convient que les condensateurs susceptibles d'être soumis à des surtensions élevées causées par la foudre soient adéquatement protégés. Il convient de disposer les parafoudres éventuellement prévus aussi près que possible des condensateurs. Il peut être nécessaire d'utiliser des parafoudres spéciaux pour tenir compte du courant de décharge des condensateurs, particulièrement avec les batteries de grandes dimensions. (Voir Publication 99 de la CEI.)

31.3 Auto-excitation des moteurs

Quand un condensateur est connecté en permanence à un moteur, il peut se produire des difficultés après déconnexion du moteur de son alimentation. Tout en continuant de tourner, le moteur peut agir comme générateur par auto-excitation et provoquer des élévations de tension considérables par rapport à la tension du réseau.

Toutefois, cela peut généralement être évité en prévoyant un courant du condensateur inférieur au courant de magnétisation à vide du moteur; on suggère une valeur d'environ 90%. A titre de précaution, il convient de ne pas manipuler les parties sous tension d'un moteur auquel un condensateur est connecté en permanence avant l'arrêt de ce moteur.

Notes 1. — La tension entretenue par auto-excitation après mise hors circuit du moteur est particulièrement dangereuse dans le cas des génératrices à induction et des moteurs munis d'un système de freinage actionné par perte de tension (par exemple les moteurs d'ascenseurs).

2. — Dans le cas où le moteur s'arrête immédiatement après déconnexion, la compensation peut dépasser 90%.

31.4 Démarrage en couplage étoile-triangle

Quand un condensateur est connecté à un moteur à démarrage étoile-triangle, il convient de prendre des dispositions pour qu'aucune surtension ne se produise pendant le fonctionnement du démarreur, sauf sur accord différent passé entre acheteur et constructeur.

31.5 Choix des condensateurs unitaires

En constituant une batterie de condensateurs à partir d'unités choisies au hasard, il faut prendre les précautions voulues pour éviter les surtensions engendrées par les différences de capacité entre unités ou groupes d'unités connectés en série.

Dans les cas extrêmes, la différence peut atteindre 20% (voir paragraphe 7.2).

Dans chaque cas, il convient de considérer si la meilleure solution pour éviter les surtensions sur les unités ou groupes d'unités consiste à disposer ces unités de manière à minimiser les différences de tension ou à choisir la tension assignée des unités en tenant compte d'une certaine augmentation de la tension.

Lorsque les condensateurs unitaires ou groupes d'unités sont connectés en série, il convient également de les disposer de manière à avoir des différences de capacité le plus faibles possibles.

Il convient encore d'étudier la méthode de protection contre les défauts (voir paragraphe 33.3, note 1) et les conséquences du claquage d'une unité dans cette optique. Quand les différences de tension sont à éviter, on choisira les unités ou groupes d'unités à connecter en série de manière à obtenir la capacité voulue dans la mesure du possible (voir également paragraphe 7.2).

Pour les batteries connectées en étoile avec neutre isolé, les différences de capacité entre phases entraînent une augmentation de la tension aux bornes des condensateurs installés dans la phase qui a la capacité la plus faible.

allow restriking. Care should be taken to select switching devices which operate without causing excessive overvoltage.

If, nevertheless, restriking cannot be prevented, it may be necessary to use capacitors having a higher insulation level and a higher rated voltage.

31.2 *Lightning*

Capacitors which are liable to be subjected to high overvoltages by lightning should be adequately protected. If surge arresters are used, they should be located as near as possible to the capacitors. Special arresters may be required to take care of the discharge current from the capacitor, especially from large banks. (See IEC Publication 99.)

31.3 *Motor self-excitation*

When a capacitor is permanently connected to a motor, difficulties may arise after disconnecting the motor from the supply. The motor, while still rotating, may act as a generator by self-excitation and may give cause to voltages considerably in excess of the system voltage.

This, however, can usually be prevented by ensuring that the capacitor current is less than the no-load magnetizing current of the motor; a value of about 90% is suggested. As a precaution, live parts of a motor to which a capacitor is permanently connected should not be handled before the motor stops.

Notes 1. — The maintained voltage due to self-excitation after the machine is switched off is particularly dangerous in the case of induction generators and for motors with a braking system intended to be operated by loss of voltage (for example lift motors).

2. — In the case in which the motor stops immediately after disconnection from the supply, the compensation may exceed 90%.

31.4 *Star-delta starting*

When a capacitor is connected to a motor equipped with a star-delta starter, the arrangement should be such that no overvoltage can occur during the operation of the starter, unless otherwise agreed between purchaser and manufacturer.

31.5 *Capacitor unit selection*

When building up a capacitor bank from a random selection of units, care should be taken to avoid overvoltages due to the difference in capacitance between the units or groups of units connected in series.

This difference may be as high as 20% in the extreme case (see Sub-clause 7.2).

It should be considered in each case whether the best solution to avoid overvoltages on units or groups of units is to arrange the units in such a way that the voltage differences are minimized or to choose the rated voltage of the units taking into account a certain voltage increase.

If capacitor units or groups of units, are connected in series, they should also be so arranged as to have the smallest possible capacitance differences.

Also the method of fault protection (see Sub-clause 33.3, Note 1) and the consequence of the breakdown of a unit in connection with this method should be studied. When it is required to minimize voltage differences, the units or groups of units to be connected in series shall be chosen so that their capacitances are as closely matched as possible (see also Sub-clause 7.2).

In the case of star-connected banks with isolated neutral, capacitance differences between phases will lead to an increase of the voltage across the capacitors in the phase with the smallest capacitance.

32. Courants de surcharge

32.1 *Surintensités permanentes*

Il y a lieu de ne jamais faire travailler des condensateurs sous des intensités qui dépassent les valeurs admissibles de l'article 20, sauf pendant des durées n'excédant pas 5 min au moment des élévations de tension sous faible charge conformes aux dispositions du tableau VI.

Les courants de surcharge peuvent être provoqués par une tension excessive à la fréquence fondamentale, par des harmoniques ou par ces deux causes à la fois. Les sources principales d'harmoniques sont les redresseurs, les dispositifs à thyristor et les transformateurs à noyau saturé.

Quand l'élévation de tension au moment des périodes de faible charge se trouve accrue par les condensateurs, la saturation des noyaux des transformateurs peut atteindre un niveau considérable. Dans ce cas, il y a production d'harmoniques de grandeur anormale dont l'un peut être amplifié par résonance entre transformateur et condensateur.

Cela est une raison de plus pour recommander la déconnexion des condensateurs dans les périodes de faible charge du réseau comme l'indique l'article 28.

Il convient de déterminer la forme de l'onde de tension et les caractéristiques du réseau avant l'installation du condensateur et après l'avoir installé. On prendra des précautions particulières en présence de sources d'harmoniques telles que des redresseurs de forte puissance.

Si le courant du condensateur risque de dépasser la valeur maximale spécifiée à l'article 20, alors que la tension demeure à l'intérieur des limites admissibles spécifiées au paragraphe 19.1, il convient de déterminer l'harmonique prédominant pour trouver la meilleure solution.

L'application d'un ou de plusieurs des remèdes ci-après peut être efficace pour réduire le courant:

- transposer quelques condensateurs ou tous les condensateurs dans d'autres parties du réseau;
- connecter une inductance en série avec le condensateur pour abaisser la fréquence de résonance du circuit à une valeur inférieure à celle de l'harmonique perturbateur (voir article 28);
- augmenter la valeur de la capacité pour les condensateurs connectés près des redresseurs.

Notes 1. — Si des inductances à noyau de fer sont utilisées, il convient de prévoir la saturation et l'échauffement éventuels du noyau sous l'influence des harmoniques.

2. — Les mauvais contacts et raccordements dans les circuits des condensateurs peuvent entraîner des arcs qui, causant des oscillations à haute fréquence, augmentent la température des condensateurs comme les contraintes qui leur sont appliquées.

C'est pourquoi il est recommandé d'inspecter régulièrement tous les contacts et les raccordements des condensateurs.

3. — L'annexe A donne une formule pour calculer la fréquence de résonance.

32.2 *Surintensités transitoires*

Des surintensités transitoires de haute fréquence et d'amplitude élevée peuvent se produire quand les condensateurs sont mis sous tension et spécialement quand une section d'une batterie de condensateurs est mise en parallèle avec d'autres sections qui se trouvaient déjà sous tension (voir annexe A).

Il peut être nécessaire d'avoir à réduire ces surintensités transitoires à des valeurs acceptables pour le condensateur et pour l'équipement en mettant le condensateur sous tension à travers une résistance (commutation résistive) ou par insertion d'inductances dans le circuit d'alimentation de chaque section de la batterie (voir également paragraphe 33.2).

32. Overload currents

32.1 Continuous overcurrents

Capacitors should never be operated with currents exceeding the permissible value specified in Clause 20, except for periods not longer than 5 min in conjunction with voltage rise at light loads according to Table VI.

Overload currents may be caused either by excessive voltage at the fundamental frequency or by harmonics or both. The chief sources of harmonics are rectifiers, thyristor devices and saturated transformer cores.

When the voltage rise at periods of light load is increased by capacitors, the saturation of transformer cores may be considerable. In this case, harmonics of abnormal magnitude are produced, one of which may be amplified by resonance between transformer and capacitor.

This is a further reason for recommending the disconnection of capacitors at periods of light load, as indicated in Clause 28.

The voltage waveform and the network characteristics should be determined before and after installing the capacitor. If sources of harmonics such as large rectifiers are present, special care should be taken.

If the capacitor current should exceed the maximum value specified in Clause 20, whilst the voltage is within the permissible limits specified in Sub-clause 19.1, the predominating harmonic should be determined in order to find the best remedy.

One or more of the following remedies may be effective in reducing the current:

- moving some or all of the capacitors to other parts of the system;
- connection of a reactor in series with the capacitor to lower the resonant frequency of the circuit to a value below that of the disturbing harmonic (see Clause 28);
- increasing the value of the capacitance where the capacitor is connected close to rectifiers.

Notes 1. — If iron-cored reactors are used, attention should be paid to possible saturation and overheating of the core by harmonics.

2. — Any bad contacts or joints in capacitor circuits may give rise to arcing, causing high-frequency oscillations which may overheat and overstress the capacitors.

Regular inspection of all contacts and joints of the capacitor equipment is therefore recommended.

3. — A formula for the calculation of the resonant frequency is given in Appendix A.

32.2 Transient overcurrents

Transient overcurrents of high amplitude and high frequency may occur when capacitors are switched into circuit and especially when a section of a capacitor bank is switched in parallel with other sections which are already energized (see Appendix A).

It may be necessary to reduce these transient overcurrents to acceptable values in relation to the capacitor and to the equipment by switching the capacitors through a resistor (resistance switching) or by the insertion of reactors in the supply circuit to each section of the bank (see also Sub-clause 33.2).

Il y a lieu de limiter la valeur de crête des surintensités dues aux manœuvres de commutation à un maximum de $100 I_N$ (en valeur efficace). (Voir paragraphe 33.1, note 2, annexe D et Publication 593 de la CEI.)

33. Disjoncteurs et dispositifs de protection

33.1 Prescriptions de tenue

Il convient que les disjoncteurs et dispositifs de protection ainsi que les connexions soient conçus de manière à supporter en permanence une valeur de 1,3 fois le courant (voir article 20) qui serait obtenu avec une tension sinusoïdale de valeur efficace égale à la tension assignée à la fréquence assignée. En fonction de la valeur réelle de la capacité, qui peut être au maximum 1,15 fois la valeur qui correspond à sa puissance assignée (voir paragraphe 7.2), ce courant peut atteindre une valeur maximale de $1,3 \cdot 1,15 = 1,5$ fois le courant assigné des unités individuelles ou des valeurs plus faibles pour les batteries (voir paragraphe 7.2).

En outre, les composantes harmoniques éventuellement présentes peuvent avoir, par «effet de peau», une influence plus grande sur l'échauffement que la composante fondamentale correspondante.

Il convient que les disjoncteurs et dispositifs de protection ainsi que les connexions puissent supporter les contraintes thermiques et électrodynamiques causées par les surintensités transitoires de grande amplitude et de fréquence élevée qui peuvent se produire aux commutations de mise sous tension.

Ces effets transitoires sont provoqués lorsqu'une section d'une batterie de condensateurs est commutée en parallèle avec d'autres sections qui se trouvaient déjà sous tension. Quand l'étude des contraintes thermiques et électrodynamiques risque d'entraîner des exigences de dimensionnement excessives, il y a lieu de prendre des précautions spéciales comme celles qui sont indiquées au paragraphe 32.2 en vue de la protection contre les surintensités.

Notes 1. — En particulier, il convient de choisir les coupe-circuit à fusibles avec une capacité thermique adéquate (voir annexe D et Publication 593 de la CEI).

2. — Dans certains cas, par exemple quand les condensateurs sont commandés automatiquement, des manœuvres de commutation répétées peuvent se produire à des intervalles de temps relativement proches. Il y a lieu de choisir un appareillage de commutation ainsi que des coupe-circuit à fusibles capables de supporter ces conditions. Il convient d'observer la prescription du point *a*) du paragraphe 4.1, selon laquelle la tension résiduelle à la mise sous tension ne devra pas être supérieure à 10% des tensions assignées.

3. — Les disjoncteurs raccordés à une même barre omnibus peuvent être soumis à des contraintes spéciales en cas d'enclenchement sur court-circuit.

4. — Les disjoncteurs pour la commutation de batteries en parallèle devront pouvoir supporter le courant d'appel (en amplitude et en fréquence) qui est provoqué quand une batterie est connectée à une barre omnibus à laquelle une ou plusieurs autres batteries sont déjà connectées.

33.2 Disjoncteurs sans réamorçage

Il convient d'utiliser des disjoncteurs adaptés à la commutation des condensateurs. Par exemple, le dispositif doit être étudié pour que le réamorçage au cours des opérations de déclenchement, qui peut entraîner des surtensions excessives, ne puisse pas se produire (voir également paragraphe 31.1).

Avant de prendre les décisions sur le type de disjoncteur à utiliser avec une installation de condensateur, il est recommandé de consulter le constructeur du condensateur et le constructeur du disjoncteur.

33.3 Réglage des relais

Il est recommandé de protéger les condensateurs contre les surintensités par des relais de surintensité appropriés qui seront réglés pour déclencher les disjoncteurs quand le courant

The peak value of the overcurrents due to switching operations should be limited to a maximum of $100 I_N$ (r.m.s. value). (Sub-clause 33.1, Note 2, Appendix D and IEC Publication 593.)

33. Switching and protective devices

33.1 Withstand requirements

The switching and protective devices and the connections should be designed to carry continuously a current of 1.3 times the current (see Clause 20) which could be obtained with a sinusoidal voltage of r.m.s. value equal to the rated voltage at the rated frequency. Depending on the actual capacitance value, which may be at most equal to 1.15 times the value corresponding to its rated output (Sub-clause 7.2), this current may have a maximum value of $1.3 \cdot 1.15 = 1.5$ times the rated current for individual units and lower values for banks (see Sub-clause 7.2).

Furthermore, harmonic components, if present, may have a greater heating effect than the corresponding fundamental component, due to the skin effect.

The switching and protective devices and the connections should be capable of withstanding the electrodynamic and thermal stresses which are caused by transient overcurrents of high amplitude and frequency which may occur when switching on.

Such transient effects are to be expected when a section of a capacitor bank is switched in parallel with other sections which are already energized. When consideration of the electrodynamic and thermal stresses would lead to excessive design requirements, special precautions, such as those referred to in Sub-clause 32.2 for the purpose of protection against overcurrents, should be taken.

Notes 1. — Fuses, in particular, should be chosen with adequate thermal capacity (see Appendix D and IEC Publication 593).

2. — In certain cases, for example when the capacitors are automatically controlled, repeated switching operations may occur at relatively short intervals of time. Switchgear and fuses should be selected to withstand these conditions. The requirement of Item a) of Sub-clause 4.1 that the residual voltage at energization should not exceed 10% of the rated voltages should be observed.

3. — Circuit breakers connected to the same busbar may be subjected to special stress in case of switching on against a short-circuit.

4. — Circuit breakers for switching of parallel banks shall be able to withstand the inrush current (amplitude and frequency) resulting when one bank is connected to a busbar to which one or more other banks are already connected.

33.2 Restrike-free breakers

Circuit breakers suitable for capacitor switching should be used. For example, the device should be such that restriking during breaking operations, which may result in excessive overvoltages, cannot occur (see also Sub-clause 31.1).

It is recommended that before deciding upon the type of switching device to be used with any capacitor installation, the capacitor manufacturer and the switchgear manufacturer should be consulted.

33.3 Relay settings

It is recommended that capacitors be protected against overcurrent by means of suitable overcurrent relays which are adjusted to trip the circuit-breakers when the current exceeds the

dépasse la limite admissible spécifiée à l'article 20. En général, les coupe-circuit à fusibles n'assurent pas une protection appropriée contre les surintensités (voir annexe D et Publication 593 de la CEI).

Notes 1. — En lui-même, un système de protection contre les surintensités ne peut assurer une protection suffisante contre les surtensions pas plus qu'il n'assure en général une protection contre les défauts internes du condensateur unitaire.

Il est donc nécessaire d'assurer la protection contre les défauts internes des batteries de condensateurs, surtout quand ces batteries sont constituées par une multiplicité de condensateurs unitaires. Il y a lieu de prévoir un dispositif approprié pour isoler automatiquement les unités ou les éléments défectueux.

2. — La capacité des condensateurs varie plus ou moins avec la température selon le type de condensateur.

Il faut tenir compte du fait que la capacité peut varier rapidement quand des condensateurs froids sont mis sous tension. Le phénomène devient important à basse température quand l'échauffement des condensateurs et donc la valeur de leur capacité peuvent être déséquilibrés.

Cela peut entraîner le fonctionnement intempestif de leur équipement de protection.

3. — Quand les unités qui constituent une batterie sont protégées individuellement par des coupe-circuit à fusibles externes, l'utilisateur peut demander que la batterie reste en circuit, même si le nombre de coupe-circuit ouverts entraîne une surtension prolongée qui dépasse les limites données à l'article 19.

Il y a lieu, dans ce cas, de choisir une tension assignée plus élevée pour l'unité ou les unités en cause ou de décider par accord entre constructeur et acheteur une limite de temps pour la durée de la surtension.

34. Choix des niveaux d'isolement

Il y a lieu de choisir le niveau d'isolement d'une batterie de condensateurs en conformité avec celui du réseau auquel la batterie sera raccordée, à partir des tableaux de l'article 18.

Il convient que les unités conformes aux dispositions du paragraphe 18.2.1 et les batteries conformes aux dispositions du paragraphe 18.3.1 aient un niveau d'isolement égal ou supérieur à celui du réseau.

Les niveaux d'isolement des paragraphes 18.2.2, 18.3.2 et 18.3.3 sont estimés suffisants pour les transitoires de commutation si des disjoncteurs sans réamorçage sont utilisés.

Se reporter à l'article 35 pour sélectionner les lignes de fuite.

Note. — Il convient que les unités dont la cuve constitue l'une des bornes et qui ne sont pas essayées selon les dispositions de l'article 16 par rapport à leur cuve et qui, de plus, sont munies de coupe-circuit à fusibles internes, aient un isolement par rapport à la cuve étudié pour supporter une tension plus élevée que l'isolement externe entre bornes. Un claquage de l'isolement par rapport à la cuve peut court-circuiter partiellement ou complètement le coupe-circuit interne de l'élément (Publication 593 de la CEI).

34.1 Altitudes dépassant 1 000 m

Les niveaux d'isolement choisis d'après les prescriptions de l'article 18 peuvent être trop faibles pour les utilisations à des altitudes dépassant 1 000 m (paragraphe 4.1). Dans ce cas, il convient que l'acheteur spécifie le niveau d'isolement requis par rapport aux conditions normales d'essai.

Les prescriptions du paragraphe 18.2 demeurent valables, mais pour le nouveau niveau d'isolement spécifié.

Pour les unités dont la cuve constitue l'une des bornes, il convient que le fabricant apporte la preuve que l'isolement externe de la traversée de l'unité supporte une tension d'essai égale à k fois la tension d'essai conforme aux dispositions du paragraphe 18.2, k étant le rapport entre la nouvelle tension de tenue à fréquence industrielle spécifiée et la tension alternative de tenue correspondante à la même valeur de U_m selon les tableaux de l'article 18.

34.2 Influence propre du condensateur

Les valeurs de tension de tenue des tableaux IIIA, IIIB, IV et V sont conformes aux prescriptions de la Publication 71 de la CEI; elles sont choisies de manière à assurer des marges suffisantes pour les surtensions transitoires dans le cas d'objets de faible capacité.

permissible limit specified in Clause 20. Fuses generally do not provide suitable overcurrent protection (see Appendix D and IEC Publication 593).

Notes 1. — An overcurrent protection system does not in itself give sufficient protection against overvoltages, neither does it in general give protection against internal faults of a capacitor unit.

Protection against internal faults of a capacitor bank especially when built up of a multiplicity of units is therefore necessary. Suitable means should be provided to isolate automatically a faulted unit or a faulted element.

2. — Depending on the type of the capacitors their capacitance will vary more or less with temperature.

Attention should be paid to the fact that the capacitance may change rapidly when cold capacitors are switched on. This phenomenon is prominent at low temperature when the temperature rise of the capacitors and thus the capacitance values may be unbalanced.

This may cause unwanted functioning of the protective equipment.

3. — When the units of a bank are individually protected by external fuses, the user may request that the bank remains in circuit even though the number of blown fuses involves a prolonged overvoltage exceeding the limits given in Clause 19.

In this case a higher rated voltage for the unit(s) should be chosen or a time limit for the overvoltage should be decided by agreement between the manufacturer and the purchaser.

34. Choice of insulation levels

The insulation level of a capacitor bank should be chosen to conform to that of the system to which the bank will be connected, from the tables of Clause 18.

Units according to Sub-clause 18.2.1 and banks according to Sub-clause 18.3.1 should have an insulation level equal to or higher than that of the system.

The insulation levels of Sub-clauses 18.2.2, 18.3.2 and 18.3.3 are considered sufficient for the switching surges if restrike-free breakers are used.

Regarding choice of creepage distances, see Clause 35.

Note. — Unit(s) having the container as one terminal, which are not tested to the container according to Clause 16 and which are equipped with internal element fuses, should have their insulation to container dimensioned to withstand a higher voltage than the external insulation between the terminals. A breakdown of the insulation to the container may completely or partially by-pass the internal element fuses (see IEC Publication 593).

34.1 Altitudes exceeding 1 000 m

Insulation levels chosen according to Clause 18 might be too low for use at altitudes higher than 1 000 m (Sub-clause 4.1). The purchaser should in such a case, specify which insulation level is required when referred to normal test conditions.

The requirements of Sub-clause 18.2 are still valid, but for the new specified insulation level.

Regarding units with the container as one terminal the manufacturers should provide evidence that the external insulation of the unit bushing can withstand a test voltage of k times the test voltage according to Sub-clause 18.2 where k is the ratio between the new specified power frequency withstand voltage and the corresponding a.c. withstand voltage according to the tables of Clause 18 for the same U_m .

34.2 Influence of the capacitor itself

The voltage withstand values in Table IIIA, Table IIIB, Table IV and Table V are in accordance with IEC Publication 71, and are chosen to give sufficient margin to transient overvoltages for objects having low capacitance values.

Pour les condensateurs unitaires ou les batteries de condensateurs, les tableaux sont en conséquence uniquement applicables aux installations présentant de faibles valeurs de capacité, comme pour l'isolement à la terre d'unités complètement isolées ou pour l'isolement entre terre et neutre isolé.

La capacité d'une phase d'un condensateur de puissance ayant un point neutre à la terre est généralement suffisante pour réduire notablement l'amplitude des chocs de foudre ou de manœuvre, même si ces chocs prennent naissance en un point relativement proche du condensateur.

34.3 Lignes de terre aériennes

Les unités ou batteries avec neutre à la terre sont généralement considérées comme convenablement protégées (voir paragraphe 9.2, note 4) des chocs de foudre si l'unité (ou la batterie) et les lignes de connexion sont équipées de lignes de terre aériennes sur une distance égale au minimum à $5 U_m$ (en kilovolts pour avoir des mètres) ou à 200 m de l'unité, la valeur la plus grande étant retenue.

35. Choix des lignes de fuite

Les lignes de fuite et les degrés de pollution sont actuellement à l'étude.

36. Condensateurs connectés à des réseaux équipés de commandes à distance par fréquences acoustiques

Aux fréquences acoustiques, l'impédance des condensateurs est très faible. Quand ils sont connectés à des réseaux équipés de commandes à distance par fréquences acoustiques, il peut arriver que l'émetteur de commande à distance soit surchargé et, par suite, travaille de manière défectueuse.

Il existe plusieurs méthodes pour remédier à ces déficiences et le choix de la meilleure se fera sur accord entre toutes les parties intéressées.

In capacitor units or capacitor banks the tables are therefore only applicable to installations having low capacitance values, such as insulation to earth of fully insulated units or of insulation between an insulated neutral and earth.

The phase capacitance of a power capacitor having an earthed neutral point is usually sufficient to substantially reduce the amplitude of lightning or switching surges even if the surge originates from a point relatively close to the capacitor.

34.3 *Overhead earth wires*

Units or banks with earthed neutrals are usually considered properly protected (see Sub-clause 9.2, Note 4) from lightning surges, if the unit (bank) and connecting lines are equipped with overhead earthed wires up to at least a distance from the unit (bank) of 5 times U_m (in kilovolts to give metres) or 200 m whichever value is the greater.

35. **Choice of creepage distances**

Creepage distances and degrees of pollution are currently under consideration.

36. **Capacitors connected to systems with audio-frequency remote control**

The impedance of capacitors at audio-frequencies is very low. When they are connected to systems having audio-frequency remote-control, overloading of the remote control transmitter and unsatisfactory working may, therefore, result.

There are various methods of avoiding these deficiencies; the choice of the best method should be made by agreement between all parties concerned.

ANNEXE A

FORMULES POUR L'INSTALLATION DES CONDENSATEURS

A1. Calcul de la puissance des condensateurs triphasés à partir de trois mesures de capacités monophasées

C_a , C_b , et C_c sont les capacités mesurées entre bornes de ligne prises à deux d'un condensateur triphasé connecté en étoile ou en triangle. Si les conditions de symétrie établies au paragraphe 7.2 sont respectées, la puissance Q du condensateur se calcule à l'aide de la formule suivante:

$$Q = \frac{2}{3} (C_a + C_b + C_c) \omega U_N^2 \cdot 10^{-6}$$

où:

C_a , C_b et C_c sont exprimées en microfarads

U_N est exprimée en kilovolts

Q est exprimée en mégavars

A2. Fréquence de résonance

Un condensateur peut être en résonance avec un harmonique dont le rang est donné par la relation suivante où r est un nombre entier:

$$r = \sqrt{\frac{S}{Q}}$$

où:

S = puissance de court-circuit (MVA) au point où le condensateur doit être connecté

Q est exprimée en mégavars

r = rang de l'harmonique, c'est-à-dire le rapport entre la fréquence de l'harmonique de résonance (Hz) et la fréquence du réseau (Hz).

A3. Elévation de tension

La connexion d'un condensateur shunt provoque l'élévation permanente de tension ci-après:

$$\frac{\Delta U}{U} \approx \frac{Q}{S}$$

où:

ΔU = élévation de tension

U = tension avant connexion du condensateur

S = puissance de court-circuit (MVA) au point où le condensateur doit être connecté

Q est exprimée en mégavars

A4. Courant d'appel transitoire

A4.1 Mise sous tension d'une seule batterie de condensateurs

$$\hat{I}_s \approx I_N \sqrt{\frac{2S}{Q}}$$

où:

$\hat{I}_s$ = valeur de crête du courant d'appel de la batterie, exprimée en ampères

I_N = courant assigné (valeur efficace) de la batterie exprimé en ampères

S = puissance de court-circuit (MVA) au point où le condensateur doit être connecté

Q est exprimée en mégavars

APPENDIX A

FORMULAE FOR CAPACITORS AND INSTALLATIONS

A1. Computation of the output of three-phase capacitors from three single-phase capacitance measurements

The capacitance measured between any two line terminals of a three-phase capacitor of either delta or star connection are denoted as C_a , C_b and C_c . If the symmetry requirements laid down in Sub-clause 7.2 are fulfilled, the output Q of the capacitor can be computed from the formula:

$$Q = \frac{2}{3} (C_a + C_b + C_c) \omega U_N^2 \cdot 10^{-6}$$

where:

C_a , C_b and C_c are expressed in microfarads

U_N is expressed in kilovolts

Q is expressed in megavars

A2. Resonant frequency

A capacitor may be in resonance with a harmonic, in accordance with the following equation in which r is an integer:

$$r = \sqrt{\frac{S}{Q}}$$

where:

S = short-circuit power (MVA) at the point where the capacitor is to be connected

Q is expressed in megavars

r = harmonic number, that is the ratio between the resonant harmonic frequency (Hz) and the network frequency (Hz).

A3. Voltage increase

Connection of a shunt capacitor will cause the following permanent voltage increase:

$$\frac{\Delta U}{U} \approx \frac{Q}{S}$$

where:

ΔU = voltage increase

U = voltage before connection of the capacitor

S = short-circuit power (MVA) at the point where the capacitor is to be connected

Q is expressed in megavars

A4. Inrush transient current**A4.1 Switching in of single capacitor bank**

$$\hat{I}_s \approx I_N \sqrt{\frac{2S}{Q}}$$

where:

$\hat{I}_s$ = crest of inrush bank current, expressed in amperes

I_N = rated capacitor bank current (r.m.s.), expressed in amperes

S = short-circuit power (MVA) at the point where the capacitor is to be connected

Q is expressed in megavars