

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

RECOMMANDATION DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

IEC RECOMMENDATION

Publication 143

Deuxième édition — Second edition

1972

Condensateurs-série destinés à être installés sur des réseaux

Series capacitors for power systems



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembé
Genève, Suisse

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60143:1972

Withdrawn

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

RECOMMANDATION DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

IEC RECOMMENDATION

Publication 143

Deuxième édition — Second edition

1972

Condensateurs-série destinés à être installés sur des réseaux

Series capacitors for power systems



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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

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

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe

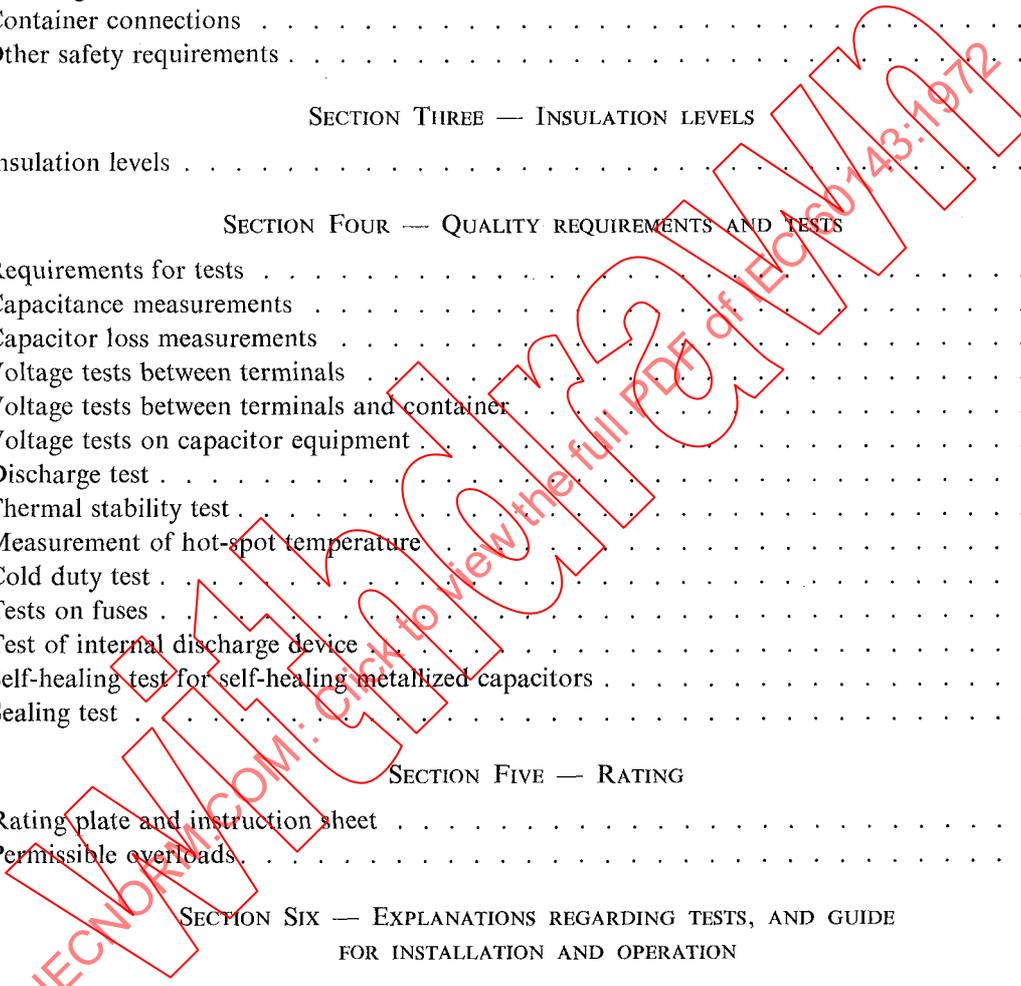
Genève, Suisse

SOMMAIRE

| | Pages |
|--|-------|
| PRÉAMBULE | 4 |
| PRÉFACE | 4 |
| SECTION UN — GÉNÉRALITÉS | |
| Articles | |
| 1. Domaine d'application | 6 |
| 2. Objet | 8 |
| 3. Définitions | 8 |
| SECTION DEUX — RÈGLES DE SÉCURITÉ | |
| 4. Dispositifs de décharge | 12 |
| 5. Connexions de masse | 12 |
| 6. Autres règles de sécurité | 12 |
| SECTION TROIS — NIVEAUX D'ISOLEMENT | |
| 7. Niveaux d'isolement | 12 |
| SECTION QUATRE — RÈGLES DE QUALITÉ ET ESSAIS | |
| 8. Prescriptions relatives aux essais | 16 |
| 9. Mesure de la capacité | 20 |
| 10. Mesure des pertes du condensateur | 20 |
| 11. Essais diélectriques entre bornes | 22 |
| 12. Essais diélectriques entre bornes et cuve | 24 |
| 13. Essais diélectriques sur les installations de condensateurs | 26 |
| 14. Essai de décharge | 26 |
| 15. Essai de stabilité thermique | 28 |
| 16. Mesure de la température du point chaud | 28 |
| 17. Essai de tenue au froid | 30 |
| 18. Essais des fusibles | 30 |
| 19. Essai du dispositif de décharge interne | 32 |
| 20. Essai de régénération pour les condensateurs autorégénérateurs métallisés | 32 |
| 21. Essai d'étanchéité | 32 |
| SECTION CINQ — CARACTÉRISTIQUES NOMINALES | |
| 22. Plaque signalétique et notice d'instructions | 32 |
| 23. Surcharges admissibles | 34 |
| SECTION SIX — EXPLICATIONS CONCERNANT LES ESSAIS ET DIRECTIVES POUR L'INSTALLATION ET L'UTILISATION | |
| 24. Généralités | 36 |
| 25. Choix des valeurs nominales de la tension et du courant | 38 |
| 26. Explications concernant les essais diélectriques entre bornes et l'essai de décharge | 40 |
| 27. Capacité | 40 |
| 28. Température de service | 42 |
| 29. Appareillage de protection et de manœuvre | 44 |
| 30. Choix des niveaux d'isolement | 46 |
| 31. Phénomènes perturbateurs | 48 |
| ANNEXE A — Schémas types de connexion (monophasée uniquement) | 52 |

CONTENTS

| | Page |
|---|------|
| FOREWORD | 5 |
| PREFACE | 5 |
| SECTION ONE — GENERAL | |
| Clause | |
| 1. Scope | 7 |
| 2. Object | 9 |
| 3. Definitions | 9 |
| SECTION TWO — SAFETY REQUIREMENTS | |
| 4. Discharge devices | 13 |
| 5. Container connections | 13 |
| 6. Other safety requirements | 13 |
| SECTION THREE — INSULATION LEVELS | |
| 7. Insulation levels | 13 |
| SECTION FOUR — QUALITY REQUIREMENTS AND TESTS | |
| 8. Requirements for tests | 17 |
| 9. Capacitance measurements | 21 |
| 10. Capacitor loss measurements | 21 |
| 11. Voltage tests between terminals | 23 |
| 12. Voltage tests between terminals and container | 25 |
| 13. Voltage tests on capacitor equipment | 27 |
| 14. Discharge test | 27 |
| 15. Thermal stability test | 29 |
| 16. Measurement of hot-spot temperature | 29 |
| 17. Cold duty test | 31 |
| 18. Tests on fuses | 31 |
| 19. Test of internal discharge device | 33 |
| 20. Self-healing test for self-healing metallized capacitors | 33 |
| 21. Sealing test | 33 |
| SECTION FIVE — RATING | |
| 22. Rating plate and instruction sheet | 33 |
| 23. Permissible overloads | 35 |
| SECTION SIX — EXPLANATIONS REGARDING TESTS, AND GUIDE FOR INSTALLATION AND OPERATION | |
| 24. General | 37 |
| 25. Choice of voltage ratings and rated current | 39 |
| 26. Explanations regarding the voltage tests between terminals and the discharge test | 41 |
| 27. Capacitance | 41 |
| 28. Operating temperature | 43 |
| 29. Protective and switching devices | 45 |
| 30. Choice of insulation levels | 47 |
| 31. Disturbing phenomena | 49 |
| APPENDIX A — Typical connection diagrams (one phase only) | 53 |



COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

CONDENSATEURS-SÉRIE DESTINÉS A ÊTRE INSTALLÉS
SUR DES RÉSEAUX

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 cette unification internationale, la CEI exprime le vœu que tous les Comités nationaux ne possédant pas encore de règles nationales, lorsqu'ils préparent ces règles, prennent comme base fondamentale de ces règles les recommandations de la CEI dans la mesure où les conditions nationales le permettent.
- 4) On reconnaît qu'il est désirable que l'accord international sur ces questions soit suivi d'un effort pour harmoniser les règles nationales de normalisation avec ces recommandations dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Les Comités nationaux s'engagent à user de leur influence dans ce but.

PRÉFACE

La présente recommandation a été établie par le Comité d'Etudes N° 33 de la CEI : Condensateurs de puissance. Cette deuxième édition de la Publication 143 de la CEI remplace et annule l'édition précédente de 1963.

Les projets furent discutés lors des réunions tenues à Prague en 1967 et à Oslo en 1969. A la suite de cette dernière réunion, un projet définitif fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en novembre 1970. Les commentaires reçus furent discutés lors de la réunion tenue à Bruxelles en 1971 et en conséquence le projet fut légèrement modifié.

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

| | |
|----------------|-------------|
| Afrique du Sud | Hongrie |
| Allemagne | Israël |
| Australie | Italie |
| Autriche | Norvège |
| Belgique | Pays-Bas |
| Danemark | Roumanie |
| Etats-Unis | Royaume-Uni |
| d'Amérique | Suède |
| Finlande | Suisse |
| France | Turquie |

Le Comité National Japonais a émis un vote négatif, ne pouvant accepter la prescription qui se rapporte au domaine de température ambiante normale pour les essais.

PRÉFACE A LA PREMIÈRE ÉDITION

Les présentes recommandations ont été établies par le Comité d'Etudes N° 33 : Condensateurs de puissance.

Un premier projet fut discuté lors d'une réunion tenue à Philadelphie en 1954. D'autres projets furent discutés à des réunions tenues à Londres, en 1955, à Munich, en 1956, et à Paris, en 1958. A la suite de cette dernière réunion, un projet fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en juillet 1959.

Les observations reçues furent discutées lors d'une réunion tenue à Rapallo en 1960 et, à la suite de ces discussions, des modifications furent diffusées aux Comités nationaux pour approbation suivant la Procédure des Deux Mois en mars 1961.

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

| | |
|-----------------------|-------------------------|
| Afrique du Sud | Japon |
| Allemagne | Norvège |
| Autriche | Pays-Bas |
| Belgique | Roumanie |
| Canada | Royaume-Uni |
| Danemark | Suède |
| Etats-Unis d'Amérique | Suisse |
| Finlande | Turquie |
| France | Union des Républiques |
| Hongrie | Socialistes Soviétiques |
| Italie | |

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

SERIES CAPACITORS FOR POWER SYSTEMS

FOREWORD

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

PREFACE

This Recommendation has been prepared by IEC Technical Committee No. 33, Power Capacitors. This second edition of IEC Publication 143 revises and supersedes the first edition published in 1963. Drafts were discussed at the meetings held in Prague in 1967 and in Oslo in 1969. As a result of the latter meeting, a draft was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in November 1970. The comments received were discussed at the meeting held in Brussels in 1971 and some amendments were made to the draft.

The following countries voted explicitly in favour of publication:

| | |
|-----------|----------------|
| Australia | Netherlands |
| Austria | Norway |
| Belgium | Romania |
| Denmark | South Africa |
| Finland | Sweden |
| France | Switzerland |
| Germany | Turkey |
| Hungary | United Kingdom |
| Israel | United States |
| Italy | of America |

The Japanese National Committee cast a negative vote because the stated standard ambient temperature range for testing was not considered acceptable.

PREFACE TO THE FIRST EDITION

These recommendations have been prepared by Technical Committee No. 33, Power Capacitors.

A first draft was discussed during a meeting held in Philadelphia in 1954. Further drafts were discussed at meetings held in London in 1955, Munich in 1956 and in Paris in 1958. As a result of this latter meeting, a draft was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in July 1959.

The comments received were discussed at the meeting held in Rapallo in 1960 and, as a result, amendments were submitted to the National Committees for approval under the Two Months' Procedure in March 1961.

The following countries voted explicitly in favour of publication:

| | |
|---------|-------------------------------------|
| Austria | Netherlands |
| Belgium | Norway |
| Canada | Romania |
| Denmark | South Africa |
| Finland | Sweden |
| France | Switzerland |
| Germany | Turkey |
| Hungary | United Kingdom |
| Italy | Union of Soviet Socialist Republics |
| Japan | United States of America |

CONDENSATEURS-SÉRIE DESTINÉS A ÊTRE INSTALLÉS SUR DES RÉSEAUX

SECTION UN — GÉNÉRALITÉS

1. Domaine d'application

1.1 Généralités

La présente recommandation s'applique :

- aux condensateurs-série destinés à être raccordés en série sur une ligne de transport ou de distribution d'énergie faisant partie d'un réseau alternatif à haute ou basse tension, de fréquence inférieure ou égale à 100 Hz ;
- aux batteries de condensateurs avec leurs accessoires, formant une installation de condensateurs-série complète.

1.2 Conditions ambiantes

Cette recommandation s'applique aux condensateurs destinés à être utilisés à des températures de l'air ambiant comprises entre -40 °C et $+50\text{ °C}$ et à des altitudes ne dépassant pas 1 000 m.

A cet effet, les condensateurs sont classés en catégories de température, chaque catégorie étant caractérisée à la fois par la température minimale de l'air ambiant à laquelle le condensateur peut être mis sous tension, choisie parmi les trois valeurs -40 °C , -25 °C , -10 °C , et la température maximale de l'air ambiant à laquelle le condensateur peut être utilisé, définie au tableau I.

TABLEAU I

| Limite supérieure de la catégorie de température (°C) | Température maximale de l'air ambiant (°C) | | |
|---|--|------------------|------------------|
| | Moyenne sur 1 h | Moyenne sur 24 h | Moyenne sur 1 an |
| 40 | 40 | 30 | 20 |
| 45 | 45 | 40 | 30 |
| 50 | 50 | 45 | 35 |

Les catégories normales de température sont :

$$-40/ +40\text{ °C}, -25/ +40\text{ °C}, -10/ +40\text{ °C} \text{ et } -10/ +45\text{ °C}$$

Notes 1. — En ce qui concerne les définitions de la température de l'air ambiant et de la température de l'air de refroidissement, voir les définitions des paragraphes 3.20 et 3.21, ainsi que l'article 28.

2. — Les condensateurs peuvent fonctionner à des températures inférieures à la température minimale de l'air ambiant qui correspond à leur catégorie, à condition que la mise sous tension n'ait pas lieu à de telles températures.

1.3 Conditions non normalisées

La présente recommandation ne s'applique pas aux condensateurs dont les conditions de service sont incompatibles avec les règles de la présente recommandation, sauf accord contraire entre le constructeur et l'acheteur.

SERIES CAPACITORS FOR POWER SYSTEMS

SECTION ONE — GENERAL

1. Scope

1.1 General

This Recommendation applies to :

- capacitor units which are intended for connection in series with a transmission or distribution line or circuit forming part of a low- or high-voltage a.c. power system having a frequency up to 100 Hz ;
- assemblies of capacitor units with accessories to form complete series capacitor equipments.

1.2 Ambient conditions

This Recommendation applies to capacitors intended for use within ambient air temperature limits of $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ and at altitudes not exceeding 1 000 m (3 300 ft).

For this purpose, capacitors are classified in temperature categories, each category being characterized by both the lowest ambient air temperature at which the capacitor may be energized, chosen from the three values $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, and the upper limit of ambient air temperature at which the capacitor may be operated, as defined in Table I.

TABLE I

| Upper limit of temperature category ($^{\circ}\text{C}$) | Maximum ambient air temperature ($^{\circ}\text{C}$) | | |
|---|---|----------------|------------------|
| | mean over 1 h | mean over 24 h | mean over 1 year |
| 40 | 40 | 30 | 20 |
| 45 | 45 | 40 | 30 |
| 50 | 50 | 45 | 35 |

Standard temperature categories are:

$-40/+40\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-25/+40\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-10/+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $-10/+45\text{ }^{\circ}\text{C}$

Notes 1. — For the definitions of ambient air temperature and cooling air temperature, see Sub-clauses 3.20 and 3.21 and Clause 28.

2. — Capacitors may be in operation at temperatures below the minimum ambient air temperature corresponding to their category, on condition that energizing of the capacitors cooled to such temperature is avoided.

1.3 Non-standard conditions

This Recommendation does not apply to capacitors, the service conditions of which are incompatible with the requirements of the Recommendation, unless otherwise agreed between the manufacturer and the purchaser.

2. **Objet**

L'objet de la présente recommandation est :

- de formuler des règles spécifiques de sécurité ;
- de formuler des règles uniformes en ce qui concerne la qualité, les essais et les caractéristiques nominales ;
- de fournir un guide pour l'installation et pour l'utilisation.

3. **Définitions**

3.1 *Elément de condensateur (ou élément)*

Partie indivisible d'un condensateur, constituée par des électrodes séparées par un diélectrique.

3.2 *Condensateur unitaire (ou unité)*

Ensemble d'un ou plusieurs éléments de condensateurs placés dans une seule cuve et reliés à des bornes de sortie.

3.3 *Batterie de condensateurs (ou batterie)*

Ensemble de condensateurs unitaires groupés par phase et réunis électriquement les uns aux autres, dans chaque phase.

3.4 *Condensateur*

Dans la présente recommandation, 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.

3.5 *Condensateur-série autorégénérateur métallisé*

Condensateur à électrodes constituées par une métallisation du diélectrique (obtenue par exemple par évaporation) ; en cas de perforation du diélectrique, celui-ci s'autorégénère.

3.6 *Installation de condensateurs*

Ensemble constitué par des condensateurs unitaires et les accessoires nécessaires à leur raccordement.

3.7 *Dispositif de protection contre les surtensions*

Appareil limitant rapidement la tension aux bornes du condensateur à une valeur admissible ; sans ce dispositif, la valeur de cette tension pourrait prendre des valeurs élevées, par suite d'un défaut ou de conditions anormales sur le réseau.

3.8 *Dispositif de décharge*

Dispositif branché entre les bornes d'un condensateur ou incorporé au condensateur unitaire et capable de ramener pratiquement à zéro la tension résiduelle lorsque le condensateur a été séparé de l'alimentation.

3.9 *Fréquence nominale (f_N)*

Fréquence pour laquelle le condensateur est prévu.

3.10 *Courant nominal (I_N)*

Valeur efficace du courant sinusoïdal permanent, de fréquence nominale, pour laquelle le condensateur est prévu.

3.11 *Capacité nominale (C_N)*

Valeur prévue de la capacité aux bornes du condensateur fonctionnant sous des conditions d'essai spécifiées.

2. Object

The object of this Recommendation is:

- to formulate specific safety rules;
- to formulate uniform rules regarding performance, testing and rating;

- to provide a guide for installation and operation.

3. Definitions

3.1 Capacitor element (or element)

An indivisible part of a capacitor consisting of electrodes separated by a dielectric.

3.2 Capacitor unit (or unit)

An assembly of one or more capacitor elements in a single container with terminals brought out.

3.3 Capacitor bank (or bank)

An assembly of units which in each phase are connected electrically to each other.

3.4 Capacitor

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

3.5 Self-healing metallized dielectric capacitor

A capacitor, the electrodes of which are deposited on the dielectric (e.g. by evaporation), in the event of a breakdown of the dielectric, the capacitor restores itself.

3.6 Capacitor equipment

An assembly of capacitor units and accessories suitable for connection to a circuit.

3.7 Overvoltage protector

A quick-acting device which limits the voltage across the capacitor to a permissible value when that value would otherwise be exceeded as a result of a circuit fault or other abnormal network conditions.

3.8 Discharge device

A device connected across the terminals of the capacitor or built into the capacitor units, capable of reducing the residual voltage across the capacitor effectively to zero after the capacitor has been disconnected from the supply.

3.9 Rated frequency (f_N)

The frequency at which the capacitor is designed to operate.

3.10 Rated current (I_N)

The r.m.s. value of the continuous sinusoidal current at rated frequency for which the capacitor is designed.

3.11 Rated capacitance (C_N)

The design value of the capacitance between the terminals of the capacitor under specified test conditions.

- 3.12 *Tension nominale (U_N)*
Valeur efficace de la tension entre les bornes d'un condensateur tirée des valeurs nominales de la capacité, du courant et de la fréquence.
- 3.13 *Puissance nominale (Q_N)*
Puissance réactive tirée des valeurs nominales de la capacité, du courant et de la fréquence.
- 3.14 *Pertes du condensateur*
Puissance active consommée par le condensateur.
Note. — Sauf spécification contraire, les pertes du condensateur comprennent également les pertes dans les fusibles et dans les résistances de décharge formant partie intégrante du condensateur.
- 3.15 *Tangente de l'angle de pertes ($\text{tg } \delta$)*
Quotient des pertes du condensateur par sa puissance réactive.
- 3.16 *Tension limite (U_{lim})*
Valeur maximale de la tension instantanée, divisée par $\sqrt{2}$, qui peut apparaître aux bornes du condensateur immédiatement avant ou pendant le fonctionnement du dispositif de protection contre les surtensions.
- 3.17 *Tension d'essai de courte durée (U_s)*
Valeur efficace de la tension sinusoïdale d'essai entre bornes qui caractérise l'aptitude d'un condensateur-série à supporter des surtensions de courte durée.
- 3.18 *Niveau d'isolement (U_i)*
Combinaison des valeurs de tension d'essai (à fréquence industrielle et en onde de choc) qui caractérise l'aptitude de l'isolement du condensateur à supporter les contraintes diélectriques entre les bornes et la terre, entre les phases, ainsi qu'entre les bornes et les parties métalliques non reliées à la terre.
- 3.19 *Tension la plus élevée d'un réseau (U_m)*
Valeur la plus élevée de la tension efficace entre phases qui peut exister à tout instant et en tout point du réseau dans les conditions d'exploitation normales. Cette valeur ne tient pas compte des variations temporaires de tension dues aux défauts et au déclenchement brusque de charges importantes.
- 3.20 *Température de l'air ambiant*
Température de l'air à l'emplacement prévu pour le condensateur.
- 3.21 *Température de l'air de refroidissement*
Température de l'air de refroidissement mesurée 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 0,3 m environ de la cuve du condensateur et aux deux tiers de sa hauteur à partir de sa base.
- 3.22 *Etat stable*
Equilibre thermique atteint par un condensateur fonctionnant dans des conditions constantes de puissance et de température de l'air de refroidissement.

3.12 *Rated voltage (U_N)*

The r.m.s. value of the voltage between terminals, calculated from rated capacitance, rated current and rated frequency.

3.13 *Rated output (Q_N)*

The reactive power calculated from rated capacitance, rated current and rated frequency.

3.14 *Capacitor losses*

The active power consumed by the capacitor.

Note. — Unless otherwise stated, the capacitor losses will be understood to include losses in fuses and discharge resistors forming an integral part of the capacitor.

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

The capacitor losses divided by the reactive power of the capacitor.

3.16 *Limiting voltage (U_{lim})*

The maximum instantaneous voltage between capacitor terminals occurring immediately before or during operation of the overvoltage protector, divided by $\sqrt{2}$.

3.17 *Short-time voltage (U_s)*

The r.m.s. value of the sinusoidal test voltage between terminals which characterizes the ability of a series capacitor to withstand short-time overvoltages.

3.18 *Insulation level (U_t)*

The combination of test voltage values (both power-frequency and impulse) which characterizes the insulation of the capacitor with regard to its capability of withstanding the electric stresses between terminals and earth, between phases and between terminals and metalwork not at earth potential.

3.19 *Highest voltage of a system (U_m)*

The highest r.m.s. phase-to-phase voltage which can occur under normal operating conditions at any time and at any point on the system. It excludes temporary voltage variations due to fault conditions and the sudden disconnection of large loads.

3.20 *Ambient air temperature*

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

3.21 *Cooling-air temperature*

The temperature of the cooling air measured at the hottest position in the bank midway between two units. If only one unit is involved, it is the temperature measured at a point approximately 0.3 m away from the capacitor container and at two thirds of the height from its base.

3.22 *Steady-state condition*

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

SECTION DEUX — RÈGLES DE SÉCURITÉ

4. Dispositifs de décharge

Chaque condensateur unitaire et/ou batterie sera équipé d'un dispositif permettant de décharger chaque unité à 50 V ou moins à partir d'une tension initiale égale à $\sqrt{2}$ fois la tension nominale U_N . Le temps maximum de décharge est de 1 min pour les condensateurs pour lesquels U_N est inférieure ou égale à 660 V et de 5 min lorsque U_N est supérieure à 660 V. Le dispositif de décharge peut être situé à l'intérieur ou à l'extérieur du condensateur unitaire.

Il ne doit y avoir aucun interrupteur, coupe-circuit à fusibles, etc. entre le condensateur et le dispositif de décharge.

Les circuits de décharge doivent être dimensionnés de façon à permettre la décharge du condensateur à partir d'un niveau de tension égal à $\sqrt{2} U_{Im}$.

Notes 1. — Un condensateur directement relié à un autre appareil électrique, permettant l'établissement d'une ligne de décharge, est considéré comme convenablement déchargé, à condition que les caractéristiques du circuit permettent d'assurer la décharge du condensateur dans les temps spécifiés ci-dessus.

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

3. — Une perforation se produisant dans une unité protégée par un fusible ou un amorçage à travers une partie de la batterie avant la fermeture de l'interrupteur de court-circuitage, par exemple, peut produire, à l'intérieur de la batterie, des charges résiduelles localisées qui ne peuvent être déchargées au moyen d'un dispositif de décharge connecté entre les bornes de la batterie.

4. — Les conditions de fonctionnement sous une tension supérieure à la tension nominale telle que définie au paragraphe 3.12 et le branchement des unités en série peuvent faire dépasser la limite de 50 V.

5. — Lorsque les condensateurs peuvent être enclenchés à des intervalles très courts (refermeture rapide du circuit, etc.) on prêtera une attention particulière au fait qu'un dispositif de décharge répondant aux spécifications du présent article peut être impropre à éviter une surtension excessive entre les bornes de la batterie.

5. Connexions de masse

Il doit être possible d'établir une connexion efficace avec l'enveloppe métallique d'un condensateur pour pouvoir fixer le potentiel de cette enveloppe.

6. 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 le condensateur doit être installé.

SECTION TROIS — NIVEAUX D'ISOLEMENT

7. Niveaux d'isolement

7.1 Niveaux d'isolement entre les bornes et la terre et entre les phases

Les tableaux II, III et IV, extraits de la Publication 71 de la CEI : Coordination de l'isolement, donnent les niveaux d'isolement normalisés en fonction des tensions les plus élevées du réseau U_m .

Les niveaux d'isolement des condensateurs et des installations de condensateurs doivent être choisis parmi les niveaux normalisés.

Notes 1. — Les valeurs d'isolement complet s'appliquent aux appareils utilisés sur les réseaux à neutre isolé, ou compensés par des bobines d'extinction, ou encore qui ne sont pas effectivement mis à la terre. Les valeurs d'isolement réduit peuvent être utilisées seulement pour un réseau effectivement mis à la terre. Voir Publication 71 de la CEI.

2. — En ce qui concerne le choix entre les différentes valeurs proposées pour l'isolement réduit pour les tensions de réseau supérieures ou égales à 145 kV (colonnes 3 et 5), voir Publication 71A de la CEI : Premier complément à la Publication 71 : Guide d'application.

SECTION TWO — SAFETY REQUIREMENTS

4. Discharge devices

Each capacitor unit and/or bank shall be provided with a means for discharging each unit to 50 V or less from an initial voltage of $\sqrt{2}$ times the rated voltage U_N . The maximum discharge time is 1 min for capacitors rated up to and including 660 V, and 5 min for ratings above 660 V. The discharge device may be internal or external to the capacitor unit.

There must be no switch, fuse cut-out, etc. between the capacitor and the discharge device.

Discharge circuits must have adequate current carrying capacity to discharge a capacitor from a voltage level equal to $\sqrt{2} U_{lim}$.

Notes 1. — Capacitors connected directly to other electrical equipment providing a discharge path shall be considered properly discharged, provided that the circuit characteristics are such as to ensure the discharge of the capacitor within the times specified above.

2. — The use of a discharge device is not intended as a substitute for short-circuiting the capacitor terminals together and connecting them to earth before handling.

3. — A puncture in a unit cleared by a fuse, or a flashover across part of the bank prior to the closure of the by-pass switch, for instance, can produce local residual charges inside the bank which cannot be cleared by means of a discharge device connected between the terminals of the bank.

4. — Operating conditions with higher than rated voltage as defined in Sub-clause 3.12 and the connection of units in series may cause the 50 V limit to be exceeded.

5. — When the capacitors may be switched off and on at very short intervals (rapid reclosure of the line, etc.) particular attention should be paid to the fact that the discharge device provided in accordance with this clause may not be adequate to avoid undue over-voltage across the terminals of the bank.

5. Container connections

It must be possible to make a reliable connection to the metal container of a capacitor to enable the potential of the container to be fixed.

6. Other safety requirements

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

SECTION THREE — INSULATION LEVELS

7. Insulation levels

7.1 *Insulation levels between the terminals and earth and between the phases*

Tables II, III and IV, taken from IEC Publication 71, Insulation Co-ordination, give the standard insulation levels with the corresponding highest system voltages U_m .

The insulation levels of capacitors and capacitor equipment shall be chosen from the standard values.

Notes 1. — The full insulation values apply to apparatus used on isolated neutral, or resonant earthed systems or non-effectively earthed systems. The reduced insulation values may be used only if the system is effectively earthed. See IEC Publication 71.

2. — For the choice between alternative entries for reduced insulation at system voltages of 145 kV and above in columns 3 and 5, see IEC Publication 71A, First supplement to Publication 71, Application guide.

TABLEAU II

Gamme de tensions inférieures à $U_m = 100 \text{ kV}$
(Basée sur la pratique courante en Europe)

| Tension la plus élevée du réseau (entre phases) U_m (kV _{eff}) | Niveau d'isolement | | |
|---|--|---|---|
| | Tension d'essai à fréquence industrielle (kV _{eff}) | | Tension d'essai de choc (kV _{crête}) |
| | Isolation interne | Isolation externe ; service sous pluie | |
| 0,6 | 3 | 6 | 15 |
| 1,2 | 6 | 11 | 25 |
| 2,4 | 11 | 16 | 35 |
| 3,6 | 16 | 21 | 45 |
| 7,2 | 22 | 27 | 60 |
| 12 | 28 | 35 | 75 |
| 17,5 | 38 | 45 | 95 |
| 24 | 50 | 55 | 125 |
| 36 | 70 | 75 | 170 |
| 52 | 95 | 105 | 250 |
| 72,5 | 140 | 140 | 325 |

TABLEAU III

Gamme de tensions inférieures à $U_m = 100 \text{ kV}$
(Basée sur la pratique courante aux Etats-Unis d'Amérique)

| Tension la plus élevée du réseau (entre phases) U_m (kV _{eff}) | Niveau d'isolement | |
|---|---|--|
| | Tension d'essai à fréquence industrielle (kV _{eff}) | Tension d'essai de choc kV _(crête) |
| 2,75 | A l'étude. | A l'étude. |
| 5,5 | | |
| 9,52 | | |
| 15,5 | | |
| 25,8 | | |
| 38 | A l'étude. | A l'étude. |
| 48,3 | | |
| 72,5 | | |
| 72,5 | | |

7.2 Niveaux d'isolement entre les bornes et les parties métalliques non reliées à la terre

Sauf spécification contraire, le niveau d'isolement entre les bornes d'un condensateur unitaire ou d'une batterie de condensateurs et les cuves des unités et/ou le support métallique qui est connecté doit être déterminé comme suit :

- la valeur de la tension nominale entre les parties d'installation prises en considération doit être multipliée par 1,7 et la valeur ainsi calculée doit être considérée comme la tension équivalente U_m pour la partie d'équipement considérée. Cette valeur ou celle immédiatement supérieure figurant dans la colonne 1 des tableaux II, III ou IV, doit être utilisée pour définir le niveau d'isolement.

TABLE II

Range of voltages below $U_m = 100 \text{ kV}$
(Based on current practice in Europe)

| Highest system voltage (phase-to-phase) U_m (kV _{r.m.s.}) | Insulation level | | |
|--|---|---|---|
| | Power-frequency test voltage (kV _{r.m.s.}) | | Impulse test voltage (kV _{peak}) |
| | Internal insulation | External insulation wet for outdoors | |
| 0.6 | 3 | 6 | 15 |
| 1.2 | 6 | 11 | 25 |
| 2.4 | 11 | 16 | 35 |
| 3.6 | 16 | 21 | 45 |
| 7.2 | 22 | 27 | 60 |
| 12 | 28 | 35 | 75 |
| 17.5 | 38 | 45 | 95 |
| 24 | 50 | 55 | 125 |
| 36 | 70 | 75 | 170 |
| 52 | 95 | 105 | 250 |
| 72.5 | 140 | 140 | 325 |

TABLE III

Range of voltages below $U_m = 100 \text{ kV}$
(Based on current practice in USA)

| Highest system voltage (phase-to-phase) U_m (kV _{r.m.s.}) | Insulation level | |
|--|--|---|
| | Power-frequency test voltage (kV _{r.m.s.}) | Impulse test voltage (kV _{peak}) |
| 2.75 5.5 9.52 15.5 | | |
| 25.8 38 48.3 72.5 | Under consideration. | |

7.2 *Insulation levels between the terminals and metalwork not at earth potential*

Unless otherwise specified, the insulation level between the capacitor terminals and the unit container and/or the associated supporting metalwork connected thereto, of a capacitor unit or bank shall be determined as follows:

- the rated voltage between terminals of the part of the equipment under consideration shall be multiplied by 1.7 and the value thus obtained shall be regarded as the equivalent U_m value for the part of the equipment in question. This value, or its nearest higher value appearing in column 1 of Table II, III or IV, shall be used to determine the insulation level.

Cependant la valeur que l'on adopte pour U_m doit être telle que la « tension d'essai à fréquence industrielle » qui y correspond dans les tableaux ne soit pas inférieure à U_s pour le condensateur ou la partie de l'installation considérée.

En outre, les tensions d'essai seront choisies de manière à tenir compte des tensions apparaissant dans le circuit d'amortissement et dans les isolations connectées en parallèle avec ce circuit lorsque le dispositif de protection contre les surtensions fonctionne (articles 29 et 30).

TABLEAU IV
Gamme de tensions supérieures ou égales à $U_m = 100 \text{ kV}$

| Tension la plus élevée du réseau (entre phases) U_m (kV_{eff}) | Niveau d'isolement | | | |
|---|--|--------------------------|---|----------------------------------|
| | Tension d'essai à fréquence industrielle (kV_{eff}) | | Tension d'essai de choc ($\text{kV}_{\text{crête}}$) | |
| | Plein isolement | Isolement réduit | Plein isolement | Isolement réduit |
| 100 | 185 | 150 | 450 | 380 |
| 123 | 230 | 185 | 550 | 450 |
| 145 | 275 | 230 185 | 650 | 550 450 |
| 170 | 325 | 275 230 | 750 | 650 550 |
| 245 | 460 | 395 360 325 | 1 050 | 950 850 750 |
| 300 | | 510 460 395 | | 1 175 1 050 950 |
| 362 | | 570 510 460 | | 1 300 1 175 1 050 |
| 420 | | 740 680 630 570 | | 1 675 1 550 1 425 1 300 |
| 525 | | 790 740 680 630 | | 1 800 1 675 1 550 1 425 |

SECTION QUATRE — RÈGLES DE QUALITÉ ET ESSAIS

8. Prescriptions relatives aux essais

8.1 Généralités

La présente section indique les prescriptions relatives aux essais des condensateurs unitaires et de leurs fusibles. Les supports isolants, les interrupteurs, les transformateurs de mesure, etc., doivent être soumis aux essais prescrits par les recommandations appropriées de la CEI en tenant compte des niveaux d'isolement spécifiés à l'article 7 de la présente recommandation.

However, the value of U_m which is adopted must be such that the resulting “power-frequency test voltage” indicated in the tables is not less than U_s for the part of the capacitor or equipment under consideration.

As regards the damping circuit and the insulation connected in parallel with the damping circuit, the test voltages shall be chosen taking into account the voltage appearing across the damping circuit when the overvoltage protector operates (Clauses 29 and 30).

TABLE IV
Range of voltages from $U_m = 100$ kV upwards

| Highest system voltage (phase-to-phase) U_m (kV _{r.m.s.}) | Insulation level | | | |
|--|---|--------------------|---|--------------------|
| | Power-frequency test voltage (kV _{r.m.s.}) | | Impulse test voltage (kV _{peak}) | |
| | Full insulation | Reduced insulation | Full insulation | Reduced insulation |
| 100 | 185 | 150 | 450 | 380 |
| 123 | 230 | 185 | 550 | 450 |
| 145 | 275 | 230 | 650 | 550 |
| | | 185 | | 450 |
| 170 | 325 | 275 | 750 | 650 |
| | | 230 | | 550 |
| 245 | 460 | 395 | 1 050 | 950 |
| | | 360 | | 850 |
| | | 325 | | 750 |
| 300 | | 510 | | 1 175 |
| | | 460 | | 1 050 |
| | | 395 | | 950 |
| 362 | | 570 | | 1 300 |
| | | 510 | | 1 175 |
| | | 460 | | 1 050 |
| 420 | | 740 | | 1 675 |
| | | 680 | | 1 550 |
| | | 630 | | 1 425 |
| | | 570 | | 1 300 |
| 525 | | 790 | | 1 800 |
| | | 740 | | 1 675 |
| | | 680 | | 1 550 |
| | | 630 | | 1 425 |

SECTION FOUR — QUALITY REQUIREMENTS AND TESTS

8. Requirements for tests

8.1 General

This section gives the test requirements for capacitor units and fuses. Supporting insulators, switches, instrument transformers, etc., shall be tested in accordance with relevant IEC Recommendations taking into account the insulation levels according to Clause 7 of this Recommendation.

8.2 Conditions d'essai

8.2.1 Sauf spécification contraire, pour un essai ou une mesure particulière, la température du diélectrique d'un condensateur doit être comprise entre + 15 °C et + 35 °C. Lorsqu'une correction est nécessaire, la température de référence doit être de + 20 °C, sauf convention contraire entre le constructeur et l'acheteur.

Note. — On peut admettre que la température du diélectrique est la même que la température de l'air ambiant, pourvu que le condensateur ait été laissé hors tension à la température ambiante pendant un temps suffisant.

8.2.2 Les essais et les mesures en courant alternatif doivent être effectués à une fréquence comprise entre 0,8 et 1,2 fois la fréquence nominale. Des mesures peuvent être effectuées à des fréquences différentes, pourvu que les facteurs de correction appropriés fassent l'objet d'un accord entre le constructeur et l'acheteur.

8.3 Essais individuels

Les essais individuels suivants doivent être effectués sur chaque condensateur unitaire lors de sa sortie de fabrication :

- Mesure de la capacité (article 9).
- Mesure des pertes du condensateur (article 10).
- Essai de tenue entre bornes (paragraphe 11.1).
- Essai diélectrique entre bornes et cuve (paragraphe 12.2).
- Essai de tenue à la décharge des fusibles internes (paragraphe 18.1).
- Essai du dispositif de décharge interne (article 19).
- Essai d'étanchéité (article 21).

8.4 Essais de type

Les essais de type sont les suivants :

- Essai à tension d'essai de courte durée et mesure des décharges partielles (paragraphe 11.2).
- Essais diélectriques entre bornes et cuve (paragraphe 12.3, 12.4 et 12.5).
- Essais diélectriques sur les installations de condensateurs (article 13).
- Essai de décharge (article 14).
- Essai de stabilité thermique (article 15).
- Mesure de la température au point chaud (article 16).
- Essai de tenue au froid (article 17).
- Essais des fusibles (paragraphe 18.2, 18.3 et 18.4).
- Essai de régénération (article 20), seulement pour les condensateurs autorégénérateurs métallisés.

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

Les essais de type sont destinés à prouver que le condensateur est convenablement conçu et qu'il pourra être utilisé dans les conditions précisées dans la présente recommandation. Les essais de type doivent avoir été exécutés par le constructeur avant la livraison des condensateurs et un certificat donnant le détail des résultats des essais doit être remis à l'acheteur sur sa demande. Ces essais doivent avoir été effectués sur un condensateur de conception identique à celle du condensateur proposé ou ne s'en écartant pas d'une 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 la même unité, pourvu que tous les condensateurs prélevés pour les essais soient identiques en ce qui concerne la conception et le procédé de fabrication.

8.2 *Test conditions*

8.2.1 Unless otherwise specified for the particular test or measurement, the temperature of the capacitor dielectric shall be in the range of + 15 °C to + 35 °C.

If corrections are necessary, the reference temperature shall be + 20 °C, unless otherwise agreed between the manufacturer and the purchaser.

Note. — It may be assumed that the dielectric temperature is the same as the ambient temperature, provided that the capacitor has been left in an unenergised state at ambient temperature for an adequate period.

8.2.2 The a.c. tests and measurements shall be carried out at a frequency between 0.8 and 1.2 times the rated frequency. Measurements outside this frequency range may be permitted provided that appropriate correction factors are agreed between the manufacturer and the purchaser.

8.3 *Routine tests*

The following routine tests shall be carried out on every capacitor unit on completion:

- Capacitance measurements (Clause 9).
- Capacitor loss measurements (Clause 10).
- Voltage withstand test between terminals (Sub-clause 11.1).
- Voltage test between terminals and container (Sub-clause 12.2).
- Discharge current withstand test on internal fuses (Sub-clause 18.1).
- Test on internal discharge device (Clause 19).
- Sealing test (Clause 21).

8.4 *Type tests*

The type tests comprise:

- Short-time voltage and partial discharge test (Sub-clause 11.2).
- Voltage tests between terminals and container (Sub-clauses 12.3, 12.4, 12.5).
- Voltage tests on capacitor equipments (Clause 13).
- Discharge test (Clause 14).
- Thermal stability test (Clause 15).
- Measurement of hot-spot temperature (Clause 16).
- Cold duty test (Clause 17).
- Tests on fuses (Sub-clauses 18.2, 18.3, and 18.4).
- Self-healing test (Clause 20), only for self-healing metallized capacitors.

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

Type tests are intended to prove the soundness of the design of the capacitor and its suitability for operation under the conditions detailed in this Recommendation. The type tests shall have been carried out by the manufacturer before the delivery of the capacitors and a certificate detailing the results of such tests shall be furnished to the purchaser at his request. These tests shall have been made upon a capacitor of a design identical with that of the capacitor under contract or on a capacitor of a design which does not differ from it in any way which 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 sample, provided that samples of identical design and processing during manufacture are used.

Les essais de type ou certains d'entre eux doivent être renouvelés par le constructeur à l'occasion de tout contrat particulier s'il en est ainsi convenu avec l'acheteur ou lorsque cela est demandé dans le contrat de fourniture des condensateurs. Le nombre des condensateurs prélevés devant être soumis à ces nouveaux essais devra également faire l'objet d'un accord entre le constructeur et l'acheteur, et mention doit en être faite dans le contrat.

9. Mesure de la capacité (essais individuels)

9.1 Modalité de mesure

La capacité est mesurée à une tension comprise entre 0,9 et 1,1 fois la tension nominale en employant une méthode permettant d'éviter les erreurs dues aux harmoniques et à des accessoires tels que résistances, réactances et circuits de blocage dans le circuit de mesure. La précision de la méthode de mesure utilisée devra être indiquée.

Des mesures peuvent être effectuées à une tension différente, pourvu que les facteurs de correction appropriés fassent l'objet d'un accord entre le constructeur et l'acheteur.

Après l'exécution des autres essais individuels la capacité définitive doit être mesurée. Pour relever une éventuelle variation de la capacité, par exemple due à la perforation d'un élément ou à un contournement, la capacité doit être mesurée avant les essais individuels. Cette mesure peut être effectuée à une tension réduite.

Note. — Sur demande, le constructeur doit mesurer comme essais de type :

- la capacité à l'état stable, à la puissance nominale, en fonction de la température ambiante à l'intérieur d'une catégorie de température ;
- la capacité en fonction de la température du diélectrique à l'intérieur d'une catégorie de température. Les mesures doivent être effectuées aux environs de la tension nominale lorsque c'est possible, mais si la tension nominale provoque un échauffement excessif à certaines températures, il est permis d'utiliser une tension inférieure (paragraphe 27.2).

9.2 Tolérances sur la capacité

La capacité (qui, dans le cas des batteries, peut être une valeur calculée) ne doit pas s'écarter de la capacité nominale de plus de :

- ± 7,5% pour les condensateurs unitaires ;
- ± 5,0% pour les batteries de condensateurs d'une puissance nominale inférieure à 10 Mvar par phase ;
- ± 3,0% pour les batteries de condensateurs d'une puissance nominale supérieure ou égale à 10 Mvar par phase ;

En outre, la capacité ne doit pas varier de plus de :

- 3,0% entre deux phases quelconques, pour une batterie de condensateurs d'une puissance nominale inférieure à 2 Mvar par phase ;
- 1,0% entre deux phases quelconques, pour une batterie de condensateurs d'une puissance nominale supérieure ou égale à 2 Mvar par phase.

Des tolérances plus serrées pourraient être prescrites pour les condensateurs destinés à être installés sur des lignes plus importantes (paragraphe 27.1).

10. Mesure des pertes du condensateur (essai individuel)

10.1 Modalité de mesure

Les pertes du condensateur (ou $\text{tg } \delta$) doivent être mesurées à une tension comprise entre 0,9 et 1,1 fois la tension nominale en employant une méthode permettant d'éviter les erreurs dues aux harmoniques et à des accessoires tels que résistances, réactances et circuits de blocage dans le circuit de mesure. (Note du paragraphe 3.14). La précision de la méthode de mesure utilisée devra être indiquée.

The type tests, or certain of them, shall be repeated by the manufacturer in connection with any particular contract by agreement with the purchaser or when so requested on the contract for the supply of the capacitors. The number of samples that may be subjected to such repeat tests as well as permission to deliver any of these units shall also be subject to agreement between manufacturer and purchaser, and shall be stated in the contract.

9. Capacitance measurements (routine tests)

9.1 *Measuring procedure*

The capacitance shall be measured at 0.9 to 1.1 times the rated voltage using a method which excludes errors due to harmonics and to accessories such as resistors, reactors and blocking circuits in the measuring circuit. The accuracy of the measuring method shall be given.

Measurements at another voltage is permitted, provided that appropriate correction factors are agreed upon between the manufacturer and the purchaser.

The definitive capacitance measurement shall be carried out after the other routine tests. In order to reveal any change in capacitance, e.g. due to a puncture of an element or failure of an internal fuse, before the other routine tests a preliminary capacitance measurement shall be made. This capacitance measurement can be performed with a reduced voltage.

Note. — The manufacturer shall, on request, measure as a type test:

- 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. The measurement shall be carried out at about rated voltage, where this is possible, but, if the rated voltage will cause undue heating at certain temperatures a lower voltage may be used (Sub-clause 27.2).

9.2 *Capacitance tolerances*

The capacitance which may be a calculated value for banks shall not differ from the rated capacitance by more than:

- ± 7.5% for units;
- ± 5.0% for banks with a rating less than 10 Mvar per phase;
- ± 3.0% for banks with a rating of 10 Mvar or more per phase.

Further, the capacitance shall not differ by more than:

- 3.0% between any two phases with a bank rating less than 2 Mvar per phase;
- 1.0% between any two phases with a bank rating of 2 Mvar or more per phase.

Closer tolerances might be required for capacitors in more important transmission lines (Sub-clause 27.1).

10. Capacitor loss measurements (routine test)

10.1 *Measuring procedure*

The capacitor losses (or $\tan \delta$) shall be measured at 0.9 to 1.1 times the rated voltage using a method which excludes errors due to harmonics and to accessories such as resistors, reactors and blocking circuits in the measuring circuit (Note to Sub-clause 3.14). The accuracy of the measuring method shall be given.

La mesure peut être effectuée à une tension différente, pourvu que les facteurs de correction appropriés fassent l'objet d'un accord entre le constructeur et l'acheteur.

Note. — Sur demande, le constructeur effectuera un essai de type destiné à mesurer les pertes du condensateur (ou $\text{tg } \delta$) à l'état stable, à la puissance nominale en fonction de la température ambiante à l'intérieur d'une catégorie de température (paragraphe 28.4).

10.2 *Garantie sur les pertes et tolérances*

Les prescriptions relatives aux pertes du condensateur, aux tolérances et aux températures de référence doivent faire l'objet d'un accord entre le constructeur et l'acheteur (paragraphe 28.4).

11. **Essais diélectriques entre bornes**

11.1 *Essai de tenue en tension continue (essai individuel)*

Chaque condensateur doit être soumis pendant 10 s à un essai en courant continu, la tension d'essai étant : $U_t = 1,55 U_s (\approx 1,1 \sqrt{2} U_s)$, sans être inférieure à $4,3 U_N$.

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

Pour les condensateurs autorégénérateurs métallisés, des amorçages à disparition spontanée entre électrodes sont admis au cours de l'essai, à condition que les valeurs de $\text{tg } \delta$ et de capacité mesurées avant et après l'essai ne décèlent aucune variation significative.

Notes 1. — Des condensateurs unitaires, présentant une variation de la capacité due à la coupure d'un fusible, peuvent être insérés dans une livraison seulement sur accord du constructeur et de l'utilisateur.

2. — Si les condensateurs unitaires doivent être essayés à nouveau après montage, il est recommandé d'utiliser une tension comprise entre 65% et 75% de U_t .

11.2 *Essai à tension d'essai de courte durée et mesure de décharges partielles (essai de type)*

Les tensions appliquées au cours de cet essai doivent être de forme pratiquement sinusoïdale. Le circuit d'essai doit être suffisamment amorti pour que les surtensions dues aux phénomènes transitoires soient réduites le plus possible.

Lorsque le condensateur unitaire a atteint l'état stable, à la puissance nominale, conformément au paragraphe 3.22, une tension alternative égale à U_s doit être appliquée au condensateur pendant une durée de 1 s et une seule fois. La tension doit alors être abaissée à $1,6 U_N$ et maintenue pendant une période de 10 min (pour les condensateurs autorégénérateurs métallisés, cette période doit être de 30 min).

Le cycle d'essai doit être effectué sans interruption de la tension. A aucun moment pendant la période finale de 10 min (ou 30 min dans le cas des condensateurs autorégénérateurs métallisés), on ne devra observer d'augmentation du taux des décharges partielles.

La méthode de mesure des décharges partielles doit être conforme aux recommandations de la Publication 270 de la CEI : Mesure des décharges partielles.

Avant et après l'exécution de l'essai, la capacité doit être mesurée conformément au paragraphe 9.1 ; les résultats de ces deux mesures sont affectés d'un facteur de correction approprié afin d'être ramenés à une même température du diélectrique (paragraphe 8.2). Ces mesures ne doivent faire apparaître aucune variation importante de la capacité, et en tout cas celle-ci doit être moindre que celle correspondant à la perforation d'un des éléments ou à la coupure d'un des fusibles.

Il y a lieu de tenir compte de deux facteurs dans l'interprétation des résultats :

- la reproductibilité de la mesure ;
- le fait qu'un changement interne dans le diélectrique peut provoquer une faible variation de la capacité sans qu'aucun élément de condensateur n'ait été perforé, ni qu'aucun fusible interne n'ait fondu.

Note. — L'essai à tension d'essai de courte durée doit toujours être effectué sur un condensateur unitaire complet. L'essai de vérification des décharges partielles peut manquer de sensibilité si la capacité du condensateur est plus grande que celle pour laquelle est prévu l'appareil de mesure. Dans ce cas, le constructeur et l'acheteur devraient convenir que l'essai sera effectué sur un condensateur de capacité plus faible, conçu et réalisé d'une manière identique à celui qui devait subir l'essai.

Measurement at another voltage is permitted, provided that appropriate correction factors are agreed between the manufacturer and the purchaser.

Note. — The manufacturer shall on request measure as a type test the capacitor losses (or $\tan \delta$) under steady-state condition at rated output as a function of ambient temperature within the temperature category (Sub-clause 28.4).

10.2 *Loss guarantee and tolerances*

The requirements regarding capacitor losses, tolerances and reference ambient temperatures are to be agreed between the manufacturer and the purchaser (Sub-clause 28.4).

11. **Voltage tests between terminals**

11.1 *Voltage withstand test (routine test)*

Every capacitor unit shall be subjected for 10 s to a d.c. test, the test voltage being $U_t = 1.55 U_s$ ($\approx 1.1 \sqrt{2} U_s$) but not less than $4.3 U_N$.

During the test, neither puncture nor flashover shall occur.

For self-healing metallized capacitors, self-healing breakdowns are allowed during the test, but no significant changes in values of $\tan \delta$ and capacitance measured before and after the voltage test are allowed.

Notes 1. — A unit showing capacitance changes due to blown internal fuse(s) may be included in the delivery only after agreement between the manufacturer and the purchaser.

2. — If the capacitor units are to be re-tested when erected, a voltage between 65% and 75% of U_t is recommended.

11.2 *Short-time voltage and partial discharge test (type test)*

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

After the capacitor unit has attained steady-state conditions at rated output according to Sub-clause 3.22, an a.c. voltage equal to U_s shall be applied once only to the capacitor for 1 s. The voltage shall then be reduced to $1.6 U_N$ and maintained for a period of 10 min (for self-healing metallized capacitors this period shall be of 30 min).

The test cycle must be made without voltage interruption. There shall be no increase in partial discharge level at any time during the final period of 10 min (or 30 min in the case of self-healing metallized capacitors).

The method of measuring partial discharges shall be consistent with the Recommendation of IEC Publication 270, Partial discharge measurements.

Before and after the test, the capacitance shall be measured according to Sub-clause 9.1 and the two measurements shall be corrected to the same dielectric temperature (Sub-clause 8.2). No significant change of capacitance shall be apparent from these measurements and in any case it shall be less than the change corresponding to a puncture of an element or to the blowing of a fuse.

When interpreting the results of the measurements, two factors shall be taken into account:

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

Note. — The short-time voltage test shall always be made on a complete unit. The test for verifying the partial discharges may be insensitive if the capacitance tested is too large in relation to that for which the test apparatus is designed. In this case, agreement should be reached between the manufacturer and the purchaser regarding the testing of a smaller capacitor of the same design and construction.

12. Essais diélectriques entre bornes et cuve

12.1 Généralités

Sauf spécification contraire, les essais rapportés dans cet article doivent être effectués conformément aux prescriptions de la Publication 60 de la CEI : Essais à haute tension.

12.2 Essai en courant alternatif à sec (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 tension d'essai doit avoir une valeur correspondant au niveau d'isolement de l'unité conformément à la colonne « Isolement interne » du tableau II ou III.

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

Les unités ayant une borne reliée en permanence à la cuve ne seront pas soumises à cet essai, mais l'isolation de la cuve sera prévue de manière à laisser une marge de sécurité suffisante en cas d'apparition d'une contrainte diélectrique supérieure à celle existant entre les bornes, surtout si des fusibles sont disposés à l'intérieur, pour éviter le risque qu'un défaut d'isolation de la cuve ne court-circuite partiellement ou totalement les fusibles internes.

12.3 Essai en courant alternatif à sec (essai de type)

Les condensateurs unitaires dont toutes les bornes sont isolées de la cuve doivent être soumis au même essai qu'au paragraphe 12.2, mais la durée d'application de la tension sera portée à 1 min.

Les condensateurs unitaires dont l'une des bornes est raccordée en permanence à la cuve doivent être soumis au même essai, l'unité utilisée ne comprenant que la cuve et la (les) borne(s) de traversée (sans élément).

En outre, l'isolement externe des condensateurs unitaires destinés à être utilisés à l'intérieur des bâtiments doit être soumis à une tension d'essai d'une durée de 1 min dont la valeur est tirée de la colonne « Isolement externe » du tableau II ou III et correspondant à la valeur de la tension d'essai établie au paragraphe 7.2.

L'unité utilisée peut ne comprendre que la cuve et la (les) borne(s) de traversée (sans élément).

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

12.4 Essai en courant alternatif sous pluie (essai de type)

L'isolement externe des condensateurs unitaires destinés à être utilisés à l'extérieur des bâtiments doit être soumis à un essai sous pluie artificielle d'une durée de 1 min, à une tension d'essai tirée de la colonne « Isolement externe » du tableau II ou III et correspondant à la valeur de la tension d'essai établie au paragraphe 7.2. L'unité utilisée peut ne comprendre que la cuve et la (les) borne(s) de traversée (sans élément).

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

12.5 Essai de tension de choc (essai de type)

Les condensateurs unitaires dont toutes les bornes sont isolées de la cuve doivent être soumis à un essai de choc avant l'essai diélectrique en courant alternatif spécifié au paragraphe 12.3 ou 12.4.

L'essai de choc doit être effectué avec une onde de choc de forme 1,2/50 μ s dont la valeur de crête, tirée de la colonne « tension d'essai de choc » du tableau II ou III, correspond à la valeur de la tension d'essai établie au paragraphe 7.2.

L'absence de défauts pendant l'essai est vérifiée à l'aide d'un oscillographe cathodique qui est utilisé pour enregistrer la tension et pour vérifier la forme d'onde.

Cinq chocs de chaque polarité doivent être appliqués entre les bornes (raccordées entre elles) et la cuve. En cas de perforation ou s'il se produit un contournement pour plus d'un choc, dans une série de cinq chocs de même polarité, on doit considérer que le condensateur unitaire n'a pas

12. Voltage tests between terminals and container

12.1 General

Unless otherwise specified, the tests contained in this Clause shall be carried out in accordance with the relevant requirements of IEC Publication 60, High-voltage test techniques.

12.2 A. C. voltage test, dry (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 test voltage shall have a value corresponding to the insulation level of the unit, in accordance with columns for internal insulation of Tables II or III.

During the test, neither puncture nor flashover shall occur.

Units having one terminal permanently connected to the container shall not be subjected to this test, but the insulation with respect to the container shall be dimensioned with a sufficient margin to provide a dielectric strength higher than that between terminals, especially if internal fuses are used, to avoid the risk of an insulation failure to the container completely or partially bypassing the internal fuses.

12.3 A.C. voltage test, dry (type test)

Units having all terminals insulated from the container shall be subjected to a test according to Sub-clause 12.2 but with the duration of the test increased to 1 min.

Units having one terminal permanently connected to the container shall be subjected to the same test but the test unit shall consist of the terminal bushing(s) and container (without elements).

Furthermore, the external insulation of units for indoor use shall be subjected to a test for 1 min taking the test voltage from the column for external insulation in Table II or III, which corresponds to the values of test voltage chosen for the test stated in Sub-clause 7.2.

The test unit may consist of bushing(s) and container (without elements).

During the test, neither puncture nor flashover shall occur.

12.4 A.C. voltage test, wet (type test)

The external insulation of units for outdoor use shall be subjected to a test for 1 min with artificial rain. The test voltage shall be taken from the column for external insulation in Table II or III, which corresponds to the value of test voltage chosen for the test stated in Sub-clause 7.2. The test unit may consist of bushing(s) and container (without elements).

During the test, neither puncture nor flashover shall occur.

12.5 Impulse voltage test (type test)

Units having all terminals insulated from the container shall be subjected to an impulse withstand test before the a.c. voltage test specified in Sub-clauses 12.3 or 12.4.

The impulse test shall be made with wave-form 1.2/50 μ s having a peak value taken from the column of impulse test voltage of Table II or III, which corresponds to the value of test voltage chosen for the test stated in Sub-clause 7.2.

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

Five impulses of each polarity shall be applied between the terminals (joined together) and the container. In the case of a puncture, or if flashover occurs at more than one impulse of a series of five impulses of the same polarity, the unit shall be considered as not having passed the test.

subi l'essai avec succès. Si un contournement se produit dans une série de cinq chocs, l'essai doit être prolongé en appliquant dix nouveaux chocs de même polarité. S'il ne se produit aucun autre contournement, le condensateur unitaire doit être considéré comme ayant subi l'essai avec succès.

Les condensateurs unitaires dont une borne est reliée en permanence à la cuve (que la cuve soit destinée à être mise à la terre ou à être isolée extérieurement) ainsi que ceux non prévus pour l'installation en situation exposée ne doivent pas être soumis à cet essai.

13. Essais diélectriques sur les installations de condensateurs (essai de type)

Sur accord entre le constructeur et l'acheteur, des essais diélectriques doivent être effectués entre les parties d'une installation de condensateurs (entre bornes et terre, entre phases et entre les bornes et les structures qui ne sont pas au potentiel de la terre) dans le but de vérifier le niveau d'isolement de l'installation même.

Les essais sont les mêmes que ceux prévus aux paragraphes 12.3, 12.4 et 12.5, et les valeurs des tensions d'essai doivent être tirées des tableaux II, III et IV, en tenant compte également des articles 7 et 30.

14. Essai de décharge (essai de type)

Le condensateur unitaire doit être chargé à une tension de $\sqrt{2} U_N$ et déchargé à travers un circuit résonnant aux conditions suivantes :

- la valeur de crête du courant de décharge doit être supérieure ou égale à 120 fois la valeur efficace du courant nominal du condensateur unitaire ;
- la loi de décroissance du courant de décharge doit être agréée entre le constructeur et l'utilisateur, conformément aux conditions de fonctionnement.

Cette décharge doit être répétée 10 fois à des intervalles de 5 s. On pourra adopter un intervalle plus long par accord entre les parties.

En outre, le même condensateur unitaire doit être chargé à une tension de valeur $\sqrt{2} U_{lim}$ puis déchargé sur un circuit ayant une impédance négligeable. Cette décharge doit être effectuée une seule fois immédiatement avant ou après les décharges ainsi amorties.

Aussi vite que possible après la dernière décharge, et de préférence dans les 10 s, une tension alternative égale à $1,6 U_N$ doit être appliquée à l'unité et maintenue pendant 10 min (pour les condensateurs autorégénérateurs métallisés, cette période doit être de 30 min). A aucun moment de cette dernière période de 10 min, on ne doit observer d'augmentation du taux des décharges partielles.

Avant et après l'exécution de l'essai, la capacité doit être mesurée conformément au paragraphe 9.1 ; les résultats de ces deux mesures sont affectés d'un facteur de correction approprié afin d'être ramenés à une même température du diélectrique (paragraphe 8.2). Ces mesures ne doivent faire apparaître aucune variation importante de la capacité. Dans l'interprétation des résultats, il y a lieu de tenir compte des facteurs indiqués au paragraphe 11.2.

Les fusibles externes destinés aux condensateurs unitaires ou aux groupes de condensateurs unitaires doivent être soumis à l'essai de décharge, soit en même temps que le(s) condensateur(s), soit séparément (paragraphe 18.2).

Notes 1. — La mesure du courant de décharge doit être effectuée selon les spécifications de la Publication 60 de la CEI.

2. — L'essai de décharge doit être toujours effectué sur une unité complète. Si la mesure des décharges partielles ne peut être exécutée avec une précision satisfaisante sur une unité complète (note du paragraphe 11.2), un essai de décharge supplémentaire, comprenant la mesure des décharges partielles, doit être effectué sur un modèle.

If one flashover occurs in a series of five impulses, the test shall be extended by applying ten additional impulses of the same polarity. If no further flashover occurs, the unit shall be considered as having passed the test.

Units with one terminal permanently connected to the container whether this container is intended to be earthed or to be externally insulated, and units not intended for exposed installation shall not be subjected to this test.

13. **Voltage tests on capacitor equipment (type test)**

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

The tests are the same as stated in Sub-clauses 12.3, 12.4 and 12.5, and the values of test voltage shall be taken from Tables II, III and IV, taking into account the contents of Clauses 7 and 30.

14. **Discharge test (type test)**

The capacitor unit shall be charged to a voltage of $\sqrt{2} U_s$ and discharged through a circuit which satisfies the following conditions:

- the peak value of the discharge current shall not be less than 120 times the rated (r.m.s.) current of the capacitor unit;
- the decrement of the discharge current shall be agreed between manufacturer and purchaser in conformity with the service conditions.

This discharge shall be repeated 10 times at intervals of 5 s. A longer interval may be agreed.

Furthermore, the same unit shall be charged to a voltage of $\sqrt{2} U_{lim}$ and then discharged through a circuit having a negligible impedance. This discharge shall be performed once only, immediately before or after the so damped discharges.

As quickly as possible after the last discharge, and preferably within 10 s, an a.c. voltage of $1.6 U_N$ shall be applied and maintained for 10 min (for self-healing metallized capacitors this period shall be of 30 min). There shall be no increase in partial discharge level during the last 10 min.

Before and after the test, the capacitance shall be measured according to Sub-clause 9.1 and the two measurements shall be corrected to the same dielectric temperature (Sub-clause 8.2). No significant change of capacitance shall be apparent from these measurements. When interpreting the results of the measurements, the factors stated in Sub-clause 11.2 shall be taken into account.

External fuses intended for units or groups of units shall be subjected to the discharge test either together with the unit(s) or separately (Sub-clause 18.2).

Notes 1. — The discharge current shall be measured according to IEC Publication 60.

2. — The discharge test shall always be made on a complete capacitor unit. If the partial discharge measurement cannot be made with satisfactory accuracy on a complete unit (note to Sub-clause 11.2) an additional discharge test including partial discharge measurement shall be made on a model unit.

3. — Si le courant de décharge calculé du condensateur, dans le cas de fonctionnement de l'éclateur, s'écarte sensiblement de 100 fois le courant nominal dans le cas de dispositifs de protection contre les surtensions de type A (paragraphe 29.2), ou de 50 fois le courant nominal dans le cas de dispositifs de type B, il est permis de porter, par accord entre les parties, le courant de décharge spécifié pour l'essai, pour le type A à 1,2 fois et pour le type B à 2,4 fois la première pointe du courant de décharge calculé.
4. — Si les condensateurs en fonctionnement doivent être soumis à de fréquentes décharges, les décharges amorties peuvent, sur accord, atteindre le nombre de 20.

15. Essai de stabilité thermique (essai de type)

Pour cet essai on choisit un condensateur dont la puissance doit être autant que possible égale à la puissance nominale et dont la $\text{tg } \delta$ est la plus haute des condensateurs à essayer. Sur demande spéciale, les fusibles externes, s'ils sont utilisés, doivent subir l'essai soit en même temps que l'unité considérée, soit séparément (paragraphe 18.2).

Le condensateur est placé en air calme dans une enceinte où la température ambiante (paragraphe 3.20) dépasse de 3 °C à 7 °C la limite supérieure de la catégorie de température appropriée. La position du condensateur doit correspondre à celle du montage en service. Pendant toute la durée de l'essai, la température de l'air ambiant doit être maintenue le plus stable possible et contrôlée au moyen d'un thermomètre dont la constante de temps est voisine de 1 h.

Après que toutes les parties du condensateur (et les fusibles externes, s'ils existent) ont atteint la température de l'air ambiant, le condensateur est soumis, pendant une durée d'au moins 48 h, à une tension alternative de forme pratiquement sinusoïdale. Pendant toute la durée de l'essai, la valeur de cette tension doit être réglée de façon que la puissance réactive du condensateur soit égale à 1,44 fois sa puissance nominale. Pendant les dernières 10 h de l'essai, on mesure toutes les deux heures la tangente de l'angle de pertes (paragraphe 10.1) et la température de la partie supérieure de la cuve. Pendant cette période de 10 h, l'accroissement de la tangente de l'angle de pertes ne doit pas être supérieur à 1×10^{-4} et celui de l'échauffement ne doit pas dépasser 1 °C. Si une variation plus grande est observée, l'essai doit être poursuivi jusqu'à ce que la stabilisation ou une perforation se produise.

Avant et après l'exécution de l'essai, la capacité doit être mesurée conformément au paragraphe 9.1 dans la gamme de températures normalisées prévue pour les essais ; les résultats de ces deux mesures sont affectés d'un facteur de correction afin d'être ramenés à une même température du diélectrique (paragraphe 8.2). Ces mesures ne doivent faire apparaître aucune variation importante de la capacité. Dans l'interprétation des résultats il y a lieu de tenir compte des facteurs indiqués au paragraphe 11.2.

Notes 1. — Cet essai est destiné à s'assurer de la stabilité thermique d'un condensateur dans des conditions de surcharge prolongée, dans les limites admises au paragraphe 23.1.

2. — Lorsque l'on s'assure que les conditions de température et de pertes du condensateur sont remplies, on doit tenir compte des fluctuations de la tension, de la fréquence et de la température de l'air ambiant au cours de l'essai. A cette fin, il est conseillé de tracer ces paramètres en fonction du temps ainsi que la tangente de l'angle de pertes et l'échauffement.

16. Mesure de la température du point chaud (essai de type)

L'essai doit être effectué uniquement sur accord entre le constructeur et l'utilisateur. Cet essai ne devrait pas être demandé si la température maximale de l'air ambiant (paragraphe 3.20) est inférieure d'au moins 20 °C à la limite supérieure de la catégorie de température pour laquelle est prévu le condensateur.

Seules les mesures de la capacité et des pertes doivent avoir été exécutées préalablement sur les unités soumises au présent essai.

La température du point chaud doit être mesurée à l'état stable, à la puissance nominale et à une température ambiante égale à la limite supérieure de la catégorie de température en air calme. La température doit être mesurée à l'aide, par exemple, de couples thermo-électriques placés à l'intérieur du condensateur entre deux éléments dans au moins deux positions choisies le plus

3. — If the calculated value of the capacitor discharge current which is likely to occur when the overvoltage protector operates is substantially different from 100 or 50 times the rated current in the case of overvoltage protectors type A and B respectively (Sub-clause 29.2) the value of the discharge current specified for the test may be changed by agreement for type A to 1.2 times and for type B to 2.4 times the first amplitude of the discharge current when the spark-gap operates.
4. — If the capacitors in service are expected to be subjected to frequent discharges, the number of damped discharges in the above test may, by agreement, be increased to 20.

15. Thermal stability test (type test)

The capacitor chosen for this test shall have an output as nearly as possible equal to the rated output, and a value of $\tan \delta$ the highest of those capacitors available for test. On special request external fuses, if used, shall be tested together with the sample unit or separately (Sub-clause 18.2).

The capacitor shall be placed in still air in an enclosure where the ambient air temperature (Sub-clause 3.20) is from 3 °C to 7 °C higher than the upper limit of the temperature category. The mounting position of the unit shall correspond to the service conditions. Throughout the test, the ambient air temperature shall be maintained as stable as possible and checked by means of a thermometer having a thermal time constant of approximately 1 h.

After all parts of the capacitor (and the external fuse, if any) have attained the temperature of the ambient air, the 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 adjusted throughout the test so that the reactive power of the capacitor is equal to 1.44 times its rated output. During the last 10 h, the tangent of the loss angle (Sub-clause 10.1) and the temperature of the container near the top shall be measured every two hours, and throughout this period of 10 h the tangent of the loss angle shall not increase by more than 1×10^{-3} and the temperature rise shall not increase by more than 1 °C. Should a greater change be observed, the test shall be continued until either stabilization or breakdown occurs.

Before and after the test, the capacitance shall be measured according to Sub-clause 9.1 within the standard temperature range for testing and the two measurements shall be corrected to the same dielectric temperature (Sub-clause 8.2). No significant change of capacitance shall be apparent from these measurements. When interpreting the results of the measurements, the factors stated in Sub-clause 11.2 shall be taken into account.

Notes 1. — The thermal stability test is intended to ensure the thermal stability of the capacitor under prolonged overload conditions within the limits permitted in Sub-clause 23.1.

2. — When checking whether the capacitor loss and temperature conditions are satisfied, fluctuations of voltage, frequency and ambient air temperature during the test shall be taken into account. For this reason, it is advisable to plot these parameters and the tangent of the loss angle and the temperature rise as a function of time.

16. Measurement of hot-spot temperature (type test)

The test shall be made only by agreement between manufacturer and purchaser. This test should not be required if the highest ambient air temperature (Sub-clause 3.20) is at least 20 °C lower than the upper limit of the temperature category for which the capacitor is designed.

Units intended for this test need only have passed the capacitance and loss measurement test.

The hot-spot temperature shall be measured in the steady-state condition at rated output at an ambient temperature equal to the upper limit of the temperature category in still air. The temperature shall be measured by e.g. thermocouples placed inside the capacitor between two elements, in at least two positions expected to be near the hot spot. For individual units, the temperature

près possible du point chaud. Pour les unités, l'accroissement de température est considéré comme étant proportionnel au produit de la puissance réactive par $\text{tg } \delta$ et l'accroissement de température de chaque unité, déterminé de cette manière, ne doit pas dépasser la limite convenue.

Note. — Cet essai peut être effectué sur un condensateur unitaire dont les éléments ont des caractéristiques thermiques et un isolement identiques à l'unité à livrer, et muni de dispositifs de décharge (s'ils existent) ayant les mêmes pertes.

17. Essai de tenue au froid (essai de type)

Il n'est pas nécessaire d'effectuer cet essai de type si la valeur estimée de la température minimale de l'air ambiant (paragraphe 3.20) est d'au moins 20 °C supérieure à la limite inférieure de la catégorie de température pour laquelle est prévu le condensateur.

Sur accord entre le constructeur et l'utilisateur, les fusibles externes destinés aux unités ou aux groupes de condensateurs doivent être soumis à l'essai de tenue au froid, qu'ils soient essayés avec l'unité (les unités) ou séparément (paragraphe 18.2).

Le diélectrique du condensateur doit avoir initialement une température égale à la limite inférieure de la catégorie de température.

Une tension alternative égale à $2 U_N$ doit être appliquée et maintenue pendant 1 min ; la tension doit être ensuite abaissée, sans interruption, à une valeur de $1,6 U_N$ et maintenue pendant 20 min (pour les condensateurs autorégénérateurs, cette période doit être de 30 min). Pendant les dernières 10 min, aucune augmentation du niveau des décharges partielles ne doit être observée.

Avant et après l'exécution de l'essai, la capacité doit être mesurée conformément au paragraphe 9.1 ; les résultats de ces deux mesures sont affectés d'un facteur de correction afin d'être ramenés à une même température du diélectrique (paragraphe 8.2). Ces mesures ne doivent faire apparaître aucune variation importante de la capacité.

Dans l'interprétation des résultats il y a lieu de tenir compte des facteurs indiqués au paragraphe 11.2.

Note. — L'essai de tenue au froid doit être toujours effectué sur un condensateur unitaire complet. Si la mesure des décharges partielles ne peut être exécutée avec une précision satisfaisante sur une unité complète, le constructeur et l'utilisateur peuvent convenir que l'essai sera effectué sur un condensateur de capacité plus faible, conçu et réalisé d'une manière identique à celui qui devait être essayé.

18. Essais des fusibles

Outre les essais décrits dans les paragraphes suivants, les fusibles externes doivent satisfaire aux spécifications des recommandations de la CEI pour les fusibles, dans les cas où celles-ci sont applicables.

18.1 Essai de tenue à la décharge des fusibles internes (essai individuel)

Les condensateurs unitaires pourvus de fusibles internes doivent être soumis à une décharge non amortie à une tension d'au moins $1,7 U_N$ ($\approx 1,2 \sqrt{2} U_N$) (article 14 et paragraphe 26.3).

Avant et après l'essai, la capacité doit être mesurée et aucune variation importante ne doit apparaître.

Notes 1. — Cet essai individuel a pour but de mettre en évidence des défauts constructifs des fusibles internes. L'aptitude des fusibles internes à tenir le courant de décharge est contrôlée par l'essai de type de l'article 14.

2. — Des condensateurs unitaires, sièges d'une variation de la capacité due à la coupure d'un fusible, peuvent être insérés dans une livraison, seulement sur accord du constructeur et de l'utilisateur.

18.2 Essai de tenue au courant des fusibles externes (essai de type)

Les fusibles externes destinés aux condensateurs unitaires doivent se trouver dans le circuit (et l'enceinte thermique) pendant l'essai de décharge (article 14) et, sur demande spéciale, également durant l'essai de stabilité thermique (article 15) et l'essai de fonctionnement à froid (article 17).

rise is regarded as being proportional to the product of the reactive power and $\tan \delta$, and the temperature rise of any single unit, determined in this way, must not exceed the limit agreed upon.

Note. — This test may be carried out on any unit whose elements and container insulation have thermal characteristics identical with those of the units to be delivered and whose internal discharge resistors (if any) have equal losses.

17. Cold duty test (type test)

This type test should not be required if the lowest ambient air temperature (Sub-clause 3.20) is likely to be at least 20 °C higher than the lower limit of the temperature category for which the capacitor is designed.

On agreement between manufacturer and purchaser, external fuses intended for units or groups of units shall be subjected to the cold duty test either when tested together with the unit(s) or separately (Sub-clause 18.2).

The capacitor dielectric shall initially be at a temperature equal to that of the lower limit of the temperature category.

An a.c. voltage of $2 U_N$ shall be applied and maintained for 1 min after which the voltage without interruption shall be reduced to $1.6 U_N$ and maintained for 20 min (for self-healing metallized capacitors this period shall be of 30 min). There shall be no increase in partial discharge level during the last 10 min.

Before and after the test, the capacitance shall be measured according to Sub-clause 9.1 and the two measurements shall be corrected to the same dielectric temperature (Sub-clause 8.2). No significant change of capacitance shall be apparent from these measurements.

When interpreting the results of the measurements, the factors stated in Sub-clause 11.2 shall be taken into account.

Note. — The cold duty test shall always be made on a complete capacitor unit. If the partial discharge measurements cannot be made with satisfactory accuracy on a complete unit, agreement should be reached between the manufacturer and the purchaser regarding the testing of a smaller capacitor of the same design and construction.

18. Tests on fuses

In addition to the tests described in the following sub-clauses, external fuses shall meet the requirements imposed by the relevant IEC Recommendations for fuses, when applicable.

18.1 Discharge current withstand test of internal fuses (routine test)

Units equipped with internal fuses shall be subjected to one undamped discharge from a voltage of at least $1.7 U_N$ ($\approx 1.2 \sqrt{2} U_N$) (Clause 14 and Sub-clause 26.3).

Before and after the test, the capacitance shall be measured and no significant change shall be apparent.

Notes 1. — This routine test is intended to reveal manufacturing defects of internal fuses. The inherent capability of the internal fuses to withstand discharge currents is checked by the type test specified in Clause 14.

2. — A unit showing capacitance change due to blown internal fuse(s) may be included in the delivery only after agreement between the manufacturer and the purchaser.

18.2 Current withstand tests of external fuses (type test)

External fuses intended for units shall be in the circuit (and thermal enclosure) during the discharge test (Clause 14) and, if agreed between manufacturer and purchaser, also during the thermal stability test (Clause 15) and the cold duty test (Clause 17).

Les fusibles externes destinés aux condensateurs unitaires peuvent être soumis séparément à un essai de type dans les mêmes conditions que ci-dessus.

Les fusibles externes destinés aux groupes d'unité doivent être soumis séparément à un essai de type, dans les mêmes conditions ambiantes que celles décrites ci-dessus. Les conditions électriques des fusibles seront les mêmes que si le groupe complet d'unités avait été soumis à l'essai.

18.3 *Essai des caractéristiques temps-courant des fusibles (essai de type)*

Le constructeur doit fournir à l'utilisateur les caractéristiques temps-courant des fusibles en question pour les valeurs les plus significatives, à savoir les courbes limites tenant compte de la dispersion des propriétés et de l'influence des valeurs initiales de la température. Cela est valable tant pour les fusibles internes que pour les fusibles externes (paragraphe 29.1).

18.4 *Essai de pouvoir de coupure des fusibles (essai de type)*

A l'étude.

19. **Essai du dispositif de décharge interne (essai individuel)**

La résistance du dispositif de décharge interne, si elle existe, doit être vérifiée soit par une mesure de la résistance, soit par une mesure du taux d'autodécharge (article 4).

20. **Essai de régénération pour les condensateurs autorégénérateurs métallisés (essai de type)**

Chaque condensateur doit être soumis pendant 10 s à un essai en courant continu, la tension d'essai étant $U_t = 1,55 U_s$, sans être inférieure à $4,3 U_N$.

Si pendant cette période moins de cinq perforations se produisent, la tension doit être augmentée lentement jusqu'au moment où cinq perforations se soient produites à partir du début de l'essai.

La tension doit alors être diminuée jusqu'à 0,8 fois la valeur initiale (soit $0,8 U_t$ ou $3,44 U_N$) et maintenue pendant 10 s. Aucune nouvelle perforation ne doit se produire après diminution de la tension.

Avant et après l'essai, la capacité doit être mesurée et aucune variation importante ne doit apparaître.

Dans l'interprétation des résultats il y a lieu de tenir compte des facteurs indiqués au paragraphe 11.2.

21. **Essai d'étanchéité (essai individuel)**

Les modalités de l'essai d'étanchéité doivent faire l'objet d'un accord entre le constructeur et l'acheteur.

SECTION CINQ — CARACTÉRISTIQUES NOMINALES

22. **Plaque signalétique et notice d'instructions**

22.1 *Condensateurs unitaires*

Les indications suivantes seront données sur la plaque signalétique de chaque condensateur unitaire :

- 1) Constructeur.
- 2) Numéro d'identification.
- 3) Puissance nominale Q_N , en kilovars.
- 4) Capacité nominale C_N , en microfarads.
- 5) Courant nominal I_N , en ampères.
- 6) Fréquence nominale, en hertz.

External fuses for units may be type tested separately under equal conditions as described above.

External fuses for groups of units shall be type tested separately under equal ambient conditions as described above. The electrical conditions for the fuse shall be such as if the complete group of units with fuse were being tested.

18.3 *Test of the current-time characteristics of fuses (type test)*

The manufacturer shall submit to the purchaser the current-time characteristics of the fuses in question within the relevant current range, viz. the limit curves which take into account the inherent spread in properties and the influence of different initial temperatures. This applies to both internal and external fuses (Sub-clause 29.1).

18.4 *Breaking capacity test of fuses (type test)*

Under consideration.

19. **Test of internal discharge device (routine test)**

The resistance of the internal discharge device, if any, shall be checked either by a resistance measurement or by measuring the self-discharging rate (Clause 4).

20. **Self-healing test for self-healing metallized capacitors (type test)**

The capacitor shall be subjected for 10 s to a d.c. voltage of $U_t = 1.55 U_s$ but not less than $4.3 U_N$.

If fewer than five breakdowns occur during this time, the voltage shall be increased slowly until five breakdowns have occurred since the beginning of the test.

After this, the voltage shall be decreased to 0.8 times its initial value (i.e. $0.8 U_t$ or $3.44 U_N$) and maintained for 10 s. No further breakdown shall occur after decreasing the voltage.

The capacitance and the capacitor losses shall be measured before and after this test. No significant change in these values is allowed.

When comparing the results of capacitance and loss measurements obtained, the factors stated in Sub-clause 11.2 shall be taken into account.

21. **Sealing test (routine test)**

The details of the sealing test are to be agreed between the manufacturer and the purchaser.

SECTION FIVE — RATING

22. **Rating plate and instruction sheet**

22.1 *Capacitor units*

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

- 1) Manufacturer.
- 2) Identification number.
- 3) Rated output Q_N , in kilovars.
- 4) Rated capacitance C_N , in microfarads.
- 5) Rated current I_N , in amperes.
- 6) Rated frequency, in hertz.

- 7) Tension nominale U_N , en volts ou kilovolts.
- 8) Tension de courte durée U_s , en volts ou kilovolts.
- 9) Catégorie de température.
- 10) Niveau d'isolement.
- 11) Référence au système d'autorégénération.
- 12) Valeur de la résistance de décharge, si celle-ci est incorporée.
- 13) Présence de fusibles internes, s'ils existent.

Un emplacement doit être réservé pour l'indication de la valeur de la capacité mesurée (paragraphe 9.2). Cette valeur peut être indiquée de l'une des façons suivantes :

- par la valeur absolue de la capacité qui peut remplacer la valeur de la capacité nominale ;
- par la différence ΔC entre la capacité mesurée et la capacité nominale, indiquée par les symboles suivants :

- ++ pour ΔC comprise entre +7,5% et +4,5%
- + pour ΔC comprise entre +4,5% et +1,5%
- +− pour ΔC comprise entre +1,5% et −1,5%
- − pour ΔC comprise entre −1,5% et −4,5%
- −− pour ΔC comprise entre −4,5% et −7,5%

Le niveau d'isolement doit être indiqué par deux nombres séparés par une barre, le premier nombre donnant la valeur efficace de la tension d'essai à fréquence industrielle, pour l'isolation interne, en kilovolts, et le deuxième, la valeur de crête de la tension d'essai de choc, en kilovolts, (par exemple : 28/75). Dans le cas d'unités non prévues pour l'installation en situation exposée, le deuxième nombre est remplacé par un tiret (par exemple : 28/—).

Les renseignements portant sur la sécurité des personnes ou des installations doivent être indiqués soit sur la plaque signalétique du condensateur (ou sur la plaque signalétique de l'installation de condensateurs-série complète), soit dans la notice d'instructions. Dans ce dernier cas, la plaque signalétique (ou la plaque signalétique de l'installation de condensateurs-série complète) doit faire référence à cette notice d'instructions.

22.2 Installation de condensateurs-série complète

La plaque signalétique, si elle existe, ou la notice d'instructions doit contenir au moins les renseignements suivants :

- 1) Constructeur.
- 2) Puissance nominale (exemple : 3×10 Mvar).
- 3) Réactance mesurée de chaque phase.
- 4) Courant nominal I_N .
- 5) Courant admissible pour 10 min (paragraphe 23.1).
- 6) Tension nominale U_N .
- 7) Tension limite U_{lim} .
- 8) Type d'éclateur (paragraphe 29.2).
- 9) Niveau d'isolement par rapport à la terre.

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

Si la batterie est constituée de plusieurs modules connectés en série, les renseignements 3, 6 et 7 doivent être répétés sur chaque module.

23. Surcharges admissibles

23.1 Courants de service

Ce paragraphe concerne les surintensités dues à des surcharges occasionnelles et à des demandes anormales d'énergie (paragraphe 25.2).

- 7) Rated voltage U_N , in volts or kilovolts.
- 8) Short-time voltage U_s , in volts or kilovolts.
- 9) Temperature category.
- 10) Insulation level.
- 11) Reference to self-healing design.
- 12) Resistance of the discharge resistor, whether discharge resistor is fitted.
- 13) Internal fuses, whether internal fuses are fitted.

A place shall be reserved for the measured capacitance (Sub-clause 9.2). This value may be indicated in one of the following ways:

- as an absolute capacitance value which may replace the value of rated capacitance;
- as a difference ΔC between measured and rated capacitance indicated by symbols as follows:

- ++ for ΔC between +7.5% and +4.5%
- + for ΔC between +4.5% and +1.5%
- +— for ΔC between +1.5% and -1.5%
- for ΔC between -1.5% and -4.5%
- for ΔC between -4.5% and -7.5%

The insulation level 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 of the internal insulation in kV and the second number giving the peak value of the impulse test voltage in kV (for example, 28/75). For units which are not intended for exposed installation, the second number is replaced by a hyphen (for example: 28/-).

Information, which is of importance for the safety of persons or equipment, shall be stated either on the rating plate (or on the rating plate of the complete series capacitor) or in an instruction sheet. In the latter case, the rating plate (or the rating plate of the complete series capacitor) shall bear a reference to this instruction sheet.

22.2 Complete series capacitor equipment

The following minimum information shall be given on the series capacitor equipment rating plate if any, or in an instruction sheet:

- 1) Manufacturer.
- 2) Rated output (e.g. 3×10 Mvar).
- 3) Measured reactance of each phase.
- 4) Rated current I_N .
- 5) Permissible current for 10 min (Sub-clause 23.1).
- 6) Rated voltage U_N .
- 7) Limiting voltage U_{lim} .
- 8) Type of gap (Sub-clause 29.2).
- 9) Insulation level with respect to earth.

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

If the capacitor bank consists of series connected modules, items 3, 6 and 7 shall be related to each module.

23. Permissible overloads

23.1 Working currents

This sub-clause relates to overcurrents due to occasional overloads and abnormal power demand (Sub-clause 25.2).

Les batteries de condensateurs-série doivent pouvoir supporter, en service intermittent, des courants inférieurs ou égaux à 1,5 fois le courant nominal I_N dans les conditions suivantes :

- les surintensités ne doivent pas dépasser :
 - 1,10 I_N pendant 8 h dans une période de 12 h ;
 - 1,35 I_N pendant 30 min dans une période de 6 h ;
 - 1,50 I_N pendant 10 min dans une période de 2 h ;
- la puissance réactive moyenne de la batterie de condensateurs, pour chaque période de 24 h, ne doit pas dépasser de plus de 10% la puissance calculée à partir des valeurs de la capacité mesurée, de la tension nominale et de la fréquence nominale.

Note. — Les valeurs ci-dessus correspondent aux prescriptions minimales de surcharge. Pour certaines configurations du réseau, par exemple dans le cas de lignes fonctionnant en parallèle, les prescriptions peuvent être plus sévères. Cela peut modifier les prescriptions d'essai de l'article 15. En ce cas, les prescriptions d'essai devront être spécifiées individuellement.

23.2 Surtensions transitoires

Ce paragraphe concerne les surtensions dues à des défauts du réseau (paragraphe 25.3).

Les condensateurs-série doivent pouvoir supporter, en régime intermittent, des surtensions transitoires dont la valeur instantanée est la valeur la plus élevée possible susceptible de se produire aux bornes du condensateur.

L'amplitude estimée de cette surtension transitoire doit faire l'objet d'un accord entre le constructeur et l'utilisateur. L'utilisateur doit fournir la valeur estimée du taux de répétition des surtensions.

SECTION SIX — EXPLICATIONS CONCERNANT LES ESSAIS ET DIRECTIVES POUR L'INSTALLATION ET L'UTILISATION

24. Généralités

Puisque les condensateurs-série réduisent la réactance de ligne et, partant, diminuent le déphasage des tensions aux extrémités de la ligne, ils sont utilisés dans les lignes longues de transport d'énergie pour réduire la chute de tension et améliorer la stabilité du réseau, ce qui se traduit par une augmentation de la capacité de charge de la ligne.

Ils sont également utilisés pour améliorer la répartition des charges entre les lignes fonctionnant en parallèle, partant, pour réduire les pertes totales de transmission.

Par suite de leur action automatique et instantanée, les condensateurs-série sont employés dans les lignes de distribution d'énergie, pour réduire les fluctuations rapides de tension dues à des fluctuations de charge qui ne peuvent être réduites par des régulateurs de tension. En conséquence, la qualité de la tension du réseau est améliorée dans la plupart des cas (paragraphe 31.5).

Par suite des fluctuations du courant de ligne, les condensateurs-série sont soumis à de plus grandes variations de la tension entre bornes que les condensateurs shunt.

En cas de court-circuit sur le réseau, l'élévation de tension peut être telle qu'un condensateur conçu pour y résister serait peu économique. C'est pourquoi, dans la plupart des cas, les surtensions entre bornes sont limitées par un dispositif de protection contre les surtensions, raccordé en parallèle avec le condensateur.

L'influence des condensateurs-série sur le réseau et leurs conditions de service sont différentes pour chacune des utilisations qui en est faite. Pour obtenir les résultats techniques et économiques les meilleurs, il est recommandé que le constructeur et l'acheteur étudient chaque cas particulier en étroite coopération.

Series capacitor banks shall be suitable for repeated operation at currents not exceeding 1.5 times the rated current I_N , subject to the following conditions:

- the overcurrent shall not exceed:
 - 1.10 I_N for 8 h in a 12 h period;
 - 1.35 I_N for 30 min in a 6 h period;
 - 1.50 I_N for 10 min in a 2 h period;
- the average output of the capacitor bank over any service period of 24 h shall not exceed by more than 10% the output calculated from measured capacitance, rated current and rated frequency.

Note. — The above values correspond to the minimum overload requirements. With certain network configurations, e.g. for lines operating in parallel, the requirements may be more severe. This may change the test requirements of Clause 15. In this case the test requirements should be individually specified.

23.2 *Transient overvoltages*

This sub-clause relates to overvoltages due to faults in the system (Sub-clause 25.3).

Series capacitors shall be suitable for repeated operations at transient overvoltages with the highest possible instantaneous value that is expected to occur across the capacitor terminals.

The expected magnitude of the overvoltage shall be agreed between manufacturer and purchaser. The purchaser shall give the estimated repetition rate.

SECTION SIX — EXPLANATIONS REGARDING TESTS AND GUIDE FOR INSTALLATION AND OPERATION

24. **General**

Since series capacitors reduce the inductive line reactance, and thereby decrease the phase angle between the voltages at the ends of the line, they are used in long transmission lines to improve the voltage regulation and the system stability, and so to increase the loading capacity of the line.

They are also used for improving the load distribution between lines working in parallel thereby reducing the total transmission losses.

Because of their automatic and instantaneous response, series capacitors are used in distribution lines to reduce rapid voltage fluctuations, due to load fluctuations, which cannot be reduced by voltage regulators. Consequently, the voltage conditions in the system are improved in most cases, (Sub-clause 31.5).

Because of the fluctuating line current, series capacitors are subjected to much greater fluctuations of the voltage between their terminals than shunt capacitors.

When a short circuit occurs in the system, this voltage may be so high that a capacitor designed to withstand it would be uneconomical. Therefore, overvoltages between terminals are limited in most cases by an overvoltage protector which by-passes the capacitor.

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

25. Choix des valeurs nominales de la tension et du courant

25.1 Tensions nominales

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

- la tension nominale U_N correspondant à l'exploitation normale (paragraphe 3.12) calculée à partir du courant nominal et de la capacité nominale ;
- la tension d'essai de courte durée U_s correspondant aux surtensions transitoires dues à des conditions de défauts ou à des conditions anormales du réseau (paragraphe 3.17 et 23.2).

Dans la présente recommandation, on suppose qu'il n'existe aucune relation fixe entre U_s et U_N afin de ne pas imposer de limite à la conception du condensateur.

25.2 Courant nominal

Le courant nominal I_N d'une batterie de condensateurs est choisi en fonction des résultats d'une analyse des cycles prévus de charge. Etant donné qu'une certaine tolérance négative est admise pour la capacité de la batterie (paragraphe 9.2), le courant nominal devrait être choisi plus haut que celui requis d'une valeur correspondant à cette tolérance, afin d'éviter que la tension à travers le condensateur n'atteigne une valeur excessive. Il convient, en outre, de tenir compte du fait que la répartition de tension peut ne pas être uniforme lorsque l'on utilise plusieurs groupes d'unités en série, en particulier lorsque ces groupes contiennent un petit nombre d'unités en parallèle (paragraphe 27.1). La capacité dépend également de la température du diélectrique du condensateur (paragraphe 27.2).

Le courant nominal I_N d'une batterie de condensateurs devrait être choisi sur la base des trois valeurs suivantes, en tenant compte de la tolérance de la capacité de la batterie (paragraphe 23.1) :

- le quotient par 1,50 du courant maximal, choisi en fonction des résultats de l'analyse des cycles de charge, qui est maintenu à travers le condensateur pendant une ou plusieurs périodes ne dépassant pas 10 min ;
- le quotient par 1,35 du courant maximal, choisi en fonction des résultats de l'analyse des cycles de charge, qui est maintenu à travers le condensateur pendant une ou plusieurs périodes supérieures à 10 min et ne dépassant pas 30 min ;
- le quotient par 1,10 du courant maximal, choisi en fonction de l'analyse des cycles de charge, qui est maintenu à travers le condensateur pendant une ou plusieurs périodes supérieures à 30 min et ne dépassant pas 8 h.

En outre, I_N doit être choisi de telle manière que la puissance réactive moyenne du condensateur, pour toute période de 24 h, ne dépasse pas les limites fixées au paragraphe 23.1.

Notes 1. — Si l'on ne peut procéder à l'analyse des cycles de charge prévus selon les modalités exposées ci-dessus, le choix du courant nominal I_N doit faire l'objet d'un accord entre le constructeur et l'acheteur.

2. — Le choix de I_N peut être influencé par des prescriptions de surcharge plus sévères qu'au paragraphe 23.1.

25.3 Tension d'essai de courte durée

Le choix de la tension d'essai de courte durée U_s dépend du type du dispositif de protection contre les surtensions et de la tension limite U_{lim} (paragraphe 29.2).

Il doit exister une marge de sécurité entre U_{lim} et U_s . U_s ne devrait pas être inférieure à :

- 1,2 U_{lim} pour les condensateurs munis de dispositifs de protection utilisant un éclateur à arc continu ;
- 1,4 U_{lim} pour les condensateurs munis de dispositifs de protection utilisant un éclateur à arc intermittent (éclateur à auto-extinction) ;
- 1,3 fois la valeur conforme au paragraphe 23.2, pour les condensateurs sans dispositif de protection.

25. Choice of voltage ratings and rated current

25.1 Voltage ratings

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

- the rated voltage U_N which relates to normal operation (Sub-clause 3.12) and which is calculated from rated current and rated capacitance;
- the short-time voltage U_s which relates to transient voltages due to fault or abnormal conditions in the system (Sub-clauses 3.17 and 23.2).

No fixed relation between U_s and U_N is assumed in this Recommendation in order to avoid limitations concerning the design of the capacitor.

25.2 Rated current

The rated current I_N of the bank is chosen in relation to the results of an analysis of the expected load cycle. Since for the capacitance of the bank a certain minus tolerance is allowed (Sub-clause 9.2), the rated current of the bank should be selected higher than required by the anticipated through-current by an amount corresponding to the tolerance in question to avoid an excessive voltage across the capacitor. It should furthermore be taken into account that, when series connection of units is used, the voltage distribution may not be uniform, especially when the groups connected in series contain a small number of units in parallel (Sub-clause 27.1). The capacitance is also dependent on the temperature of the capacitor dielectric (Sub-clause 27.2).

The rated current I_N of the bank should be selected on the basis of the following three values, making allowance for the minus tolerance of the bank capacitance (Sub-clause 23.1):

- the highest through current, resulting from the load cycle analysis, which is sustained for one or more periods not exceeding 10 min, divided by 1.50;
- the highest through current, resulting from the load cycle analysis, which is sustained during one or more periods of more than 10 min but not exceeding 30 min, divided by 1.35;
- the highest through current, resulting from the load cycle analysis, which is sustained during one or more periods of more than 30 min but not exceeding 8 h, divided by 1.10.

Furthermore, I_N shall be so chosen that the average output of the capacitor over any period of 24 h does not exceed the limits given in Sub-clause 23.1.

Notes 1. — If an analysis of the expected load cycle should not be practicable following the procedure laid down above, the rated current I_N shall be chosen by agreement between the manufacturer and the purchaser.

2. — If the overload requirements are more severe than the figures mentioned in Sub-clause 23.1, this may influence the choice of I_N .

25.3 Short-time voltage

The choice of the short-time voltage U_s depends on the type of overvoltage protector and its limiting voltage U_{lim} (Sub-clause 29.2).

A safety margin between U_{lim} and U_s is required. U_s should not be lower than:

- 1.2 U_{lim} for capacitors with protectors containing a gap with sustained arc;
- 1.4 U_{lim} for capacitors with protectors containing a gap with repetitive arc (self-extinguishing gap);
- 1.3 times the value according to Sub-clause 23.2 for capacitors without protector.

Notes 1. — Si la tension d'amorçage du dispositif de protection contre les surtensions dépend de la densité de l'air, on considère que U_{lim} correspond aux conditions qui provoquent la tension d'amorçage maximale, à savoir : la pression d'air maximale et la température minimale. Pour déterminer U_{lim} , on doit également tenir compte de la tolérance sur la tension d'amorçage du dispositif de protection contre les surtensions.

2. — Pour les petites batteries de condensateurs-série installées dans les réseaux de distribution d'énergie et lorsque l'on suppose que les surtensions dues aux défauts sur les réseaux seront relativement faibles par rapport à la tension nominale du condensateur, il peut être plus économique de ne pas installer de dispositif de protection contre les surtensions et, donc, de choisir U_s en conséquence.

26. Explications concernant les essais diélectriques entre bornes et l'essai de décharge

26.1 Essai de tenue en tension continue (paragraphe 11.1)

Le but de cet essai est de détecter d'éventuels défauts dans les matériaux et dans la fabrication.

26.2 Essai à tension d'essai de courte durée et mesure des décharges partielles (paragraphe 11.2)

Cet essai est destiné à vérifier l'aptitude du condensateur à supporter des surtensions de courte durée d'une valeur égale à la valeur maximale qui peut apparaître sur le réseau en cas de défaut.

Il est important qu'à la suite de l'application de telles surtensions, toutes les décharges partielles qui ont pu s'établir dans le diélectrique cessent après la disparition de la surtension de courte durée. Le facteur 1,6 fixé pour la tension dans la mesure des décharges partielles tient compte avec une certaine marge de sécurité :

- des surcharges admissibles conformément au paragraphe 23.1 ;
- de la distribution non uniforme de la tension dans les unités raccordées en série (paragraphe 27.1) ;
- du fait que la capacité dépend dans une certaine mesure de la température du diélectrique du condensateur (paragraphe 27.2).

26.3 Essai de décharge (article 14)

Cet essai est destiné à vérifier l'aptitude du condensateur à supporter les contraintes mécaniques et électriques provoquées par la décharge qui se produit lorsque le dispositif de protection contre les surtensions court-circuite le condensateur. Après cet essai il est également important de vérifier les décharges partielles (paragraphe 26.2).

Des décharges peuvent se produire également le long d'un parcours ne comprenant pas le circuit d'amortissement normal, par exemple des perforations ou des contournements sur un des condensateurs connectés en parallèle, des contournements entre les groupes d'unités, des contournements court-circuitant le circuit d'amortissement ou des défauts à la plate-forme.

A ce propos, un essai de décharge non amortie est prévu à l'article 14.

Si, dans certains cas spéciaux, les conditions d'essai décrites à l'article 14 ne répondent pas aux conditions pratiques d'utilisation du dispositif de protection, des modifications peuvent y être apportées en accord entre le constructeur et l'acheteur.

27. Capacité

27.1 Tolérance de capacité

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

Le paragraphe 9.2 admet une certaine différence de capacité entre les phases. Cependant, pour les raisons mentionnées, il est recommandé de réduire ces différences autant que possible. Pour les batteries constituées d'un grand nombre d'unités, on peut facilement obtenir ce résultat en répartissant les unités de façon adéquate.

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

2. — For smaller series capacitor banks in distribution systems and where the overvoltages due to faults in the systems are expected to be relatively small as compared with the rated voltage of the capacitor, it may be more economical not to use an overvoltage protector and consequently to choose U_s accordingly.

26. Explanations regarding the voltage tests between terminals and the discharge test

26.1 *Voltage withstand test (Sub-clause 11.1)*

The purpose of this test is to detect possible material and manufacturing defects.

26.2 *Short-time voltage and partial discharge test (Sub-clause 11.2)*

This test is intended to verify that the capacitor can withstand short-time voltage applications up to the maximum value which can occur in the system under fault conditions.

It is important that, after such overvoltage applications, any partial discharge that may have been set up in the dielectric will cease after the short-time overvoltage has disappeared. The factor 1.6 fixed for the voltage in the partial discharge measurement takes into account with a certain safety margin:

- the permissible overloads according to Sub-clause 23.1;
- the non-uniform voltage distribution in series-connected units (Sub-clause 27.1);
- the fact that the capacitance in some degree depends on the temperature of the capacitor dielectric (Sub-clause 27.2).

26.3 *Discharge test (Clause 14)*

This test is intended to check the ability of the capacitor to withstand the mechanical and electrical stresses caused by the discharge occurring when the overvoltage protector by-passes the capacitor. Checking of the partial discharges is important also after this test (Sub-clause 26.2).

Discharges may also occur along a path by-passing the normal damping circuit, for example, a puncture or flashover in one of the several parallel-connected units, a flashover between capacitor groups, a flashover by-passing the damping circuit, and a fault to platform.

For this reason an undamped discharge test is also prescribed in Clause 14.

If, in special cases, the test conditions of Clause 14 are not adequate to meet the practical conditions of the use of the protective equipment, alterations may be agreed between the manufacturer and the purchaser.

27. Capacitance

27.1 *Capacitance tolerance*

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

Sub-clause 9.2 allows a certain difference between the phase capacitances. However, for the reasons mentioned, it is recommended that the capacitance differences should be as small as possible. In banks consisting of many units, this can be easily attained by distributing the units suitably over the phases.

Si des condensateurs unitaires ou des groupes d'unités sont montés en série, ils doivent être montés de telle sorte que les différences de capacité entre les groupes soient les plus faibles possibles. En utilisant les symboles de différence de capacité du paragraphe 22.1, on parvient facilement à un groupement suffisamment précis en effectuant la somme des signes de chaque groupe de condensateurs en série.

27.2 *Variation de la capacité en fonction de la température*

Selon leur conception, la capacité des condensateurs varie plus ou moins en fonction de la température.

Pour les condensateurs-série qui connaissent souvent de grandes variations de puissance, cela peut causer une variation ultérieure de capacité car la température qui détermine la capacité est la somme de la température de l'air ambiant et de l'échauffement interne.

Il y a lieu de prêter attention au fait que la capacité peut varier rapidement lors de la mise en service de condensateurs froids. Ce phénomène se manifeste particulièrement aux basses températures, lorsque le réchauffement des condensateurs, et donc les valeurs des capacités, peuvent ne pas être uniformes. Cela peut provoquer un fonctionnement intempestif du dispositif de protection.

En ce qui concerne la variation de la capacité en fonction de la température, voir note du paragraphe 9.1.

28. **Température de service**

28.1 *Généralités*

Une attention particulière doit être accordée à la température de service du condensateur car celle-ci a une grande influence sur sa durée de vie. A cet égard, la température du point chaud est déterminante mais, dans la pratique, il est difficile de mesurer cette température directement. Pour l'essai de type relatif à la mesure de la température du point chaud, voir article 16.

Si le diélectrique du condensateur descend à une température moindre que la limite inférieure de sa catégorie, le risque existe que des décharges partielles apparaissent dans le diélectrique si le condensateur est mis sous tension.

28.2 *Conditions de l'installation*

Les condensateurs doivent être disposés de manière à permettre une bonne évacuation par rayonnement et convection de la chaleur produite par les pertes.

La ventilation du local où se trouve l'installation et la disposition des condensateurs unitaires doivent assurer une bonne circulation d'air autour de chaque unité. 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 du refroidissement, l'intensité et la durée du rayonnement, il peut s'avérer nécessaire de choisir l'une des précautions suivantes :

- protéger les condensateurs du rayonnement ;
- choisir un condensateur conçu pour une température de l'air ambiant plus élevée (par exemple, catégorie $-10/+45$ °C au lieu de $-10/+40$ °C) ou conçu spécialement ;
- utiliser des condensateurs prévus pour un courant nominal supérieur à celui choisi selon le paragraphe 25.2.

28.3 *Conditions tropicales*

Les condensateurs pour $+45$ °C conviennent pour la plupart des applications dans les conditions tropicales. Dans certains endroits cependant, la température de l'air ambiant peut être telle qu'il est nécessaire d'utiliser un condensateur pour $+50$ °C. Cela peut également être le cas lorsque

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 between the groups connected in series. By using the capacitance difference symbols according to Sub-clause 22.1, a sufficiently accurate grouping will easily be achieved by summing the signs in each series group.

27.2 *Capacitance variation with temperature*

Depending on the design of the capacitors their capacitance will vary more or less with temperature.

For series capacitors which often have high variations in output this may cause a further variation of capacitance, as the temperature which governs the capacitance is the ambient air temperature plus the internal temperature rise.

Attention should be paid to the fact that the capacitance may change very rapidly when cold capacitors are switched on. This phenomenon is prominent at low temperatures when the warming up of the capacitors and thus the capacitance values may be unbalanced. This may cause undue functioning of the protective equipment.

Regarding capacitance variation with temperature, see the note to Sub-clause 9.1.

28. **Operating temperature**

28.1 *General*

Special attention should be paid to the operating temperature of the capacitor because this has a great influence on its life. In this respect, the temperature of the hot spot is a determining factor, but it is difficult to measure this temperature directly in practical operation. For measurement of the hot-spot temperature as a type test, see Clause 16.

If the capacitor dielectric reaches a temperature below the lower limit of its category, there can be danger of initiating partial discharges in the dielectric if the capacitor is energized.

28.2 *Installation*

Capacitors shall be so placed that there is adequate dissipation by radiation and convection of the heat produced by the capacitor losses.

The ventilation of the operating room and the arrangement of the capacitor units shall provide good air circulation around each unit. This is of special importance for units mounted in rows one above another.

The temperature of capacitors subjected to radiation from the sun or from any surface at high temperature 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 choose one of the following remedies:

- to protect the capacitors from radiation;
- to choose a capacitor designed for a higher ambient air temperature (e.g., category $-10/+45$ °C instead of $-10/+40$ °C) or which is otherwise suitably designed;
- to employ capacitors with rated current higher than that resulting from Sub-clause 25.2.

28.3 *Tropical conditions*

Capacitors for $+45$ °C are suitable for the majority of applications under tropical conditions. In some locations, however, the ambient temperature may be such that a capacitor for $+50$ °C is required. This may also be the case where the capacitors are subjected to the radiation of the