

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 70

Deuxième édition — Second edition

1967

Condensateurs de puissance

Power capacitors



Droits de reproduction réservés — Copyright all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe

Genève, Suisse

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60070:1967

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 70

Deuxième édition — Second edition

1967

Condensateurs de puissance

Power capacitors



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 Dispositif de décharge	12
5 Bornes de masse	12
6 Autres règles de sécurité	14
SECTION TROIS — RÈGLES DE QUALITÉ ET ESSAIS	
7 Nature des essais	14
8 Mesure de capacité et de puissance (essai individuel)	16
9 Pertes du condensateur	16
10 Essai de stabilité thermique (essai de type)	18
11 Essais diélectriques	20
12 Essais d'ionisation (essai de type)	22
13 Niveaux d'isolement et tensions d'essai entre borne(s) et terre	24
SECTION QUATRE — CARACTÉRISTIQUES NOMINALES	
14 Plaque signalétique	26
15 Surcharges admissibles	28
SECTION CINQ — DIRECTIVES POUR L'INSTALLATION ET L'UTILISATION	
16 Généralités	28
17 Choix de la tension nominale	30
18 Température de service	32
19 Conditions spéciales d'utilisation	32
20 Surtensions	34
21 Surintensités	36
22 Appareil de commande et de protection et raccords	38
23 Choix du niveau d'isolement	40
24 Condensateurs raccordés à des réseaux pourvus de télécommande à fréquence musicale	40
ANNEXE A — Prescriptions générales concernant les mesures de l'ionisation	42
ANNEXE B — Calcul de la puissance de condensateurs triphasés à partir de trois mesures de capacité monophasées	44

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 device	13
5 Container connection	13
6 Other safety requirements	15
SECTION THREE — QUALITY REQUIREMENTS AND TESTS	
7 Nature of tests	15
8 Capacitance and output (routine test)	17
9 Capacitor losses	17
10 Thermal stability test (type test)	19
11 Voltage tests	21
12 Ionization test (type test)	23
13 Insulation levels and test voltages between terminal(s) and earth	25
SECTION FOUR — RATINGS	
14 Nameplate	27
15 Permissible overloads	29
SECTION FIVE — GUIDE FOR INSTALLATION AND OPERATION	
16 General	29
17 Choice of the rated voltage	31
18 Operating temperature	33
19 Special conditions	33
20 Overvoltages	35
21 Overload currents	37
22 Switching and protective devices and connections	39
23 Choice of insulation level	41
24 Capacitors connected to systems with audio-frequency remote control	41
APPENDIX A — General requirements concerning ionization measurements	43
APPENDIX B — Computation of the output of three-phase capacitors from three single-phase capacitance measurements	45

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

CONDENSATEURS DE PUISSANCE

PRÉAMBULE

- 1) Les décisions ou accords officiels de la C E I en ce qui concerne les questions techniques, préparés par des Comités d'Etudes où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés
- 2) Ces décisions constituent des recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux
- 3) Dans le but d'encourager cette unification internationale, la C E I exprime le vœu que tous les Comités nationaux ne possédant pas encore de règles nationales, lorsqu'ils préparent ces règles, prennent comme base fondamentale de ces règles les recommandations de la C E I dans la mesure où les conditions nationales le permettent
- 4) On reconnaît qu'il est désirable que l'accord international sur ces questions soit suivi d'un effort pour harmoniser les règles nationales de normalisation avec 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 70 de la CEI remplace et annule les éditions précédentes des Publications 70-1 (Première partie), 70-2 (Deuxième partie) et 70-3 (Troisième partie) et est le résultat de travaux effectués lors de la réunion tenue à Interlaken en 1961

Le projet fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en août 1963 Les commentaires reçus furent soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Procédure des Deux Mois en juin 1965

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

Afrique du Sud	Israël
Allemagne	Italie
Australie	Japon
Autriche	Norvège
Belgique	Pays-Bas
Canada	Roumanie
Corée (République de)	Royaume-Uni
Danemark	Suède
Etats-Unis d'Amérique	Suisse
Finlande	Tchécoslovaquie
France	Turquie
Hongrie	Yougoslavie
Inde	

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

POWER CAPACITORS

FOREWORD

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

PREFACE

This Recommendation has been prepared by IEC Technical Committee No 33, Power Capacitors

This second edition of IEC Publication 70 revises and supersedes IEC Publications 70-1 (Part 1), 70-2 (Part 2), 70-3 (Part 3), and is the result of work done at the meeting held in Interlaken in 1961

The draft was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in August 1963. Amendments received were submitted to the National Committees for approval under the Two Months' Procedure in June 1965

The following countries voted explicitly in favour of publication:

Australia	Japan
Austria	Korea (Republic of)
Belgium	Netherlands
Canada	Norway
Czechoslovakia	Romania
Denmark	South Africa
Finland	Sweden
France	Switzerland
Germany	Turkey
Hungary	United Kingdom
India	United States of America
Israel	Yugoslavia
Italy	

CONDENSATEURS DE PUISSANCE

SECTION UN — GÉNÉRALITÉS

1 Domaine d'application

- 1.1 La présente recommandation s'applique tant aux condensateurs unitaires qu'aux assemblages de condensateurs unitaires avec des accessoires destinés à constituer des équipements de condensateurs complets devant être raccordés à un réseau à basse ou haute tension d'une fréquence maximale de 100 Hz et servant en particulier à la correction du facteur de puissance

Note — Les condensateurs suivants ne sont pas couverts par la présente recommandation et peuvent faire l'objet de spécifications distinctes:

- condensateurs autorégénérateurs;
- condensateurs série;
- condensateurs destinés à des installations de télécommande, de protection et de mesure (par exemple, condensateurs de couplage et similaires);
- petits condensateurs à courant alternatif du type utilisé pour les lampes fluorescentes et à décharge, ainsi que pour les enseignes lumineuses;
- condensateurs pour le démarrage des moteurs et similaires;
- condensateurs d'antiparasitage

- 1.2 La présente recommandation est applicable aux condensateurs destinés à être utilisés dans des limites globales de températures de $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ et de $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ et à des altitudes ne dépassant pas 1 000 m (3 300 ft)

A cet effet, les condensateurs sont classés en catégories de températures, chaque catégorie 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 de $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ et la température maximale de l'air ambiant à laquelle le condensateur peut être utilisé, définie ci-dessous

Limite supérieure de la catégorie de température $^{\circ}\text{C}$	Température maximale de l'air ambiant $^{\circ}\text{C}$		
	Moyenne sur 1 heure	Moyenne sur 24 heures	Moyenne sur 1 an
40	40	30	20
45	45	40	30
50	50	45	35

Les catégories normales de température sont:

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

- 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 3.15 et 3.16 ainsi que le paragraphe 18.1
 - 2 — Les condensateurs peuvent fonctionner à des températures inférieures à la température minimale de l'air ambiant qui correspond à leur catégorie, à condition d'éviter qu'ils ne soient mis sous tension à de telles températures

POWER CAPACITORS

SECTION ONE — GENERAL

1 Scope

- 1.1 This Recommendation applies to both capacitor units and assemblies of capacitor units with accessories to form complete capacitor equipments, for connection to a low or high-voltage power system having a frequency up to and including 100 Hz (c/s), which are intended to be used particularly for power-factor correction.

Note — The following are excluded from this Recommendation and may form the subject of separate recommendations:

- self healing capacitors;
- series capacitors;
- capacitors intended for control, protection and measurement purposes (e.g. coupling capacitors and the like);
- small a.c. capacitors as used for fluorescent and discharge lamps and for electric sign circuits;
- capacitors for motor starting applications, and the like;
- capacitors for radio interference suppression.

- 1.2 This Recommendation applies to capacitors intended for use within over-all 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 below.

Upper limit of temperature category $^{\circ}\text{C}$	Maximum ambient temperature $^{\circ}\text{C}$		
	Mean over 1 hour	Mean over 24 hours	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 definitions in Sub-clauses 3.15 and 3.16 and in Sub-clause 18.1.
 - 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 at such temperatures is avoided.

- 1 3 Cette recommandation ne s'applique pas aux condensateurs dont les conditions de service, en général, sont incompatibles avec les règles de la présente recommandation, sauf accord contraire entre le fabricant et l'acheteur

Note — Il en est ainsi notamment des condensateurs devant être inclus dans différents types de matériel électrique et qui, par conséquent, doivent être considérés comme des composants

2 **Objet**

L'objet de cette recommandation est de

- a) formuler des règles de sécurité;
- b) formuler des règles uniformes en ce qui concerne les performances, les essais et les caractéristiques nominales,
- c) fournir un guide pour l'installation et pour l'utilisation

3 **Définitions**

3 1 *Élément de condensateur (ou élément)*

Partie indivisible d'un condensateur constituée par des armatures séparées par un diélectrique

3 2 *Condensateur unitaire (ou unité)*

Ensemble d'un ou plusieurs éléments de condensateurs placé dans une seule cuve et relié à des bornes de sorties

3 3 *Batterie de condensateurs (ou batterie)*

Ensemble d'unités raccordées électriquement les unes aux autres. Exemple : une batterie triphasée peut être composée de trois unités monophasées

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 *Installation de condensateurs*

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

3 6 *Dispositif de décharge*

Dispositif branché entre les bornes ou entre les barres ou incorporé au condensateur unitaire, et capable de ramener effectivement à zéro la tension résiduelle lorsque le condensateur a été séparé de l'alimentation

- 1 3 This Recommendation does not apply to capacitors, the service conditions of which, in general, are incompatible with the requirements of the Recommendation, unless otherwise agreed between manufacturer and purchaser

Note — This applies especially to capacitors intended to be incorporated in various types of electrical equipment and which, therefore, have to be considered as components

2 Object

The object of this Recommendation is

- a) to formulate safety rules,
- b) to formulate uniform rules regarding performance, testing and rating,
- c) to give 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)

A group of units, connected electrically to each other, e.g. a three-phase bank may be composed of three single-phase units

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 Capacitor equipment

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

3 6 Discharge device

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

3 7 *Bornes de ligne*

Bornes qui doivent être connectées aux condensateurs d'alimentation. Toutefois, dans les condensateurs polyphasés, la borne qui doit être connectée au conducteur neutre, s'il existe, n'est pas considérée comme une borne de ligne.

3 8 *Tension nominale U_n*

Valeur efficace de la tension entre bornes que le condensateur est destiné à supporter de façon continue.

Dans le cas de condensateurs comprenant un ou plusieurs circuits distincts, (par exemple des unités monophasées destinées à être utilisées en montage polyphasé, ou des unités polyphasées à circuits séparés), U_n s'entend comme étant la tension nominale de chaque circuit.

Dans le cas de condensateurs polyphasés avec connexions électriques intérieures entre les phases, U_n s'entend pour les bornes de ligne entre lesquelles apparaît la tension la plus élevée.

3 9 *Niveau d'isolement U_i*

Combinaison des valeurs de tension d'essai (à la fois à fréquence industrielle et au choc) qui caractérise l'aptitude de l'isolation entre les bornes de ligne et la cuve de l'unité à supporter les contraintes diélectriques.

Le niveau d'isolement d'une batterie de condensateurs est la combinaison des valeurs de tension d'essai (à la fois à fréquence industrielle et au choc) qui caractérise l'aptitude de l'isolation entre les bornes (ou la borne) de ligne de la batterie et les parties métalliques destinées à être mises à la terre à supporter les contraintes diélectriques.

3 10 *Puissance nominale*

Puissance réactive à la tension nominale et à la fréquence nominale pour laquelle le condensateur est prévu.

3 11 *Courant nominal*

Valeur efficace du courant traversant une borne de ligne lorsque le condensateur fournit sa puissance nominale sous la tension nominale et à la fréquence nominale.

3 12 *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 13 *Tangente de l'angle de pertes ($\tan \delta$)*

Quotient des pertes du condensateur par la puissance réactive de celui-ci.

3 14 *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 ou à la mise hors service brusque de charges importantes.

3 15 *Température de l'air ambiant*

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

3 7 *Line terminals*

Terminals intended to be connected to the lines. In polyphase capacitors, a terminal intended to be connected to a possible neutral line, however, is not considered as a line terminal

3 8 *Rated voltage U_n*

The r.m.s. value of the voltage between terminals which the capacitor is intended to withstand continuously

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

In the case of polyphase capacitors with internal electrical connections between the phases, U_n refers to the line terminals between which the highest voltage occurs

3 9 *Insulation level U_i*

The insulation level of a capacitor unit is that combination of test voltage values (both power frequency and impulse) which characterizes the insulation between the line terminals and the container of the unit, with regard to its ability to withstand electric stress

The insulation level of a capacitor bank is that combination of test voltage values (both power frequency and impulse) which characterizes the insulation between the line terminals (or terminal) of the bank and metal parts which are intended to be earthed, with regard to its ability to withstand electric stress

3 10 *Rated output*

The reactive power at rated voltage and rated frequency for which the capacitor is designed

3 11 *Rated current*

The r.m.s. current through one line terminal at the rated output, rated voltage and rated frequency

3 12 *Capacitor losses*

The active power consumed by a 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 13 *Tangent of the loss angle ($\tan \delta$)*

The capacitor losses divided by the reactive output of the capacitor

3 14 *Highest voltage of a system U_m*

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

3 15 *Ambient-air temperature*

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

3 16 *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 30 cm environ de la cuve du condensateur et aux deux tiers de sa hauteur à partir de sa base.

3 17 *Echauffement de l'enveloppe*

Différence entre la température du point le plus chaud de l'enveloppe du condensateur et la température de l'air de refroidissement.

3 18 *Conditions normales de température pour les essais*

La température normale au cours des essais sera comprise en 15 °C et 35 °C, la température de référence si des corrections doivent être faites étant 20 °C.

SECTION DEUX — RÈGLES DE SÉCURITÉ

4 **Dispositif de décharge**

4 1 Toute installation de condensateurs doit être munie d'un dispositif de décharge qui lui est directement raccordé, à moins qu'elle soit raccordée directement à un autre équipement électrique ne comportant ni sectionneur, ni coupe-circuit à fusibles, ni condensateur série interposé, et constituant un circuit de décharge.

4 2 Le dispositif de décharge (ou l'équipement électrique mentionné au paragraphe 4 1) devra ramener la tension résiduelle de la valeur de crête de la tension nominale U_n à 50 V au plus dans un temps donné après la mise hors service du condensateur. Ce temps est de 1 min pour les condensateurs d'une tension nominale inférieure ou égale à 660 V et de 5 min pour les condensateurs d'une tension nominale supérieure à 660 V.

Note — Lorsque des condensateurs unitaires sont montés en série, les dispositifs de décharge adaptés à chaque unité peuvent ne pas suffire à assurer le respect de cette condition en raison de l'effet cumulatif des tensions résiduelles. Si la tension d'alimentation est suffisamment élevée pour que ce phénomène apparaisse, un dispositif de décharge extérieur supplémentaire sera nécessaire et devra être raccordé directement aux bornes de la batterie de condensateurs.

4 3 Lorsque les mises hors et en service des condensateurs peuvent se succéder à des intervalles de temps très courts, des dispositions doivent être prises pour que, lors de la remise sous tension, la tension résiduelle aux bornes des condensateurs ne dépasse pas 10 % de la tension nominale (valeur efficace).

4 4 Un dispositif de décharge ne dispense pas de réunir les bornes du condensateur entre elles et à la terre avant de procéder à des travaux.

Note — Une charge résiduelle peut parfois subsister sur les connexions reliant des condensateurs montés en série en raison de la fusion des fusibles, de la coupure de connexions ou du comportement non linéaire du diélectrique résultant de contraintes excessives. Ces connexions doivent donc être mises en court-circuit avec la terre avant d'entreprendre des travaux.

5 **Bornes de masse**

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

3 16 *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 30 cm away from the capacitor container and at two-thirds of the height from its base.

3 17 *Container temperature rise*

The difference between the temperature of the hottest point of the container and the temperature of the cooling air.

3 18 *Standard temperatures for testing*

The standard ambient temperature range for testing is from 15 °C to 35 °C and, if corrections have to be made, the reference temperature is 20 °C.

SECTION TWO — SAFETY REQUIREMENTS

4 **Discharge device**

4 1 Every capacitor equipment shall be provided with a directly connected discharge device, unless it is connected directly to other electrical equipment providing a discharge path without having a disconnecting switch, fuse cut-out, or series capacitor interposed.

4 2 The discharge device (or the electrical equipment mentioned in Sub-clause 4 1) shall reduce the residual voltage from the crest value of the rated voltage U_n to 50 V or less within a given time after the capacitor is disconnected from the source of supply. This time is 1 min for capacitors of rated voltage up to and including 660 V, and 5 min for capacitors of rated voltage above 660 V.

Note — When capacitor units are connected in series, discharge devices fitted to each unit may not be adequate to ensure compliance with this clause, owing to the cumulative effect of the residual voltages. If the supply voltage is so high that this occurs, then an additional external discharge device will be necessary, and should be directly connected across the capacitor bank.

4 3 When capacitors may be switched off and on at very short intervals, arrangements shall be made so that, at the time of reapplication of the voltage, the voltage at the terminals of the capacitor shall be not more than 10 % of the rated r.m.s. voltage.

4 4 A discharge device is not a substitute for short-circuiting the capacitor terminals together and to earth before handling.

Note — A residual charge may sometimes be left on the interconnections of series connected capacitors due to blown fuses, interrupted internal connections, or non-linear behaviour of the dielectric resulting from over-stressing. These interconnections therefore shall be short circuited to earth before handling.

5 **Container connection**

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

6 Autres règles de sécurité

L'acheteur doit spécifier lors de la commande toute prescription spéciale concernant la sécurité qu'il convient de satisfaire pour le pays dans lequel le condensateur sera installé

SECTION TROIS — RÈGLES DE QUALITÉ ET ESSAIS

7 Nature des essais

7.1 Les essais spécifiés sont de deux sortes:

- a) Les essais individuels, à savoir
 - mesure de la capacité (article 8),
 - mesure des pertes du condensateur (paragraphe 9.1),
 - essai sous tension continue ou alternative entre les bornes (paragraphe 11.1.1),
 - essai sous tension alternative entre bornes et enveloppe, essai à sec (paragraphe 11.1.2 a)),
 - essais entre bornes et terre pour les batteries de condensateurs (paragraphe 11.2)
- b) Les essais de type, à savoir
 - mesure des pertes du condensateur à des températures élevées (paragraphe 9.2);
 - essai de stabilité thermique (article 10),
 - essais sous tension alternative entre bornes et enveloppe, essai à sec, essai sous pluie, également, pour les condensateurs du type extérieur (paragraphe 11.1.2 b) et c)),
 - essai de choc entre bornes et enveloppe pour les condensateurs installés en situation exposée (paragraphe 11.1.3),
 - essai de décharge (paragraphe 11.1.4);
 - essai d'ionisation (article 12)

7.2 Les essais individuels sont effectués sur chaque condensateur achevé

7.3 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 devront avoir été exécutés par le constructeur avant la livraison des condensateurs et un certificat donnant le détail des résultats de ces essais devra être remis à l'acheteur sur sa demande. Ces essais devront avoir été effectués sur un condensateur de conception identique à celle du condensateur proposé ou ne s'en n'écarter pas d'une manière susceptible d'affecter les propriétés qui doivent être contrôlées par les essais de type. Les essais de type, ou certains d'entre eux, seront 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 de 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.

7.4 Chaque condensateur prélevé et sur lequel sont effectués les essais de type doit d'abord avoir supporté de façon satisfaisante tous les essais individuels. Il n'est pas indispensable d'effectuer tous les essais de type sur le même condensateur à condition que les condensateurs prélevés soient de conception et de fabrication identique.

6 Other safety requirements

The purchaser should specify, at the time of ordering, any special requirements with regard to safety regulations which apply to the country in which the capacitor is to be installed

SECTION THREE — QUALITY REQUIREMENTS AND TESTS

7 Nature of tests

7.1 The tests specified are of two kinds

a) Routine tests, viz

- capacitance (Clause 8),
- capacitor losses (Sub-clause 9.1),
- d.c. or a.c. voltage test between terminals (Sub-clause 11.1.1),
- a.c. voltage test between terminals and container, dry test (Sub-clause 11.1.2 a)),
- tests between terminals and earth for capacitor banks (Sub-clause 11.2)

b) Type tests, viz

- capacitor losses at elevated temperature (Sub-clause 9.2),
- thermal stability test (Clause 10),
- a.c. voltage test between terminals and container, dry test, for outdoor capacitors in addition, wet test (Sub-clause 11.1.2 b) and c)),
- impulse voltage test between terminals and container for capacitors intended for exposed installations (Sub-clause 11.1.3),
- discharge test (Sub-clause 11.1.4),
- ionization test (Clause 12)

7.2 Routine tests are carried out on every capacitor on completion

7.3 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 offered, 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 tests.

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

7.4 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. 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.

8 Mesure de capacité et de puissance (essai individuel)

- 8 1 La capacité doit être mesurée dans les conditions normales de température pour les essais (voir paragraphe 3 18) en employant une méthode permettant d'éviter les erreurs dues aux harmoniques et à des accessoires tels que résistances, réactances et circuits de blocage

Les conditions d'essai normales sont la tension nominale et la fréquence nominale

Cependant, des mesures peuvent être faites à d'autres tensions et à d'autres fréquences pourvu que des facteurs de correction appropriés fassent l'objet d'un accord entre le constructeur et l'acheteur

Note — Il est recommandé de mesurer la capacité en utilisant approximativement la tension nominale, avant et après exécution des essais diélectriques, de façon à observer toute variation de capacité et à contrôler le comportement des fusibles (voir paragraphe 10 4)

- 8 2 La puissance calculée d'après la capacité mesurée, la tension nominale et la fréquence nominale ne doit pas s'écarter de la puissance de plus

— 5 ou +10 % pour les condensateurs unitaires

— 0 ou +10 % pour les batteries de condensateurs

Note — Une formule pour le calcul de la puissance d'un condensateur triphasé à partir des mesures de capacités monophasées est donnée dans l'annexe B

- 8 3 Dans les unités triphasées, le quotient des valeurs maximales et minimales des capacités mesurées entre deux quelconques des bornes de ligne ne doit pas dépasser 1,06 pour les condensateurs de tension nominale supérieure à 660 V et 1,08 pour les condensateurs de tension nominale égale ou inférieure à 660 V

9 Pertes du condensateur

9 1 Essai individuel

Dans l'essai individuel dont le but est de contrôler l'uniformité de la production, la tangente de l'angle de pertes doit être mesurée dans les conditions de température normales pour les essais (voir paragraphe 3 18). Les conditions normales d'essai sont la tension nominale et la fréquence nominale du condensateur. Les mesures peuvent être faites à d'autres tensions et fréquences, pourvu que des facteurs de correction appropriés aient fait l'objet d'un accord entre le constructeur et l'acheteur

Note — Dans le cas d'essai d'un grand nombre de petits condensateurs, le constructeur et l'acheteur peuvent convenir de ne faire d'essais que sur un nombre représentatif d'échantillons

9 2 Essais de type

Dans l'essai de type, la tangente de l'angle de pertes doit être mesurée d'une part, comme dans l'essai individuel et d'autre part à la tension et à la fréquence nominale, le condensateur étant à une température uniforme de 75 ± 2 °C. Dans ce deuxième essai, le condensateur sera mis sous tension seulement pendant la mesure et pendant un temps aussi court que possible, la valeur de la tangente de l'angle de pertes dans ce deuxième essai ne devra pas dépasser soit la valeur indiquée par le constructeur dans ses catalogues, soit la valeur fixée pour un marché particulier. Les deux mesures peuvent être faites à une tension et une fréquence différentes des valeurs nominales pourvu que des facteurs de correction aient été fixés par accord entre le constructeur et l'acheteur

8 Capacitance and output (routine test)

- 8.1 The capacitance shall be measured within the standard temperature range (see Sub-clause 3.18) using a method which excludes errors due to harmonics and to accessories such as resistors, reactors and blocking circuits.

The standard test conditions are the rated voltage and the rated frequency.

However, measurement at any other voltage and frequency is permitted, provided that appropriate correction factors are agreed upon between manufacturer and purchaser.

Note — It is recommended that the capacitance be measured, using approximately rated voltage, both before and after the application of the voltage tests, in order to observe any capacitance change and check the behaviour of fuses (see Sub-clause 10.4).

- 8.2 The output computed from the measured capacitance, the rated voltage and the rated frequency, shall not differ from the rated output by more than

— 5 or +10% for capacitor units

— 0 or +10% for capacitor banks

Note — A formula for the computation of the output of a three-phase capacitor from single-phase capacitance measurements is given in Appendix B.

- 8.3 In three-phase units, the ratio of maximum to minimum values of capacitance measured between any two line terminals shall not exceed 1.06 for capacitors with a rated voltage above 660 V and 1.08 for capacitors with a rated voltage equal to or lower than 660 V.

9 Capacitor losses

9.1 Routine test

For the routine test, the purpose of which is to check the uniformity of the production, the tangent of the loss angle shall be measured within the standard temperature range (Sub-clause 3.18). The standard test conditions are the rated voltage and the rated frequency of the capacitor. Measurements may be made at other voltages and frequencies provided that appropriate correction factors are agreed upon between manufacturer and purchaser.

Note — In the case of testing large quantities of small capacitors, the manufacturer and purchaser may agree on carrying out tests on a representative number of samples.

9.2 Type test

In the type test, the tangent of the loss angle shall be measured both as in the routine test, and also at rated voltage and frequency with the capacitor at a uniform temperature of $75 \pm 2^\circ\text{C}$. In this second test, the capacitor shall be energized only during the measurement, and for as short a time as possible, the value of the tangent of the loss angle in this second test shall not exceed either the value specified by the manufacturer in his catalogues or the value agreed for the particular contract. Both measurements may be made at a voltage and frequency different from the rated values provided correction factors be agreed between manufacturer and purchaser.

Si l'essai à 75 °C ne peut pas être fait, les parties peuvent convenir de lui substituer la mesure de la tangente de l'angle de pertes à la fin de l'essai de stabilité thermique (voir paragraphe 10 3)

Notes 1 — Quand il s'agit d'un marché pour des condensateurs d'un type déjà approuvé (voir paragraphe 7 3) l'essai consistant en la mesure de l'angle de pertes à 75 °C défini dans ce paragraphe peut être utilisé pour s'assurer de la constance des caractéristiques de la production. Si les résultats obtenus ne diffèrent pas significativement de ceux des prototypes, on peut ne pas répéter l'essai de stabilité thermique à moins que cela soit spécialement demandé par l'acheteur.

2 — Une mesure de la tangente de l'angle de pertes à haute température et à basse tension (exemple: 0,1 U_n) est à l'étude comme moyen de déterminer le degré de pollution du diélectrique.

10 Essai de stabilité thermique (essai de type)

10 1 Cet essai est destiné à s'assurer de la stabilité thermique du condensateur dans les conditions de surcharge prolongée prévues à l'article 15

Note — Il est recommandé que le condensateur choisi pour cet essai ait une puissance aussi voisine que possible de la puissance nominale

10 2 Le condensateur doit être placé dans les conditions normales de refroidissement dans une enceinte où la température de l'air de refroidissement (voir paragraphe 3 16) est définie en fonction de la limite supérieure de la catégorie de température du condensateur d'après le tableau suivant

Limite supérieure de la catégorie de température °C	Température de l'air de refroidissement de l'enceinte °C
40	45
45	50
50	55

La température de l'air de refroidissement doit être vérifiée pendant toute la durée de l'essai au moyen d'un thermomètre retardé de manière à avoir une constante de temps d'environ 1 h. Pendant tout l'essai, la température de l'air de refroidissement de l'enceinte ne doit pas s'écarter de la température spécifiée de plus de 2 deg C.

10 3 Après que toutes les parties du condensateur ont atteint la température de l'air de refroidissement, le condensateur est soumis pendant une durée de 48 h à une tension de forme pratiquement sinusoïdale, ayant la fréquence nominale, la valeur de la tension est telle que la puissance du condensateur soit 1,44 fois la puissance nominale (voir note du paragraphe 10 1)

Pendant les 10 dernières heures de l'essai, toutes les 2 h, on mesure la tangente de l'angle de pertes ou on détermine l'échauffement de l'enveloppe à sa partie supérieure et au-dessous du niveau de l'imprégnant. Pendant cette période de 10 h, la tangente de l'angle de pertes ou l'échauffement de l'enveloppe (voir paragraphe 3 17) ne doit pas s'accroître d'une quantité supérieure au degré d'insensibilité de la mesure. Le degré d'insensibilité de la mesure de la tangente de pertes ne doit pas être supérieur à $\pm 10^{-4}$. Le degré d'insensibilité de la mesure de température ne doit pas être supérieur à $\pm 0,5$ °C. Si une variation plus grande est observée les essais doivent être continués jusqu'à ce que la stabilisation ou une perforation se produise.

If the test at 75 °C cannot be made, the parties may agree to substitute for it the measurement of the tangent of the loss angle made at the end of the thermal stability test (see Sub-clause 10 3)

- Notes* 1 — When dealing with a contract for capacitors of a type already approved (see Sub-clause 7 3) the loss angle test at 75 °C defined in this sub-clause may be used to check the constancy of characteristics of the production. If the results obtained do not differ significantly from those of the prototypes, repetition of the thermal stability test may be omitted unless it is specially specified by the purchaser.
- 2 — A measurement of the tangent of the loss angle at high temperature and at a low-voltage (such as 0.1 U_n) is under consideration as a means of determining the degree of contamination of the dielectric.

10 Thermal stability test (type test)

- 10 1 This test is intended to ensure the thermal stability of the capacitor under prolonged overload conditions within the limits permitted in Clause 15

Note — It is recommended that the capacitor chosen for this test should have an output as nearly as possible equal to the rated output

- 10 2 The capacitor shall be placed under normal cooling conditions in an enclosure where the cooling-air temperature (see Sub-clause 3 16) is related to the upper limit of the temperature category in accordance with the following table

Upper limit of temperature category °C	Cooling-air temperature in the enclosure °C
40	45
45	50
50	55

Throughout the test, the cooling-air temperature shall be checked by means of a thermometer lagged so as to have a thermal time constant of approximately 1 h. During the whole test, the difference between the measured cooling-air temperature and the specified test temperature shall not exceed 2 deg C.

- 10 3 After all parts of the capacitor have attained the temperature of the cooling air, the capacitor shall be subjected for a period of 48 h to a voltage of rated frequency and of substantially sinusoidal form; the magnitude of the voltage being such that the output of the capacitor is equal to 1.44 times its rated output (also see the note to Sub-clause 10 1).
- During the last 10 h, the tangent of the loss angle or the temperature of the container near the top and below the level of the impregnant shall be measured every 2 h, and throughout this 10-hour period the tangent of the loss angle or the temperature rise of the container (see Sub-clause 3 17) shall not increase by more than the sensitivity of measurement, which shall not be worse than $\pm 10^{-4}$ for the $\tan \delta$ measurement and ± 0.5 °C for the temperature measurement. Should a greater change be observed, the test shall be continued until either stabilization or breakdown occurs.

Notes 1 — La tension qui doit être appliquée de façon à obtenir une puissance égale à 1,44 fois la puissance nominale est :

$$U_{\text{essai}} = 1,2 U_n \sqrt{\frac{C_n}{C_{\text{essai}}}}$$

où :

C_n = capacité correspondant à la puissance nominale
 C_{essai} = capacité mesurée du condensateur en essai

- 2 — Lorsque l'on s'assure que ces conditions sont satisfaites, les fluctuations de tension, de fréquence et de température de l'air de refroidissement au cours de l'essai doivent être prises en considération. Pour cette raison, il est judicieux de reporter ces paramètres, ainsi que la tangente de l'angle de pertes ou l'échauffement, en fonction du temps.
- 3 — La mesure finale de l'angle de pertes peut se substituer à l'essai de type du paragraphe 9 2 (voir dernier alinéa du paragraphe 9 2).
- 4 — L'essai peut être effectué à des fréquences ne différant pas plus de 20 % de la fréquence nominale, après qu'un accord soit intervenu entre l'acheteur et le constructeur. Après accord également il est permis de compenser la variation de fréquence en modifiant la tension d'essai et la température ou seulement la température ou la tension.

10 4 Avant et après l'essai, la capacité doit être mesurée dans les conditions normales de températures pour les essais, la différence de température du condensateur pour les deux mesures ne devra pas être supérieure à 5 deg C. La variation de capacité ne doit pas être supérieure à 2 %.

11 Essais diélectriques

11 1 Condensateurs unitaires

11 1 1 Essais diélectriques entre bornes (essai individuel)

Chaque condensateur devra être soumis pendant 10 s à l'essai a) ou à l'essai b) ci-dessous, si aucun accord ne l'a prévu, le choix de l'essai est laissé au constructeur.

a) Un essai sous courant continu, la tension d'essai étant :

$$U_t = 4,3 U_0$$

Note — Les courants de charge et de décharge doivent être limités à 10 fois le courant nominal. Les 10 s sont comptées à partir du moment où la pleine tension d'essai est atteinte.

b) Un essai à courant alternatif, la tension d'essai étant

$$U_t = 2,15 U_0$$

U_0 est la valeur efficace de la tension entre bornes qui, avec le montage utilisé pour l'essai, donne la même contrainte diélectrique dans les éléments du condensateur que la tension nominale U_n en service normal.

L'essai en courant alternatif devra être exécuté avec une tension pratiquement sinusoïdale à une fréquence comprise entre 15 Hz et 100 Hz et de préférence aussi voisine que possible de la fréquence nominale.

Note — En ce qui concerne les condensateurs polyphasés, le montage utilisé pour l'essai doit être tel que U_0 soit au moins égale à U_n , ceci afin d'obtenir un essai suffisant de l'isolement entre les connexions.

11 1 2 Essais en courant alternatif entre bornes et enveloppe

a) Essai à sec (essai individuel)

Les condensateurs unitaires dont toutes les bornes sont isolées de l'enveloppe, doivent être soumis pendant une durée de 10 s à une tension d'essai appliquée entre bornes raccordées entre elles et l'enveloppe.

La tension d'essai doit être une tension alternative de fréquence comprise entre 15 Hz et 100 Hz et dont la valeur correspond au niveau d'isolement de l'unité (voir les tableaux de l'article 13).

Notes 1 — The voltage to be applied in order to obtain an output equal to 1.44 times rated output is:

$$U_{\text{test}} = 1.2 U_n \sqrt{\frac{C_n}{C_{\text{test}}}}$$

where:

C_n = capacitance corresponding to the rated output

C_{test} = measured capacitance of the capacitor to be tested

- 2 — When checking whether these conditions are satisfied, fluctuations of voltage, frequency and cooling-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 or the temperature rise as a function of time.
- 3 — The final measurement of loss angle may be substituted for the type test of Sub-clause 9.2 (see last paragraph of Sub-clause 9.2).
- 4 — Testing with other frequencies, not deviating by more than 20% from the rated frequency, is permitted after agreement between manufacturer and purchaser. Suitable compensation for deviating frequency by changing test voltage and/or temperature can also be agreed.

10.4 Before and after the test, the capacitance shall be measured within the standard temperature range, and the difference in capacitor temperature for the two measurements shall not exceed 5 deg C. The change of capacitance shall not exceed 2%.

11 Voltage tests

11.1 Capacitor units

11.1.1 Voltage test between terminals (routine test)

Every capacitor shall be subjected for 10 s to either test *a*) or test *b*) below, if no agreement has been made, the choice is left to the manufacturer.

a) A d c test, the test voltage being:

$$U_t = 4.3 U_o$$

Note — The charging and discharging currents shall be limited to ten times the rated current. The 10 s shall be counted from the moment the full test voltage has been reached.

b) An a c test, the test voltage being:

$$U_t = 2.15 U_o$$

U_o is the r.m.s. value of the voltage between terminals which in the test connection gives the same dielectric stress in the capacitor elements as the rated voltage U_n gives in normal service.

The a.c. test shall be carried out with a substantially sinusoidal voltage at a frequency between 15 Hz (c/s) and 100 Hz (c/s) and preferably as near as possible to the rated frequency.

Note — With polyphase capacitors, the test connection shall be such that U_o is at least equal to U_n , in order to obtain adequate testing of all insulation between connections.

11.1.2 A C tests between terminals and container

a) Dry test (routine test)

Units having all terminals insulated from the container shall be subjected for 10 s to a test voltage applied between line terminals (joined together) and the container.

The test voltage shall be an a.c. voltage of a frequency between 15 Hz and 100 Hz and of the value corresponding to the insulation level of the unit (see tables of Clause 13).

b) Essai à sec (essai de type)

Les prescriptions du paragraphe 11 1 2 a) s'appliquent à cet essai de type mais la durée doit être portée de 10 s à 1 min

c) Essai sous pluie (essai de type)

Les unités pour utilisation extérieure avec des bornes de traversée doivent être soumises à un essai similaire à celui qui est spécifié en b) ci-dessus, mais effectué dans des conditions de pluie artificielle. La pluie artificielle et la méthode d'essai doivent être conformes à la Publication 60 de la CEI: Essais à haute tension

11 1 3 Essai de tension de choc entre bornes et enveloppe (essai de type)

Les unités qui ont toutes leurs bornes isolées de la cuve doivent être soumises à un essai de choc avant l'essai en courant alternatif spécifié au paragraphe 11 1 2

L'essai de choc doit être effectué avec une onde de choc de $1,2/50\mu s$ (conformément à la définition de la Publication 60 de la CEI) et dont la valeur de crête correspond au niveau d'isolement de l'unité (voir le tableau de l'article 13)

L'absence de défaut pendant l'essai est vérifiée à l'aide de l'oscilloscope cathodique qui est utilisé pour enregistrer la tension et pour vérifier la forme de l'onde

Cinq chocs de chaque polarité doivent être appliqués entre les bornes (raccordées entre elles) et l'enveloppe. 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 considère que l'unité n'a pas subi l'essai avec succès. Si un contournement se produit dans une série de cinq chocs, l'essai sera prolongé en appliquant dix nouveaux chocs de même polarité. S'il ne se produit aucun autre contournement, l'unité est considérée comme ayant subi l'essai avec succès.

Les unités dont une borne est reliée à demeure à l'enveloppe dans le cas où il est prévu que cette enveloppe soit mise à la terre ou soit isolée extérieurement et les unités non prévues pour l'installation en situation exposée ne doivent pas être soumises à cet essai

11 1 4 Essai de décharge (essai de type)

L'unité doit être chargée en courant continu, à deux fois la valeur efficace de la tension nominale, puis déchargée en une seule fois à travers un éclateur situé aussi près que possible du condensateur. Elle doit être soumise à cinq décharges de cet ordre en 10 min.

Cinq minutes après cet essai, l'unité sera soumise à un essai diélectrique entre bornes comme spécifié au paragraphe 11 1 1

La capacité doit être mesurée avant l'essai de décharge et après l'essai diélectrique. La variation de capacité ne doit pas dépasser 2 %

11 2 Batteries de condensateurs – Essai entre bornes et terres (essai individuel)

Si une batterie comprend des unités ou des supports isolants d'un niveau d'isolement plus faible que celui de la batterie, des essais complémentaires doivent être effectués pour s'assurer que la batterie complète satisfera aux essais avec la tension correspondant au niveau d'isolement de la batterie (voir articles 13 et 22)

12 Essais d'ionisation (essai de type)

Les tensions d'essai appliquées pendant le présent essai seront de forme pratiquement sinusoïdale, d'une fréquence approximativement égale à la fréquence nominale du condensateur. Le circuit d'essai doit être suffisamment amorti pour que les surtensions dues aux phénomènes transitoires soient réduites le plus possible. Pendant toute la durée de l'essai, la température de l'air ambiant sera de $25 \pm 10^\circ C$

b) Dry test (type test)

The requirements of Sub-clause 11.1.2 a) apply for the type test, except that the duration is increased from 10 s to 1 min

c) Wet test (type test)

Units for outdoor use with terminal bushings shall be subjected to a test as specified under *b)* above, but applied under artificial rain conditions. The artificial rain and the method of test shall be in accordance with IEC Publication 60, High-voltage Test Techniques

11.1.3 Impulse voltage test between terminals and container (type test)

Units having all terminals insulated from the container shall be subjected to an impulse test before the alternating current test specified in Sub-clause 11.1.2

The impulse test shall be made with a wave of 1.2/50 μ s (as defined in IEC Publication 60) having a crest value corresponding to the insulation level of the unit (see table of Clause 13)

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 terminals joined together and the container. In the case of breakdown or if flashover occurs at more than one impulse of a series of five impulses of the same polarity, the unit is considered as not having passed the test. 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 flashovers occur, the unit is 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 installations shall not be subjected to this test

11.1.4 Discharge test (type test)

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

Five minutes after this test, the unit shall be subjected to a voltage test between terminals as specified in Sub-clause 11.1.1

The capacitance shall be measured before the discharge test and after the voltage test. The change of capacitance shall not exceed 2%

11.2 Capacitor banks – Test between terminals and earth (routine test)

If a bank contains units or insulating supports of an insulation level lower than that of the bank, additional tests shall be carried out to ascertain that the complete bank will withstand the tests with the voltage corresponding to the insulation level of the bank (see Clauses 13 and 22)

12 Ionization test (type test)

The test voltages applied during this test shall be substantially sinusoidal at approximately the rated frequency of the capacitor. The test circuit shall be suitably damped to reduce overvoltages due to transients as much as possible. Throughout the test, the ambient air temperature shall be 25 ± 10 °C

La tension nominale sera appliquée au condensateur pendant un temps suffisamment long pour que celui-ci atteigne un équilibre thermique. Puis une tension d'essai dont la valeur doit être fixée par un accord entre le constructeur et l'acheteur sera appliquée une seule fois au condensateur pendant 1 s.

La tension est ensuite ramenée à $1,2 U_n$ et maintenue à cette valeur pendant 10 min. Au bout de ce temps, la tension est augmentée jusqu'à une valeur égale à $1,5 U_n$ et maintenue à cette valeur pendant 10 min. À aucun moment de la dernière période de 10 min, on ne doit observer d'augmentation du taux d'ionisation.

Avant et après l'exécution de l'essai, la capacité doit être mesurée conformément au paragraphe 8.1 dans des conditions identiques pour les deux mesures de capacité. Ces mesures ne doivent faire apparaître aucune variation significative de capacité.

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

- a) la reproductibilité de la mesure;
- b) le fait qu'un changement interne dans le diélectrique peut causer une variation faible de la capacité sans qu'un claquage d'un élément se soit produit.

- Notes*
- 1 — La valeur de la tension appliquée pendant 1 s n'a pas été précisée; cette valeur sera choisie compte tenu des conditions d'exploitation du condensateur et spécialement des surtensions y compris les surtensions de manœuvre qui peuvent se produire dans le réseau dans lequel le condensateur sera installé.
 - 2 — Cet essai doit être effectué suivant le cycle défini ci-dessus, sans aucune interruption de la tension.
 - 3 — Le taux d'ionisation peut être inférieur au seuil de sensibilité de la mesure si la capacité du condensateur essayé est plus grande que celle pour laquelle l'installation de mesure a été prévue. Dans ce cas, le constructeur et l'acheteur peuvent convenir que l'essai sera effectué sur un condensateur ayant une capacité plus faible, mais réalisé et conçu d'une manière identique à celui qui doit être fourni.
 - 4 — Le terme « ionisation » utilisé ici se rapporte aux décharges qui apparaissent dans le diélectrique et est équivalent au terme « décharges partielles ».
 - 5 — Des méthodes telles que la mesure de $\lg \delta$ ne conviennent pas à la détection de l'ionisation. Des prescriptions générales relatives aux mesures de l'ionisation sont données à l'annexe A.

13 Niveaux d'isolement et tensions d'essai entre borne(s) et terre

Les tableaux ci-après indiquent les niveaux d'isolement normalisés avec les tensions les plus élevées du réseau correspondantes U_m . Les niveaux d'isolement sont définis par les valeurs efficaces de la tension d'essai en courant alternatif, à fréquence industrielle, et les valeurs de crête des tensions d'essai de choc, indiquées à chaque ligne des tableaux. Le niveau d'isolement d'un condensateur devra être choisi parmi les niveaux normalisés (voir article 23).

TABLEAU I

(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 (valeur efficace)	Niveau d'isolement	
	Tension d'essai alternative à fréquence industrielle kV (valeur efficace)	Tension d'essai de choc kV (valeur de crête)
0,6	3	15
1,2	6	25
2,4	11	35
3,6	16	45
7,2	22	60
12	28	75
17,5	38	95
24	50	125
36	70	170
52	95	250
72,5	140	325

The rated voltage shall be applied to the capacitor for sufficient time to ensure that it reaches thermal equilibrium. Then a test voltage, the value of which is to be agreed between manufacturer and purchaser, shall be applied once only to the capacitor for 1 s.

The voltage shall then be reduced to $1.2 U_n$ and maintained for a period of 10 min, after which the voltage shall be raised to $1.5 U_n$ and maintained for a period of 10 min. At no time during this latter 10-minute period shall an increase in ionization level be observed.

Before and after the test, the capacitance shall be measured in accordance with Sub-clause 8.1 under identical conditions for the two capacitance measurements. No significant capacitance change shall be apparent from these measurements.

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

- a) the reproducibility of the measurement,
- b) the fact that an internal change in the dielectric may cause a small change of capacitance without breakdown of any element of the capacitor.

- Notes:
- 1 — The value of the voltage applied during 1 s has not been specified; this value should be chosen taking into consideration the service conditions of the capacitor and especially the over-voltages, including switching surges, liable to occur in the network in which the capacitor will be installed.
 - 2 — This test must be made in accordance with the above test cycle, without switching off the voltage.
 - 3 — The measurement of ionization level may be insensitive if the capacitance of the unit to be tested is too large in relation to that for which the test apparatus has adequate sensitivity. In this case agreement should be reached between the manufacturer and purchaser to the test being carried out on a model unit of a smaller capacitance, but of the same design and construction as that being supplied.
 - 4 — The term "ionization" as used herein refers to discharges generated in the dielectric and is equivalent to the term "partial discharge".
 - 5 — Such test methods as the measurement of $\tan \delta$ are not considered adequate for the detection of ionization. General requirements concerning ionization measurements are given in Appendix A.

13

Insulation levels and test voltages between terminal(s) and earth

The tables below show the standard insulation levels with the corresponding highest system voltages U_m . The insulation levels are defined by the 1 m s values of the power-frequency a.c. test voltage and the crest values of the impulse test voltage mentioned in each line of the tables. The insulation level of a capacitor shall be chosen from the standard levels (see Clause 23).

TABLE I

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

Highest system voltage (line-to-line) U_m kV (1 m s)	Insulation level	
	Power-frequency a.c. test voltage kV (1 m s)	Impulse test voltage crest value kV
0.6	3	15
1.2	6	25
2.4	11	35
3.6	16	45
7.2	22	60
12	28	75
17.5	38	95
24	50	125
36	70	170
52	95	250
72.5	140	325

TABLEAU II

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

Tension la plus élevée (entre phases) du réseau U_m kV (valeur efficace)	Niveau d'isolement			
	Tension d'essai alternative à fréquence industrielle kV (valeur efficace)		Tension d'essai de choc kV (valeur de crête)	
	Isolement complet	Isolement réduit	Isolement complet	Isolement réduit
100	185	150	450	380
123	230	185	550	450
145	275	230	650	550
170	325	275	750	650
245	460	395	1 050	900
		360		825
300		510		1 175
		460		1 050
362		570		1 300
		510		1 175
420		680		1 550
		630		1 425
525		740		1 675
		680		1 550

Note — Les valeurs d'isolement complet s'appliquent aux appareils utilisés sur les réseaux à neutre isolé ou munis de bobines de Petersen ou encore qui ne sont pas effectivement mis à la terre. Voir Publication 71 de la CEI: Coordination de l'isolement.

SECTION QUATRE — CARACTÉRISTIQUES NOMINALES

14 Plaque signalétique

14.1 Les indications suivantes seront données sur la plaque signalétique de chaque condensateur unitaire (sauf indications contraires mentionnées dans la note)

- 1 Constructeur
- 2 Numéro d'identification
- 3 Puissance nominale, en kilovars (voir paragraphe 14.2)
- 4 Tension nominale U_n , en volts ou kilovolts
- 5 Fréquence nominale, en hertz
- 6 Catégorie de température
- 7 Symbole de montage seulement pour les unités polyphasées (voir paragraphe 14.2)
- 8 Niveau d'isolement (voir paragraphe 14.3)
- 9 Dispositif de décharge, si celui-ci est incorporé

Un emplacement doit être réservé pour l'indication de la valeur de la capacité ou du courant mesuré sous la tension nominale et à la fréquence nominale. Ces valeurs mesurées peuvent être indiquées en tant que valeurs absolues ou en pourcentage des valeurs correspondant à la puissance nominale.

D'autres renseignements portant sur la sécurité des personnes et des installations doivent être portés soit sur la plaque signalétique, soit dans la notice d'instructions. Dans ce dernier cas, la plaque signalétique doit faire référence à cette notice d'instructions.

TABLE II

Range of voltages from $U_m = 100$ kV upwards

Highest system voltage (line-to-line) U_m kV (r m s)	Insulation level			
	Power-frequency a.c. test voltage kV (r m s)		Impulse test voltage crest value kV	
	Full insulation	Reduced insulation	Full insulation	Reduced insulation
100	185	150	450	380
123	230	185	550	450
145	275	230	650	550
170	325	275	750	650
245	460	395	1 050	900
		360		825
300		510		1 175
		460		1 050
362		570		1 300
		510		1 175
420		680		1 550
		630		1 425
525		740		1 675
		680		1 550

Note — 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 only be used if the system is effectively earthed. See IEC Publication 71, Insulation Co-ordination.

SECTION FOUR — RATINGS

14 Nameplate

14.1 The following information shall be given on the nameplate of each capacitor unit (except as provided in the note)

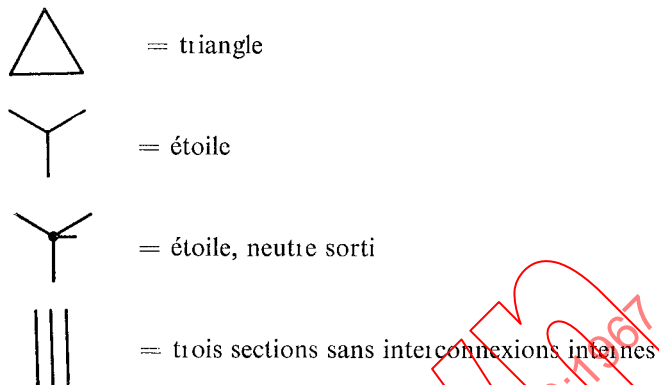
- 1 Manufacturer
- 2 Identification number
- 3 Rated output, in kilovars (see Sub-clause 14.2)
- 4 Rated voltage U_n , in volts or kilovolts
- 5 Rated frequency, in hertz
- 6 Temperature category
- 7 Connection symbol (only for polyphase units (see Sub-clause 14.2),
- 8 Insulation level (see Sub-clause 14.3)
- 9 Discharge device, if built in

A place shall be reserved for the measured capacitance or the measured current at rated voltage and rated frequency. These measured values may be indicated as absolute values or as percentages of the values equivalent to the rated output.

Further information which is of importance for the safety of persons or equipment shall be stated either on the nameplate or in an instruction sheet. In the latter case, the nameplate shall bear a reference to this instruction sheet.

Note — Dans le cas d'unités de petites dimensions ne permettant pas d'indiquer sur la plaque signalétique toutes les données ci-dessus, les données 7, 8 et 9 peuvent figurer dans une notice d'instructions. La plaque signalétique doit alors faire référence à cette notice d'instructions.

14.2 Le type de montage doit être indiqué par les symboles suivants



Pour les unités triphasées, la puissance totale doit être donnée

14.3 Le niveau d'isolement doit être indiqué au moyen de deux nombres séparés par une barre, le premier nombre donnant la valeur efficace de la tension d'essai à fréquence industrielle, 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 (voir Publication 71 de la CEI Coordination de l'isolement) le deuxième nombre est remplacé par un tiret (par exemple 28/—)

15 **Surcharges admissibles**

15.1 *Tension maximale admissible*

Les condensateurs unitaires doivent pouvoir fonctionner pendant de longues périodes de temps sous une tension efficace entre bornes ne dépassant pas 1,10 fois la tension nominale, à l'exclusion des tensions transitoires (voir cependant l'article 17)

15.2 *Intensité maximale admissible*

Les condensateurs unitaires doivent pouvoir fonctionner de façon continue avec un courant de phase dont la valeur efficace ne dépasse pas 1,30 fois l'intensité qui se présente sous la tension sinusoïdale nominale et à la fréquence nominale et ceci à l'exclusion des courants transitoires

SECTION CINQ — DIRECTIVES POUR L'INSTALLATION ET L'UTILISATION

16 **Généralités**

A la différence de la majorité des appareils électriques, les condensateurs branchés en dérivation, lorsqu'ils sont en service, fonctionnent en permanence à pleine puissance ou à des puissances qui ne s'écartent de celle-ci qu'en fonction des variations de la tension.

Les surcharges et les échauffements anormaux abrègent la vie des condensateurs et en conséquence les conditions de fonctionnement (c'est-à-dire température, tension et intensité) doivent être contrôlées sévèrement.

Note — For small units where it is impracticable to indicate all the above items on the nameplate, the item numbers 7, 8 and 9 may be stated in an instruction sheet. The nameplate shall bear a reference to this sheet.

14.2 The type of connection shall be indicated by the following symbols



= delta



= star



= star, neutral brought out



= three sections without internal interconnections

For three-phase units, the total output shall be given

14.3 The insulation level shall be marked by means of two numbers separated by a stroke, the first number giving the r.m.s. value of the power-frequency test voltage, in kilovolts, and the second number giving the crest value of the impulse test voltage, in kilovolts (for example 28/75)

For units which are not intended for exposed installations (see IEC Publication 71, Insulation Co-ordination), the second number is replaced by a line (for example 28/—)

15 Permissible overloads

15.1 Maximum permissible voltage

Capacitor units shall be suitable for prolonged operation at an r.m.s. voltage between terminals not exceeding 1.10 times the rated voltage, excluding transients (see, however, Clause 17)

15.2 Maximum permissible current

Capacitor units shall be suitable for continuous operation at an r.m.s. line current not exceeding 1.30 times the current which occurs at rated sinusoidal voltage and rated frequency excluding transients

SECTION FIVE — GUIDE FOR INSTALLATION AND OPERATION

16 General

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

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

Il est à noter que l'introduction d'une capacité concentrée dans un réseau peut en perturber les conditions de fonctionnement (par exemple, amplification des harmoniques, auto-excitation des machines, surtensions de manœuvre, fonctionnement défectueux des appareils de télécommande à fréquence musicale)

En raison des différents types de condensateurs et des nombreux facteurs qui entrent en jeu, il n'est pas possible de couvrir, par de simples règles, tous les cas d'installation et d'utilisation. Les indications données ci-après portent sur les points les plus importants qu'il y a lieu de considérer. En outre, les instructions du constructeur et des organismes distributeurs d'électricité doivent être suivies, tout particulièrement celles relatives à la mise hors circuit des condensateurs dans les conditions de faible charge.

17 Choix de la tension nominale

- 17.1 En principe, la tension nominale du condensateur doit être égale à la tension de service effective du réseau sur lequel le condensateur doit être installé, compte tenu de l'influence de la présence du condensateur lui-même.

Dans certains réseaux il peut exister une différence importante entre la tension effective et la tension nominale, des précisions devraient être fournies par l'acheteur de telle sorte que le constructeur puisse en tenir compte convenablement. Il s'agit là d'un point de très grande importance pour les condensateurs étant donné que leur fonctionnement et leur durée de vie peuvent se trouver affectés par l'augmentation excessive de la contrainte dans le diélectrique du condensateur.

Lorsque des circuits de blocage sont montés en série avec le condensateur afin de réduire les effets des harmoniques, etc. l'augmentation correspondante de la tension aux bornes du condensateur par rapport à la tension de service effective du réseau, exigera une augmentation équivalente de la tension nominale du condensateur.

Sauf indication contraire, la tension de service effective sera considérée comme égale à la tension nominale (ou déclarée) du réseau.

- Notes 1 — On devra éviter, en choisissant la tension nominale U_n , de prendre une trop grande marge de sécurité car il en résulterait une diminution de la puissance effectivement disponible par rapport à la puissance nominale.
- 2 — Voir le paragraphe 15.1 en ce qui concerne la tension maximale admissible.

- 17.2 Lors de la détermination de la tension à prévoir aux bornes du condensateur, conformément au paragraphe 17.1, il y a lieu de tenir compte des considérations suivantes :

- Les condensateurs produisent une augmentation de la tension au point où ils se trouvent, cette augmentation de tension peut même être plus importante pour certains harmoniques qui pourraient exister. En conséquence, les condensateurs peuvent être amenés à fonctionner à une tension supérieure à celle mesurée avant leur raccordement.
- La tension aux bornes du condensateur peut être particulièrement élevée aux périodes de faible charge; dans ce cas, une partie ou la totalité des condensateurs doit être mise hors service (voir également le paragraphe 20.3) de façon à éviter aux condensateurs des contraintes excessives et au réseau des surtensions anormales.

- 17.3 Ce n'est que dans des cas exceptionnels et pendant des périodes de courte durée que les condensateurs pourront fonctionner dans des conditions correspondant à la fois aux limites supérieures de tension et de température ambiante.

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

Because of the different types of capacitors and the many factors involved, it is not possible to cover by simple rules the installation and operation in all possible cases. The following information is given relative to the most important points to be considered. In addition, the instructions of the manufacturer and the power supply authorities must be followed, especially those concerning the switching-off of capacitors under light load conditions.

17 Choice of the rated voltage

- 17.1 In principle, the rated voltage of the capacitor should be equal to the actual service voltage of the network to which the capacitor is to be connected, account being taken of the influence of the presence of the capacitor itself.

In certain networks, a considerable difference may exist between the actual and nominal voltages of the network, details of which should be furnished by the purchaser, so that due allowance therefore may be made by the manufacturer. This is a matter of considerable importance for capacitors since their performance and life may be adversely affected by an undue increase in the stress on the capacitor dielectric.

Where blocking circuits are inserted in series with the capacitor to reduce the effects of harmonics, etc. the resultant increase of the voltage at the capacitor terminals above the actual service voltage of the network will necessitate an equivalent increase in the rated voltage of the capacitor.

If no information to the contrary is available, the actual service voltage shall be assumed as equal to the nominal (or declared) voltage of the network.

Notes 1 — An excessive safety margin in the choice of the rated voltage U_n should be avoided because this would result in a decrease in the actual available output when compared with the rated output.

2 — See Sub-clause 15.1 concerning maximum permissible voltage.

- 17.2 When determining the voltage to be expected on the capacitor terminals according to Sub-clause 17.1 the following considerations shall be taken into account:

- a) Capacitors cause a voltage rise at the point where they are located, this voltage rise may be even greater for any harmonics that may be present. Capacitors are therefore liable to operate at a higher voltage than that measured before connecting the capacitors.
- b) The voltage on the capacitor terminals may be particularly high at times of light load, in such cases, part or all of the capacitors should be switched off (see also Sub-clause 20.3) in order to prevent overstressing of the capacitors and undue voltage increase in the network.

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

18 Température de service

18 1 Une attention toute particulière doit être accordée à la température de service du condensateur, car celle-ci a une grande influence sur la durée de vie du condensateur. À cet égard, la température de l'élément le plus chaud est déterminante, mais dans la pratique il est impossible de mesurer cette température directement.

La valeur moyenne pendant 1 h de la température de l'air de refroidissement (voir le paragraphe 3.16) ne doit pas dépasser de plus de 5 °C la température ambiante indiquée pour la catégorie appropriée à la deuxième colonne du tableau du paragraphe 1.2.

18 2 Les condensateurs doivent être disposés de manière à permettre l'évacuation par rayonnement et convection de la chaleur produite par les pertes. À cet égard, les points suivants sont importants :

- a) La ventilation du lieu de l'installation et la disposition des unités doivent être telles qu'elles assurent une bonne circulation d'air autour de chaque unité. Ceci est particulièrement important pour les unités montées en rangées les unes au-dessus des autres.
- b) La température des condensateurs soumis aux rayons du soleil ou au rayonnement d'une surface à température élevée, se trouvera augmentée. Suivant la température de l'air de refroidissement, l'intensité du refroidissement, l'intensité et durée du rayonnement, il peut s'avérer nécessaire de choisir l'une des mesures ci-après :
 - i) protéger les condensateurs du rayonnement,
 - ii) choisir un condensateur conçu pour une température ambiante plus élevée par exemple, catégorie $-10/+45^{\circ}\text{C}$ au lieu de $-10/+40^{\circ}\text{C}$ ou qui ait une conception appropriée,
 - iii) utiliser des condensateurs d'une tension nominale supérieure à celle prévue dans l'article 17 (on devra alors tenir compte de la diminution de la puissance réactive).

18 3 Les condensateurs pour 45 °C conviennent pour la plupart des applications sous conditions tropicales. Dans quelques cas, cependant, la température ambiante peut être telle qu'il est nécessaire d'utiliser un condensateur pour 50 °C. Il peut également être nécessaire d'utiliser ce dernier type d'appareil lorsque les condensateurs sont souvent exposés au rayonnement du soleil pendant quelques heures (par exemple, dans les déserts) même si la température ambiante n'est pas extrêmement élevée (voir paragraphe 18.2 b).

Dans certains cas exceptionnels, il peut arriver que la valeur maximale de la température ambiante dépasse 50 °C ou que la valeur moyenne journalière dépasse 45 °C. S'il est impossible d'améliorer les conditions de refroidissement, on doit utiliser des condensateurs spécialement conçus pour cette utilisation ou de tension nominale plus élevée.

19 Conditions spéciales d'utilisation

Outre la haute température ambiante, d'autres conditions défavorables peuvent être rencontrées dans les pays tropicaux. Lorsque l'acheteur sait que ces conditions existent, il doit en informer le constructeur lors de la commande des condensateurs. Les mêmes renseignements doivent être donnés également aux fournisseurs de toutes les parties de l'installation des condensateurs.

Les conditions les plus importantes sont les suivantes :

- a) Périodes fréquentes de grande humidité relative. Il peut être nécessaire de choisir une installation avec un niveau d'isolement plus élevé, ou d'utiliser des isolateurs spéciaux. L'attention doit être attirée sur la possibilité de shuntage des fusibles par une couche d'eau de condensation qui peut se déposer sur leur enveloppe.

18 Operating temperature

18.1 Special attention should be paid to the operating temperature of the capacitor because this has a great influence on the life of the capacitor. In this respect the temperature of the hottest element is the determining factor, but it is impossible to measure this temperature directly in practical operation.

The mean value over 1 h of the cooling-air temperature (see Sub-clause 3.16) should not exceed by more than 5 deg C the ambient temperature shown for the appropriate category in the second column of the table in Sub-clause 1.2.

18.2 Capacitors shall be so placed that there is adequate dissipation by radiation and convection of the heat produced by the capacitor losses. In this respect, the following points are important:

- a) 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 above each other.
- b) The temperature of capacitors subjected to radiation from the sun or from any surface at a 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:
 - i) to protect the capacitors from the radiation,
 - ii) to choose a capacitor designed for a higher ambient temperature (e.g. category $-10/+45\text{ }^{\circ}\text{C}$ instead of $-10/+40\text{ }^{\circ}\text{C}$) or which is otherwise suitably designed,
 - iii) to employ capacitors with a rated voltage higher than that resulting from Clause 17 (the reduction in reactive power should then be taken into account).

18.3 Capacitors for $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ are suitable for the majority of applications under tropical conditions. In some locations, however, the ambient temperature may be such that a capacitor for $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ is required. The latter may also be needed for those cases where the capacitors are frequently subjected to the radiation of the sun during several hours (e.g. in desert territories), even though the ambient temperature is not excessive (see Sub-clause 18.2 b)).

In exceptional cases, the ambient temperature may be higher than $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ maximum or $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ daily average. Where it is impossible to improve the cooling conditions, capacitors of a special design or having a higher rated voltage must be used.

19 Special conditions

Apart from high ambient temperature, other adverse conditions of use are liable to be met with in tropical countries. Where the purchaser knows that such conditions are present, the manufacturer should be informed when the capacitors are ordered. This information should also be given to the suppliers of all associated equipment for the capacitor installation.

The most important conditions are the following:

- a) Frequent occurrence of periods of high relative humidity. It may be necessary to choose equipment for a higher insulation level, or to use insulators of special design. Attention is drawn to the possibility of fuses being shunted by a deposit of moisture on their surfaces.

- b) Croissance rapide de la moisissure Les métaux, les matières céramiques et un assez grand nombre de peintures et de laques ne contribuent pas à la croissance de moisissures Lorsque des produits fongicides sont utilisés, ils ne conservent pas plus de quelques mois leurs propriétés protectrices; dans tous les cas, la moisissure peut se développer aux endroits où peut se déposer la poussière, etc
- c) Atmosphère corrosive que l'on trouve dans les zones industrielles et dans les zones côtières Il y a lieu de remarquer que l'influence de cette atmosphère peut être plus sévère dans les climats à températures élevées que dans les climats tempérés
- d) Action des insectes

20 Surtensions

- 20 1 Des surtensions transitoires élevées peuvent se produire lorsque les condensateurs sont mis hors service par des dispositifs de commutation permettant des réamorçages Il est recommandé de choisir avec soin des dispositifs de commutation fonctionnant sans provoquer de surtensions excessives dues aux réamorçages
- 20 2 Les condensateurs qui peuvent être soumis à de fortes surtensions dues à la foudre doivent être convenablement protégés S'il est fait usage de parafoudres, ceux-ci doivent être disposés aussi près que possible des condensateurs Des précautions doivent être prises lorsque l'on utilise des parafoudres auprès de batteries puissantes En raison de l'importance du courant de décharge, des parafoudres spéciaux peuvent être nécessaires
- 20 3 Dans le cas d'un condensateur relié en permanence à un moteur, des difficultés peuvent surgir lorsque le moteur est séparé du réseau d'alimentation Le moteur alors qu'il tourne encore peut jouer, en raison de son auto-excitation, le rôle d'un générateur et faire naître des tensions considérablement plus élevées que la tension du réseau Cependant, on remédie généralement à cet inconvénient en s'assurant que le courant du condensateur est inférieur au courant magnétisant du moteur, une valeur de 90 % environ est proposée Il est prudent de ne pas toucher les pièces sous tension d'un moteur auquel un condensateur est relié en permanence, avant l'arrêt de celui-ci
- Notes 1 — Le fait que la tension puisse subsister après mise hors service de l'appareil est particulièrement dangereux dans le cas de générateurs d'induction et de moteurs pourvus d'un système de freinage devant fonctionner lors d'un manque de tension*
2 — Dans le cas où le moteur s'arrête immédiatement après avoir été séparé du réseau, la compensation peut dépasser la valeur indiquée ci-dessus
- 20 4 Dans le cas d'un condensateur relié à un moteur muni d'un démarreur étoile-triangle, l'installation devra être faite de manière à empêcher les surtensions pendant le fonctionnement du démarreur
- 20 5 Lorsque l'on constitue une batterie de condensateurs à l'aide d'unités choisies au hasard, on doit avoir soin d'éviter les surtensions dues à la différence de capacité entre les différentes unités Cette différence peut s'élever à 15 % (voir paragraphe 8 2)
Dans chaque cas, on doit déterminer laquelle des deux solutions suivantes est la meilleure
- éviter les différences de tension sur les unités,
 - choisir la tension nominale des unités en tenant compte d'une certaine augmentation de tension

- b) Rapid mould growth Metals, ceramic materials and some paints and lacquers do not support mould growth When fungicidal materials are used, they do not retain their poisoning property for more than several months, in any case, mould may develop in an installation on places where dust, etc can settle
- c) Corrosive atmosphere, which is found in industrial and coastal areas It should be noted that in climates of higher temperature the effects of such atmospheres may be more severe than in temperate climates
- d) Attack by insects

20 Overvoltages

20 1 High overvoltage transients may be encountered when capacitors are disconnected by switching devices which allow restriking Caution is recommended to select switching devices which operate without causing excessive overvoltage due to restriking

20 2 Capacitors which are liable to be subjected to high overvoltages by lightning should be adequately protected If lightning arresters are used, they should be located as near as possible to the capacitors Care should, however, be taken when applying arresters to large banks Special arresters may be required to take care of the discharge current from the capacitor

20 3 When a capacitor is permanently connected to a motor, difficulties may arise after disconnecting the motor from the supply The motor, while still revolving, may act as a generator by self-excitation and may give rise to voltages considerably in excess of the system voltage

This, however, can usually be prevented by ensuring that the capacitor current is less than the magnetizing current of the motor, a value of about 90% is suggested As a precaution, live parts of a motor to which a capacitor is permanently connected should not be handled before the motor stops

Notes 1 — The possible maintenance of voltage after the machine is switched off is particularly dangerous for induction generators and for motors with a braking system intended to be operated by loss of voltage

2 — In the case where the motor stops immediately after having been disconnected from the supply, the compensation may exceed the value indicated above

20 4 When a capacitor is connected to a motor associated with a star-delta starter, the arrangement should be such that no overvoltage can occur during the operation of the starter

20 5 When building up a capacitor bank from a random selection of units, care should be taken to avoid overvoltages due to the difference in capacitance between the units This difference may be as high as 15% (see Sub-clause 8 2)

It should be considered in each case separately whether the best solution is to avoid voltage differences on the units or to choose the rated voltage of the units taking into account a certain voltage increase

De même, il y a lieu d'étudier la conséquence que peut avoir le claquage d'une unité en ce qui concerne la méthode de protection contre les défauts (voir la note du paragraphe 22.4)

Lorsque les différences de tension doivent être évitées, les unités (ou ensembles d'unités) devant être reliées en série, doivent être choisies de façon à présenter dans toute la mesure du possible la même capacité

Dans le cas de batteries montées en étoile avec neutre isolé, la différence de capacité entre les phases conduira à une augmentation de la tension sur les condensateurs de la phase dont la capacité est la plus faible. Lorsque la différence de capacité est importante (par exemple, supérieure à 5 %) cette augmentation de tension devra être mesurée

21 Surintensités

- 21.1 Les condensateurs ne doivent jamais fonctionner avec des courants supérieurs à la valeur maximale spécifiée au paragraphe 15.2
- 21.2 Les courants de surcharge peuvent être produits soit par une tension excessive à la fréquence fondamentale, soit par des harmoniques, soit par les deux. Les sources les plus importantes d'harmoniques sont les redresseurs et les noyaux des transformateurs saturés
- 21.3 Si l'élévation de la tension aux périodes de faible charge est accrue par les condensateurs, la saturation des noyaux des transformateurs peut être considérable. Dans ce cas, il se produit des harmoniques d'amplitude anormale, dont l'une peut être amplifiée par résonance entre le transformateur et le condensateur.
C'est là une raison de plus pour recommander la mise hors service des condensateurs aux périodes de faible charge, comme cela est mentionné au paragraphe 17.2 a) et b)
- 21.4 Si le courant du condensateur dépasse la valeur maximale spécifiée au paragraphe 15.2, tandis que la tension se trouve dans les limites admissibles de $1,10 U_n$, spécifiée au paragraphe 15.1, l'harmonique prédominante doit être déterminée de manière à trouver la meilleure façon de remédier à cet état de fait.
Les solutions suivantes doivent être considérées
- a) Déplacer une partie ou la totalité des condensateurs en d'autres points du réseau
 - b) Monter une réactance en série avec le condensateur afin d'abaisser la fréquence de résonance du circuit jusqu'à une valeur inférieure à celle de l'harmonique perturbatrice (voir paragraphe 17.1)
 - c) Augmenter la valeur de la capacité lorsque le condensateur est raccordé près de redresseurs
- 21.5 La forme d'onde de la tension et les caractéristiques du circuit doivent être déterminées avant et après l'installation du condensateur, surtout s'il existe des sources d'harmoniques telles que des gros redresseurs
- 21.6 Des surintensités transitoires de grande amplitude à haute fréquence peuvent se produire lorsque les condensateurs sont mis en service. Il y a lieu de s'attendre à ces régimes transitoires surtout lorsqu'une fraction ou gradin d'une batterie de condensateurs est mise en parallèle avec d'autres fractions déjà sous tension.
Il peut être nécessaire de ramener ces surintensités transitoires à des valeurs acceptables pour les condensateurs et l'appareillage en mettant en service les condensateurs par l'intermédiaire d'une résistance (commutation par résistance) ou en introduisant des réactances dans le circuit d'alimentation de chaque fraction de la batterie (voir également paragraphe 22.2)

Also the consequence of the breakdown of a unit in connection with the method of fault protection (see Note to Sub-clause 22.4) should be studied

When voltage difference should be avoided, the units (or group of units) to be connected in series shall be chosen so as to conform in capacitance to the greatest possible extent

In the case of star connected banks with isolated neutral, capacitance difference between phases will lead to an increase of the voltage across the capacitors in the phase with the smallest capacitance. Where the capacitance difference is large (e.g. greater than 5%) this voltage increase should be checked

21 Overload currents

21.1 Capacitors should never be operated with currents exceeding the maximum value specified in Sub-clause 15.2

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

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

This is a further reason for recommending the disconnection of capacitors at times of light load, as referred to in Sub-clause 17.2 a) and b)

21.4 If the capacitor current exceeds the maximum value specified in Sub-clause 15.2, whilst the voltage is within the permissible limit of $1.10 U_n$, specified in Sub-clause 15.1, the predominating harmonic should be determined in order to find the best remedy

The following remedies should be considered

- a) Moving some or all of the capacitors to other parts of the system
- b) Connection of a reactor in series with the capacitor to lower the resonant frequency of the circuit to a value below that of the disturbing harmonic (see Sub-clause 17.1)
- c) Increase of the value of the capacitance where the capacitor is connected close to rectifiers

21.5 The voltage wave form and the circuit characteristics should be determined before and after installing the capacitor, in the case where sources of harmonics such as large rectifiers are present, special care should be taken

21.6 Transient over-currents of high amplitude and frequency may occur when capacitors are switched into circuit. Such transient effects are to be expected when a section of a capacitor bank is switched in parallel with other sections which are already energized

It may be necessary to reduce these transient over-currents to acceptable values in relation to the capacitor and to the equipment by switching on the capacitors through a resistor (resistance switching) or by the insertion of reactors in the supply circuit to each section of the bank (see also Sub-clause 22.2)

22 Appareil de commande et de protection et raccordements

22 1 Les appareils de commande et de protection et les raccordements doivent être conçus pour supporter en permanence un courant égal à 1,3 fois le courant donné par une tension sinusoïdale de valeur efficace égale à la tension nominale à la fréquence nominale. Comme en outre la capacité d'un condensateur peut atteindre 1,1 fois la capacité correspondant à sa puissance nominale (voir paragraphe 8 2), ce courant peut avoir une valeur maximale de $1,3 \times 1,1$ fois le courant nominal. En outre, les harmoniques éventuelles peuvent avoir un effet thermique plus élevé que la composante principale correspondante, en raison de l'effet de peau.

22 2 Les appareils de commande et de protection et les raccordements doivent pouvoir supporter les contraintes thermiques et électrodynamiques engendrées par les surintensités transitoires de grande amplitude et de fréquence élevée qui peuvent avoir lieu au moment de la mise sous tension. Il y a lieu de s'attendre à ces effets transitoires lorsqu'une fraction d'une batterie de condensateurs est mise sous tension en parallèle avec d'autres fractions déjà sous tension. Lorsque la prise en considération des contraintes électrodynamiques et thermiques risque de conduire à un surdimensionnement de l'appareillage, les précautions spéciales prévues au paragraphe 21 6 pour la protection contre les surintensités doivent être prises.

Notes 1 — En particulier les fusibles choisis doivent avoir une capacité thermique appropriée.

2 — Dans certains cas, par exemple, lorsque les condensateurs sont à commande automatique, des opérations répétées de mise en et hors circuit peuvent intervenir à des intervalles de temps relativement courts. L'appareil de commande et les fusibles doivent être choisis de façon à pouvoir supporter ces conditions.

22 3 Des appareils de commutation spécialement prévus pour la manœuvre des condensateurs doivent être utilisés. Par exemple, ces appareils doivent être tels qu'un réamorçage pendant la coupure qui peut provoquer de fortes surtensions ne puisse pas se produire (voir aussi paragraphe 20 1). Si le mouvement des contacts pendant l'ouverture ou la fermeture peut être influencé par l'opérateur, ce dernier devra se conformer aux instructions, par exemple, effectuer la manœuvre aussi rapidement que possible. Il est recommandé de consulter le constructeur du condensateur ou du dispositif de commande avant de prendre une décision quant au type d'appareil de commande devant être utilisé avec les condensateurs.

22 4 Il est recommandé de protéger les condensateurs contre les surintensités à l'aide de relais de surintensité adéquats réglés de façon à ce que le circuit soit coupé lorsque le courant dépasse la limite admissible spécifiée au paragraphe 15 2. En général, les fusibles ne fournissent pas une protection de surintensité suffisante.

Note — La protection de surintensité d'une installation de condensateurs n'assure pas en soi une protection contre les surtensions ni en général contre les défauts internes d'un condensateur unitaire.

La protection contre les défauts internes d'une batterie de condensateurs constituée par un ensemble d'unités est particulièrement nécessaire. Des mesures appropriées doivent être prises dans ce cas pour éliminer automatiquement et immédiatement toute unité siège d'un défaut.

22 5 Dans le cas d'utilisation de réactances à noyau de fer, il convient de veiller à l'échauffement du noyau par les harmoniques.

22 6 Tout mauvais contact des circuits dans la batterie de condensateurs peut provoquer de petites étincelles créant des oscillations à haute fréquence susceptibles d'échauffer et de surcharger les condensateurs. L'inspection des contacts de tout l'équipement à intervalles réguliers est en conséquence recommandée.