

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 110

Deuxième édition — Second edition

1973

**Recommandation concernant les condensateurs
pour les installations de génération de chaleur par induction
soumis à des fréquences comprises entre 40 et 24 000 Hz**

**Recommendation for capacitors for inductive heat generating plants
operating at frequencies between 40 and 24 000 Hz**



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembé
Genève, Suisse

Révision de la présente publication

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

Les renseignements relatifs à ce travail de révision, à l'établissement des éditions révisées et aux mises à jour peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et en consultant les documents ci-dessous:

- **Bulletin de la CEI**
Publié trimestriellement
- **Rapport d'activité de la CEI**
Publié annuellement
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement

Terminologie utilisée dans la présente publication

Seuls sont définis ici les termes spéciaux se rapportant à la présente publication.

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la Publication 50 de la CEI: Vocabulaire Electrotechnique International (V.E.I.), qui est établie sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini, l'index général étant publié séparément. Des détails complets sur le V.E.I. peuvent être obtenus sur demande.

Symboles graphiques et littéraux

Seuls les symboles graphiques et littéraux spéciaux sont inclus dans la présente publication.

Le recueil complet des symboles graphiques approuvés par la CEI fait l'objet de la Publication 117 de la CEI.

Les symboles littéraux et autres signes approuvés par la CEI font l'objet de la Publication 27 de la CEI.

Revision of this publication

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

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

- **IEC Bulletin**
Published quarterly
- **Report on IEC Activities**
Published yearly
- **Catalogue of IEC Publications**
Published yearly

Terminology used in this publication

Only special terms required for the purpose of this publication are defined herein.

For general terminology, readers are referred to IEC Publication 50: International Electrotechnical Vocabulary (I.E.V.), which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field, the General Index being published as a separate booklet. Full details of the I.E.V. will be supplied on request.

Graphical and letter symbols

Only special graphical and letter symbols are included in this publication.

The complete series of graphical symbols approved by the IEC is given in IEC Publication 117.

Letter symbols and other signs approved by the IEC are contained in IEC Publication 27.

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 110

Deuxième édition — Second edition

1973

**Recommandation concernant les condensateurs
pour les installations de génération de chaleur par induction
soumis à des fréquences comprises entre 40 et 24 000 Hz**

**Recommendation for capacitors for inductive heat generating plants
operating at frequencies between 40 and 24 000 Hz**



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 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
Articles	
SECTION UN — GÉNÉRALITÉS	
1. Domaine d'application	6
2. Objet	8
3. Définitions	8
SECTION DEUX — RÈGLES DE SÉCURITÉ	
4. Dispositif de décharge	12
5. Connexion de masse	12
6. Appareils de signalisation et de contrôle	14
7. Canalisations de l'eau de refroidissement	14
SECTION TROIS — RÈGLES DE QUALITÉ ET ESSAIS	
8. Règles d'essais	14
9. Essais individuels	16
10. Essais de type	18
SECTION QUATRE — CARACTÉRISTIQUES NOMINALES	
11. Plaque signalétique	24
12. Surcharges admissibles	26
SECTION CINQ — DIRECTIVES POUR L'INSTALLATION ET L'UTILISATION	
13. Généralités	28
14. Dispositions permettant d'obtenir un refroidissement convenable	28
15. Choix de la tension nominale, du courant nominal et de la puissance nominale	30
16. Condensateurs pour commutations fréquentes en charge	30
17. Choix des interrupteurs et des méthodes d'interruption pour commutations en charge	30
18. Commutation des condensateurs munis de fusibles	32
19. Fonctionnement en fréquence variable	32
20. Choix du niveau d'isolement nominal d'une batterie de condensateurs	32
21. Condensateurs shunt raccordés en série	32
22. Condensateurs série	34
23. Conducteurs de raccordement	34
24. Parties conductrices des conduites d'eau à l'extérieur des condensateurs à refroidissement par eau	34
25. Supports isolants	34
26. Danger de gel pour les condensateurs à refroidissement par eau	34
ANNEXE A — Proposition d'une méthode de mesure des pertes sur les condensateurs à circulations d'air naturelle et forcée	36
FIGURE 1	38

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
Clause	
SECTION ONE — GENERAL	
1. Scope	7
2. Object	9
3. Definitions	9
SECTION TWO — SAFETY REQUIREMENTS	
4. Discharge device	13
5. Container connection	13
6. Signalling and control equipment	15
7. Cooling ducts	15
SECTION THREE — QUALITY REQUIREMENTS AND TESTS	
8. Requirements for tests	15
9. Routine tests	17
10. Type tests	19
SECTION FOUR — RATING	
11. Nameplate	25
12. Permissible overloads	27
SECTION FIVE — GUIDE FOR INSTALLATION AND OPERATION	
13. General	29
14. Measures to obtain adequate cooling	29
15. Choice of rated voltage, current and output	31
16. Capacitors for frequent switching on load	31
17. Choice of switchgear and switching methods for switching on load	31
18. Switching of capacitors with fuses	33
19. Operation with varying frequency	33
20. Choice of rated insulation voltage of the capacitor bank	33
21. Shunt capacitors connected in series	33
22. Series capacitors	35
23. Connecting leads	35
24. Electrical leakage along water supply	35
25. Post insulators	35
26. Danger of freezing for water-cooled capacitors	35
APPENDIX A — Proposed method of measuring the losses on air-cooled self- and forced-ventilated capacitors	37
FIGURE 1	38

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**RECOMMANDATION CONCERNANT LES CONDENSATEURS
POUR LES INSTALLATIONS DE GÉNÉRATION DE CHALEUR PAR
INDUCTION SOUMIS À DES FRÉQUENCES COMPRISES
ENTRE 40 ET 24 000 Hz**

PRÉAMBULE

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

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 110 de la CEI remplace et annule l'édition précédente de 1959.

Un premier projet fut discuté lors de la réunion tenue à Bruxelles en juin 1971. A la suite de cette réunion, un projet définitif, document 33(Bureau Central)52, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en février 1972.

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

Afrique du Sud	Japon
Allemagne	Norvège
Autriche	Pays-Bas
Belgique	Pologne
Bulgarie	Portugal
Danemark	Royaume-Uni
Etats-Unis d'Amérique	Suède
Finlande	Suisse
France	Turquie
Israël	Union des Républiques
Italie	Socialistes Soviétiques

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**RECOMMENDATION FOR CAPACITORS FOR
INDUCTIVE HEAT GENERATING PLANTS OPERATING AT FREQUENCIES
BETWEEN 40 AND 24 000 Hz**

FOREWORD

- 1) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters, prepared by Technical Committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
- 2) They have the form of recommendations for international use and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 3) In order to promote international unification, the IEC expresses the wish that all National Committees should adopt the text of the IEC recommendation for their national rules in so far as national conditions will permit. Any divergence between the IEC recommendations and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter.

PREFACE

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

This second edition of IEC Publication 110 revises and supersedes the first edition published in 1959. A first draft was discussed at the meeting held in Brussels in June 1971. As a result of this meeting, a final draft, document 33(Central Office)52, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in February 1972.

The following countries voted explicitly in favour of publication:

Austria	Norway
Belgium	Poland
Bulgaria	Portugal
Denmark	South Africa
Finland	Sweden
France	Switzerland
Germany	Turkey
Israel	Union of Soviet
Italy	Socialist Republics
Japan	United Kingdom
Netherlands	United States of America

RECOMMANDATION CONCERNANT LES CONDENSATEURS POUR LES INSTALLATIONS DE GÉNÉRATION DE CHALEUR PAR INDUCTION SOUMIS À DES FRÉQUENCES COMPRISES ENTRE 40 ET 24 000 Hz

SECTION UN — GÉNÉRALITÉS

1. Domaine d'application

- 1.1 La présente recommandation s'applique tant aux condensateurs unitaires de type intérieur qu'aux batteries de condensateurs de type intérieur, avec leurs accessoires, qui sont destinés à:
- être connectés à un circuit à tension alternative réglable;
 - fonctionner dans une gamme de fréquences comprises entre 40 et 24 000 Hz;
 - améliorer le facteur de puissance du circuit en particulier pour les installations de génération de chaleur par induction, ou à modifier certaines caractéristiques telles que la tension ou la fréquence.

Note. — La présente recommandation n'est pas applicable aux condensateurs qui sont raccordés directement à un réseau de distribution. De tels condensateurs sont prévus et essayés conformément à la Publication 70 de la CEI: Condensateurs de puissance, ou à la Publication 143 de la CEI: Condensateurs-série destinés à être installés sur des réseaux.

- 1.2 La présente recommandation est applicable aux condensateurs destinés à être utilisés à des altitudes ne dépassant pas 1 000 m et dans le domaine prescrit pour la température du fluide de refroidissement.

A cet effet, les condensateurs sont classés en catégories de températures, chaque catégorie étant caractérisée par la température minimale du condensateur à laquelle celui-ci peut être mis sous tension, choisie parmi les trois valeurs de $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ et la température maximale du fluide de refroidissement dont la valeur est choisie dans le tableau ci-dessous:

Mode de refroidissement	Température maximale du fluide de refroidissement en régime permanent ($^{\circ}\text{C}$)			
	Température de l'air de refroidissement (paragraphe 3.18)	Température d'entrée du fluide de refroidissement	Température de sortie du fluide de refroidissement	Température de l'air autour du condensateur (paragraphe 3.17)
Par air circulation naturelle AN	40 45	— —	— —	— —
Par air circulation forcée AF	— —	35 40	40 45	— —
Par eau EF	— —	30 35	40 —	50 —
Deux méthodes sont proposées pour spécifier la température supérieure du fluide de refroidissement: « température d'entrée » ou « température de sortie ».				
Sauf accord différent, le choix de la méthode est laissé au constructeur de condensateurs.				

RECOMMENDATION FOR CAPACITORS FOR INDUCTIVE HEAT GENERATING PLANTS OPERATING AT FREQUENCIES BETWEEN 40 AND 24 000 Hz

SECTION ONE — GENERAL

1. Scope

1.1 This recommendation applies to indoor capacitor units and indoor capacitor banks complete with accessories which are intended:

- for connection to adjustable a.c. voltage systems;
- to operate in a frequency range from 40 to 24 000 Hz;
- for power factor correction, especially for inductive heating; and also for otherwise modifying the characteristics of a circuit, such as voltage and frequency.

Note. — This recommendation does not apply to capacitors which are directly connected to a distribution network. Such capacitors shall be designated and tested according to IEC Publication 70, Power Capacitors, or IEC Publication 143, Series Capacitors for Power Systems.

1.2 This recommendation applies to capacitors intended to be used at altitudes not exceeding 1 000 m and within the prescribed temperature range of the cooling-medium.

For this purpose, capacitors are classified in temperature categories, each category being characterized by the lowest temperature of the capacitor at which it may be energized, chosen from the three values -25°C , -10°C , 0°C and the upper limit of the temperature of the cooling-medium, being the value selected from the table below

Type of cooling	Maximum temperature of the cooling-medium for unlimited time ($^{\circ}\text{C}$)			
	Cooling-air temperature (Sub-clause 3.18)	Inlet temperature of the cooling-medium	Outlet temperature of the cooling-medium	Air temperature around the capacitor (Sub-clause 3.17)
AN air-cooled self-ventilated	40 45	— —	— —	— —
AF air-cooled forced-ventilated	— —	35 40	40 45	— —
WF water-cooled	— —	30 35	40 —	50 —
There are two methods of specifying the upper temperature of the cooling-medium, using either the “inlet temperature” or the “outlet temperature”. Unless otherwise agreed, the choice of the method shall be left to the capacitor manufacturer.				

2. **Objet**

La présente recommandation a pour objet:

- de formuler des règles de sécurité;
- de formuler des règles uniformes en ce qui concerne les performances, les essais et les caractéristiques nominales;
- de fournir des directives pour l'installation et l'exploitation.

3. **Définitions**

3.1 *Elément de condensateur (ou élément)*

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

3.2 *Condensateur unitaire (ou unité)*

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

3.3 *Batterie de condensateurs (ou batterie)*

Ensemble d'unités raccordées électriquement les unes aux autres.

3.4 *Condensateur*

Dans la présente recommandation, le terme « condensateur » est utilisé lorsqu'il n'est pas nécessaire de préciser les différentes significations attachées aux expressions « condensateur unitaire » ou « batterie de condensateurs ».

3.5 *Condensateur autorégénérateur à diélectrique métallisé*

Condensateur dont les électrodes sont constituées par un dépôt métallique sur le diélectrique (par exemple, par évaporation); en cas de perforation du diélectrique, le condensateur se régénère de lui-même.

3.6 *Installation de condensateurs*

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

3.7 *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.

3.8 *Tension nominale U_N*

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

2. Object

The object of this recommendation is:

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

3. Definitions

3.1 *Capacitor element (or element)*

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

3.2 *Capacitor unit (or unit)*

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

3.3 *Capacitor bank (or bank)*

A group of units connected electrically to each other.

3.4 *Capacitor*

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

3.5 *Self-healing metallized dielectric capacitor*

A capacitor, the electrodes of which are deposited on the dielectric (e.g. by evaporation); if there is a breakdown of the dielectric, the capacitor restores itself.

3.6 *Capacitor equipment*

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

3.7 *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.

3.8 *Rated voltage U_N*

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

3.9 *Tension nominale d'isolement U_p*

Valeur efficace de la tension sinusoïdale pour laquelle l'isolation entre les bornes raccordées entre elles et l'enveloppe est prévue.

3.10 *Capacité nominale C_N*

Valeur prévue de la capacité entre les bornes du condensateur à la tension nominale, à la fréquence nominale et à une température du diélectrique de 20 °C.

3.11 *Fréquence nominale f_N*

Valeur de la fréquence de service pour laquelle le condensateur est prévu.

3.12 *Puissance nominale Q_N*

Puissance réactive à la tension nominale de forme sinusoïdale, à la capacité nominale et à la fréquence nominale, pour laquelle le condensateur est prévu.

3.13 *Courant nominal I_N*

Valeur efficace du courant à la tension nominale de forme sinusoïdale, à la capacité nominale et à la fréquence nominale.

3.14 *Pertes du condensateur*

Puissance active consommée par toutes les parties d'un condensateur à l'intérieur de l'enveloppe.

Note. — Sauf stipulation autre, on considère que les pertes du condensateur comprennent les pertes dans les fusibles et les résistances de décharge formant partie intégrante du condensateur.

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

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

3.16 *Équilibre thermique*

Condition de fonctionnement atteinte lorsque la quantité de chaleur dissipée par le condensateur, dans des conditions constantes de refroidissement, est égale à la quantité de chaleur produite par les pertes du condensateur, à une tension et à une fréquence données, de façon que la température du diélectrique ait une valeur constante.

3.17 *Température de l'air autour des condensateurs refroidis à l'eau*

La température de l'air autour des condensateurs refroidis à l'eau est la température de l'air mesurée au point le plus chaud, 0,05 m au-dessus des condensateurs lorsque ceux-ci sont en service.

3.18 *Température de l'air de refroidissement pour les condensateurs à circulation naturelle*

Température de l'air de refroidissement mesurée au point le plus chaud de la batterie, à mi-chemin entre deux condensateurs unitaires. S'il ne s'agit que d'un seul condensateur unitaire, ce sera la température mesurée à un point distant d'environ 0,3 m de l'enveloppe du condensateur et aux deux tiers de la hauteur au-dessus de sa base.

3.9 *Rated insulation voltage U_p*

The r.m.s. value of the sinusoidal voltage for which the insulation between the terminals, joined together, and the container is designed.

3.10 *Rated capacitance C_N*

The design value of the capacitance between the terminals of the capacitor at rated voltage, rated frequency and a dielectric temperature of 20 °C.

3.11 *Rated frequency f_N*

The value of the operating frequency for which the capacitor is designed.

3.12 *Rated output Q_N*

The reactive power at rated voltage of sinusoidal form, rated capacitance and rated frequency for which the capacitor is designed.

3.13 *Rated current I_N*

The r.m.s. current at rated voltage of sinusoidal form, rated capacitance and rated frequency.

3.14 *Capacitor losses*

The active power consumed by all parts of a capacitor in the interior of the container.

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

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

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

3.16 *Thermal equilibrium*

An operating condition during which the quantity of heat dissipated from the capacitor under constant cooling conditions is equal to the heat generated by the losses of the capacitor at a definite voltage and frequency, so that the temperature of the dielectric remains constant.

3.17 *Air temperature around water-cooled capacitors*

The air temperature around water-cooled capacitors is the air temperature measured at the hottest point 0.05 m above the capacitors, when the capacitors are in operation.

3.18 *Cooling-air temperature for self-ventilated capacitors*

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

3.19 *Température de l'air à la sortie pour les condensateurs à circulation forcée*

Température de l'air de refroidissement mesurée à l'emplacement le plus chaud lorsque l'air quitte les condensateurs.

3.20 *Température de l'air à l'entrée pour les condensateurs à circulation forcée*

Température de l'air de refroidissement mesurée au milieu de la canalisation d'entrée d'air en un point non influencé par la chaleur dissipée par les condensateurs.

3.21 *Echauffement de l'enveloppe pour les condensateurs à refroidissement par air*

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

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 ne 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 déconnexion 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. Connexion de masse

L'enveloppe métallique d'un condensateur doit être munie d'une borne de façon à pouvoir en fixer le potentiel.

3.19 *Outlet air temperature for forced-ventilated capacitors*

The temperature of the cooling-air as it leaves the capacitors, measured at the hottest point.

3.20 *Inlet air temperature for forced-ventilated capacitors*

The temperature of the cooling-air measured in the middle of the inlet air channel at a point not influenced by the heat dissipation of the capacitors.

3.21 *Container temperature rise for air-cooled capacitors*

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

SECTION TWO — SAFETY REQUIREMENTS

4. **Discharge device**

4.1 All 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 peak 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 connected directly 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 re-application 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 inter-connections of series-connected capacitors due to blown fuses, interrupted internal connections, or non-linear behaviour of the dielectric resulting from overstressing.

These interconnections should therefore be short-circuited to earth before handling.

5. **Container connection**

The metal container of a capacitor unit shall have a terminal to enable the potential of the container to be fixed.

6. Appareils de signalisation et de contrôle

Si des appareils électriques auxiliaires (par exemple, thermocouples), dont les circuits sont électriquement séparés du circuit de puissance du condensateur, sont raccordés ou incorporés au condensateur, le niveau d'isolation entre ces circuits et ceux du condensateur doit être égal au niveau d'isolation de l'installation.

7. Canalisations de l'eau de refroidissement

Le constructeur doit garantir que les canalisations de refroidissement des condensateurs refroidis à l'eau sont capables de supporter les pressions hydrostatiques qui peuvent s'exercer en service normal.

SECTION TROIS — RÈGLES DE QUALITÉ ET ESSAIS

8. Règles d'essais

8.1 Généralités

8.1.1 Cette section présente les règles d'essais applicables aux unités de condensateurs.

Les essais spécifiés sont de deux sortes: les essais individuels et les essais de type.

Les essais individuels comprennent:

- mesure de la capacité et calcul de la puissance (paragraphe 9.1);
- mesure des pertes du condensateur (seulement pour les condensateurs de fréquence nominale de 40 à 60 Hz) (paragraphe 9.2);
- essais diélectriques (paragraphe 9.3);
- essai du dispositif de décharge interne (paragraphe 9.4);
- essai d'étanchéité (paragraphe 9.5).

Les essais de type comprennent:

- essai de stabilité thermique (paragraphe 10.1);
- mesures des pertes du condensateur (paragraphe 10.2);
- variation de la capacité en fonction de la température (paragraphe 10.3);
- essai d'autorégénération pour les condensateurs autorégénérateurs à diélectrique métallisé (paragraphe 10.4);
- essai de comportement des fusibles internes (paragraphe 10.5).

8.1.2 Les essais individuels doivent être effectués sur chaque unité de condensateur.

8.1.3 Les essais de type sont destinés à prouver que le condensateur est convenablement conçu et qu'il peut être utilisé dans les conditions précisées dans la présente recommandation. Les essais de type doivent avoir été exécutés par le constructeur avant la livraison des condensateurs et un certificat donnant le détail des résultats de ces essais doit être remis à l'acheteur sur sa demande. Ces essais doivent avoir été effectués sur un condensateur de conception identique à celle du condensateur proposé ou ne s'en écartant pas d'une manière susceptible d'affecter les propriétés qui doivent être contrôlées par les essais de type.

Les essais de type, ou certains d'entre eux, sont 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 doit également faire l'objet d'un accord entre le constructeur et l'acheteur, et mention doit en être faite dans le contrat.

6. Signalling and control equipment

If electrical signalling or protective devices, e.g. thermocouples, having circuits electrically insulated from the power circuit of the capacitor, are attached to, or built into, the capacitor, the rated insulation voltage value between these circuits and that of the capacitor shall be equal to the rated insulation voltage of the equipment.

7. Cooling ducts

The manufacturer shall ensure that the cooling ducts of water-cooled capacitors shall be capable of withstanding any hydrostatic pressure likely to be encountered in normal service.

SECTION THREE — QUALITY REQUIREMENTS AND TESTS

8. Requirements for tests

8.1 General

- 8.1.1 This section gives the test requirements for capacitor units. The tests specified are of two kinds: routine tests and type tests.

The routine tests comprise:

- capacitance measurement and output calculation (Sub-clause 9.1);
- capacitor losses test (only for capacitors having rated frequency from 40 to 60 Hz) (Sub-clause 9.2);
- voltage tests (Sub-clause 9.3);
- test of internal discharge device (Sub-clause 9.4);
- sealing test (Sub-clause 9.5).

The type tests comprise:

- thermal stability test (Sub-clause 10.1);
- capacitor losses test (Sub-clause 10.2);
- capacitance as a function of temperature (Sub-clause 10.3);
- self-healing test for self-healing metallized dielectric capacitors (Sub-clause 10.4);
- test of the effectiveness of internal fuses (Sub-clause 10.5).

- 8.1.2 Routine tests shall be carried out on every capacitor unit.

- 8.1.3 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.

- 8.1.4 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 identiques.

8.2 *Température normale au cours des essais*

La température normale au cours des essais doit être comprise entre 15 °C et 35 °C. Si des corrections doivent être faites, la température de référence est 20 °C.

9. **Essais individuels**

9.1 *Mesure de la capacité et calcul de la puissance*

- 9.1.1 La capacité doit être mesurée par 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 une tension comprise entre 0,9 et 1,1 fois la tension nominale et une fréquence comprise entre 40 et 60 Hz.

Cependant, des mesures peuvent être faites à plus faible tension et à fréquence nominale après accord entre le constructeur et l'acheteur.

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

- 10 % ou + 10 % pour les condensateurs unitaires,
- 0 % ou + 10 % pour les batteries de condensateurs composées de 10 unités ou plus.

La somme des capacités individuelles d'un condensateur à prises multiples doit se trouver à l'intérieur des marges de tolérances prescrites pour les unités.

9.2 *Mesure des pertes du condensateur (seulement pour les condensateurs de fréquence nominale comprise entre 40 et 60 Hz)*

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 normales de température ambiante (voir paragraphe 8.2).

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. — Lorsqu'un grand nombre de petits condensateurs sont à essayer, le constructeur et l'acheteur peuvent convenir de ne faire d'essais que sur un nombre représentatif d'échantillons.

9.3 *Essais diélectriques*

9.3.1 *Essai entre bornes*

Chaque condensateur doit être soumis pendant 10 s soit à l'essai *a*), soit à l'essai *b*), ci-dessous; sauf accord différent, le choix est laissé au constructeur:

- a*) Essai en courant continu, la tension d'essai étant $U_t = 4,3 U_N$
- b*) Essai en courant alternatif, la tension d'essai étant $U_t = 2,15 U_N$.

- 8.1.4 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.

8.2 *Standard temperatures for testing*

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

9. **Routine tests**

9.1 *Capacitance measurement and output calculation*

- 9.1.1 The capacitance shall be measured using a method which excludes errors due to harmonics and to accessories such as resistors, reactors and blocking circuits. The standard test conditions are a voltage between 0.9 and 1.1 times the rated voltage and a frequency between 40 and 60 Hz.

However, measurement at lower voltages and rated frequency can be made by agreement between manufacturer and purchaser.

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

- 10% to + 10% for units,
- 0% to + 10% for banks with 10 or more units.

The sum of the individual capacitances of a multi-terminal capacitor unit shall be within the tolerance prescribed for capacitor units.

9.2 *Capacitor losses test (only for capacitors having rated frequency from 40 to 60 Hz)*

For the routine test, the purpose of which is to check uniformity of production, the tangent of the loss angle shall be measured within the standard temperature range (Sub-clause 8.2).

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 between manufacturer and purchaser.

Note. — Where large quantities of small capacitors are tested, the manufacturer and purchaser may agree on carrying out tests on a representative number of samples.

9.3 *Voltage tests*

9.3.1 *Test between terminals*

Every capacitor shall be subjected for 10 s to either test *a)* or test *b)* below; unless otherwise agreed, the choice is left to the manufacturer:

- a)* A d.c. test, the test voltage being $U_t = 4.3 U_N$
- b)* An a.c. test, the test voltage being $U_t = 2.15 U_N$.

L'essai en courant alternatif doit être effectué sous une tension pratiquement sinusoïdale, à une fréquence comprise entre 15 et 100 Hz.

Pour les condensateurs autorégénérateurs à diélectrique métallisé, les amorçages à disparition spontanée sont admis au cours de l'essai.

La capacité doit être mesurée avant et après l'essai diélectrique. Aucune variation significative dans les valeurs n'est autorisée.

Notes 1. — Afin d'éviter des régimes transitoires au cours de l'essai, la tension d'essai ne doit pas être appliquée au condensateur à sa valeur totale mais être augmentée progressivement. La durée d'essai de 10 s doit être comptée à partir du moment où la pleine tension d'essai est atteinte.

2. — Le courant de décharge doit être limité à dix fois le courant nominal.

3. — Les condensateurs, aux termes de la présente recommandation, sont normalement des condensateurs unitaires monophasés. S'ils sont polyphasés ou raccordés différemment, le montage d'essai doit être tel que la contrainte diélectrique dans les éléments du condensateur soit au moins égale à celle des condensateurs monophasés.

9.3.2 *Essai entre bornes et enveloppe*

Chaque unité ayant toutes ses bornes isolées par rapport à l'enveloppe doit être soumise pendant 10 s à un essai entre bornes raccordées entre elles et l'enveloppe, sous une tension alternative pratiquement sinusoïdale U_t , de fréquence comprise entre 15 et 100 Hz et de valeur efficace égale à :

$$U_t = 2,15 U_p, \text{ avec un minimum de } 2\,000 \text{ V.}$$

Cette tension d'essai U_t ne doit pas être inférieure à la tension d'essai en courant alternatif à fréquence industrielle de l'installation à laquelle doit être raccordé le condensateur.

Cette valeur doit être indiquée par l'acheteur.

Note. — Si l'isolement entre bornes et enveloppe est soumis à une tension alternative, à laquelle est superposée une tension continue, la valeur U_p (voir article 20) dans la formule ci-dessus doit être au moins égale à la valeur de crête de la tension totale divisée par $\sqrt{2}$.

9.4 *Essai du dispositif de décharge incorporé*

La résistance du dispositif de décharge incorporé éventuel doit être contrôlée soit par une mesure de résistance, soit en mesurant le temps de décharge propre (voir le paragraphe 4.2). Cet essai doit être effectué à la suite de l'essai diélectrique du paragraphe 9.3.1.

9.5 *Essai d'étanchéité*

La méthode d'essai est laissée au choix du constructeur, sauf accord différent entre le constructeur et l'acheteur.

10. **Essais de type**

10.1 *Essai de stabilité thermique*

Cet essai est destiné à vérifier la stabilité thermique du condensateur unitaire dans les conditions prescrites ci-après :

10.1.1 *Conditions de refroidissement*

- a) Pour les condensateurs à refroidissement naturel, les condensateurs doivent être placés dans les conditions normales de refroidissement dans une enceinte où la température de l'air de refroidissement est maintenue à la limite supérieure portée sur la plaque signalétique.

The a.c. test shall be carried out with a substantially sinusoidal voltage at a frequency between 15 and 100 Hz.

For self-healing metallized dielectric capacitors, self-healing breakdowns are allowed during the test.

Before and after the voltage test, the capacitance shall be measured and no significant change in values is allowed.

Notes 1. — To avoid transients, the test voltage should not be switched on at its full value, but should be increased gradually. The 10 s time is counted from the moment the full test voltage has been reached.

2. — The discharging current shall be limited to ten times the rated current.

3. — Capacitors according to this recommendation are normally single-phase units. If polyphase or other connections are used, the test connection and voltage should be such that the dielectric stress in the capacitor element is at least as great as that which would be obtained in the testing of single-phase units.

9.3.2 *Test between terminals and container*

Every unit with all terminals insulated from the container shall be subjected for 10 s to a test between terminals (joined together) and the container with a substantially sinusoidal a.c. voltage U_t having a frequency between 15 and 100 Hz and an r.m.s. value of:

$$U_t = 2.15 U_p, \text{ with a minimum of } 2\,000 \text{ V.}$$

The test voltage U_t shall not be lower than the power-frequency a.c. test voltage of the plant to which the capacitor is to be connected.

The purchaser shall state this value.

Note. — If the insulation between terminals and container is subjected to an a.c. voltage with superimposed d.c. voltage, the value U_p (see Clause 20) in the above formula shall be at least the peak value of the total voltage divided by $\sqrt{2}$.

9.4 *Test of internal discharge device*

The resistance of the internal discharge device, if any, shall be checked either by a resistance measurement or by measuring the self-discharging rate (see Sub-clause 4.2). This test shall be carried out after the voltage test of Sub-clause 9.3.1.

9.5 *Sealing test*

The method of testing is left to the manufacturer unless otherwise agreed between manufacturer and purchaser.

10. **Type tests**

10.1 *Thermal stability test*

This test is intended to demonstrate the thermal stability of the capacitor unit under the following conditions.

10.1.1 *Cooling conditions*

- a) For air-cooled self-ventilated capacitors, the capacitors shall be placed under normal cooling conditions in an enclosure where the cooling-air temperature is at the upper limit as stated on the nameplate.

Durant l'essai, la température de l'air de refroidissement (voir paragraphe 3.18) doit être contrôlée au moyen d'un thermomètre ayant une constante de temps d'environ 1 h. Durant tout l'essai, la différence entre la température mesurée de l'air de refroidissement et la température spécifiée ne doit pas excéder 2 °C.

- b) Pour les condensateurs à circulation d'air forcée, les condensateurs doivent être placés sur leur base, à l'intérieur d'un conduit vertical qui, pour des condensateurs de section rectangulaire, doit avoir également une section rectangulaire. Les parois latérales du conduit doivent avoir des dimensions égales à celles du condensateur augmentées sur tous les côtés d'un espace suffisant pour permettre la circulation de l'air de refroidissement.

Un espace de 0,04 m est recommandé, à moins que le constructeur ne spécifie une valeur différente. Le bas du conduit doit être à 0,4 m au-dessous du fond du condensateur; le haut du conduit doit être à 0,1 m au-dessus du couvercle du condensateur.

La distance entre le ventilateur et le conduit (par exemple, 0,5 m à 1 m) doit permettre une bonne uniformité de la vitesse d'écoulement de l'air.

De l'air préchauffé doit être soufflé à l'entrée de la partie inférieure du conduit. La température de l'air doit être réglée de telle façon que la valeur supérieure de la température de l'air de refroidissement (à l'entrée ou à la sortie), inscrite sur la plaque signalétique, soit atteinte. La vitesse de l'air doit être mesurée au milieu des espaces compris entre les parois du condensateur et celles du conduit.

La mesure de la température de l'air à l'entrée (ou à la sortie) doit être effectuée juste au-dessous de la base (ou au-dessus du couvercle) du condensateur et de façon telle que cette mesure ne soit pas influencée par le rayonnement émanant de l'enveloppe du condensateur.

La mesure de la température de l'enveloppe du condensateur doit être effectuée près du couvercle, au-dessous du niveau de l'imprégnant.

Les parois du conduit doivent être en matériau non conducteur de la chaleur.

Le dessin de la figure 1, page 38, facilite la compréhension de la mise en œuvre de l'essai.

Note. — Il a été calculé que l'erreur sur l'échauffement de l'enveloppe due à l'emploi d'un conduit à parois thermiquement isolées au lieu d'un condensateur similaire sous tension placé à côté du condensateur essayé, à une distance égale à la distance spécifiée, n'affecte pas sensiblement le résultat de l'essai.

- c) Pour les condensateurs à refroidissement par eau, deux variantes sont prévues:

- le débit minimal d'eau indiqué sur la plaque signalétique doit être maintenu constant durant tout l'essai et la température de l'eau à l'entrée doit être réglée par chauffage de manière que la température à la sortie soit maintenue à la valeur maximale admissible portée sur la plaque signalétique;
- le débit minimal d'eau indiqué sur la plaque signalétique doit être maintenu constant durant tout l'essai et la température de l'eau à l'entrée doit être réglée de manière qu'elle reste égale à la valeur maximale indiquée sur la plaque signalétique.

10.1.2 Conditions électriques

La puissance d'essai doit être égale à 1,20 fois la puissance nominale Q_N pour les condensateurs de fréquence nominale comprise entre 40 et 60 Hz et à 1,33 fois Q_N pour les condensateurs de fréquence nominale supérieure à 60 Hz.

Note. — Pour les condensateurs de fréquence nominale comprise entre 40 et 60 Hz, il est recommandé, si le condensateur à essayer est prélevé dans un lot, de choisir une unité ayant la valeur de $\tan \delta$ la plus élevée.

Si la fréquence nominale du condensateur ne peut être obtenue, l'essai doit être effectué à une fréquence aussi voisine que possible de la fréquence nominale. Un facteur de correction approprié de la puissance réactive doit faire l'objet d'un accord entre constructeur et acheteur, en fonction de la fréquence utilisée. La tension d'essai doit être de forme approximativement sinusoïdale.

Throughout the test, the cooling-air temperature (see Sub-clause 3.18) 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 °C.

- b) For air-cooled forced-ventilated capacitors, the capacitors shall be placed upright inside a vertical conduit which, for capacitors having a rectangular cross-section, should also have a rectangular cross-section. The dimensions of the conduit should be sufficient to allow enough clearance on all sides for the flow of cooling-air.

A clearance of 0.04 m on each side of the capacitor is suggested unless otherwise prescribed by the manufacturer. The conduit should extend below the bottom of the capacitor container for about 0.4 m and above the top of the container for about 0.1 m.

The distance of the fan from the conduit shall be such (for example 0.5 m to 1 m) as to give good uniformity in the air speed.

Pre-heated air shall be forced from below into the conduit. The temperature of this air shall be adjusted such that the upper limit of the cooling-air temperature (inlet or outlet) stated on the nameplate is reached and the speed of the air midway between the wall of the conduit and the capacitor shall be measured.

The point of measurement of the inlet (or outlet) air temperature shall be taken immediately below the bottom (or above the top) of the capacitor container and care should be taken that this measurement is not influenced by radiation from the capacitor container.

The measurement of the temperature of the capacitor container shall be taken near the top, below the level of the impregnant.

The walls of the conduit shall be made of a thermally insulating material.

Figure 1, page 38, shows details of the test arrangement.

Note. — It has been calculated that the error in the capacitor container temperature resulting from the use of a conduit with thermally insulating walls instead of a similar energized capacitor placed beside the capacitor under test at distance equal to the clearance specified does not materially affect the result of the test.

- c) For water-cooled capacitors, two alternatives are provided:
- the minimum water flow stated on the nameplate shall be kept constant throughout the test and the inlet water temperature shall be regulated by heating in such a way that the outlet water temperature is kept at the value stated on the nameplate;
 - the minimum water flow stated on the nameplate shall be kept constant throughout the test and the inlet water temperature shall be regulated to the maximum value stated on the nameplate.

10.1.2 *Electrical conditions*

The test output shall be 1.20 times the rated output Q_N for capacitors with rated frequency between 40 and 60 Hz and 1.33 times Q_N for capacitors with rated frequency above 60 Hz.

Note. — For capacitors having rated frequency from 40 to 60 Hz, it is recommended that if the capacitor is selected from a batch, it should be the one with the highest value of $\tan \delta$.

If the rated frequency of the capacitor cannot be realized, the test shall be made at a frequency as near as possible to the rated frequency. An appropriate correction factor for the reactive output in accordance with the applied frequency shall be agreed between manufacturer and purchaser. The test voltage shall be of approximately sinusoidal form.

10.1.3 Durée et critères de l'essai

Le condensateur doit être soumis aux conditions de refroidissement et aux conditions électriques spécifiées aux paragraphes 10.1.1 et 10.1.2 pendant une durée conforme au tableau ci-après :

Type de refroidissement	Durée totale minimale de mise sous tension, en heures	Dernière période d'essai au cours de laquelle le condensateur doit être en équilibre thermique, en heures
Refroidissement par air à circulation naturelle	48	8
Refroidissement par air ou eau à circulation forcée	12	8

Au cours de la dernière période d'essai, les pertes du condensateur ou la température de l'enveloppe à proximité du sommet doivent être mesurées toutes les 2 h.

Durant cette période, l'échauffement de l'enveloppe ne doit pas augmenter de plus de 1 °C. Si la mesure de $\tan \delta$ est possible, cette grandeur ne doit pas s'accroître d'une quantité supérieure au degré d'insensibilité de la mesure qui ne doit pas être supérieure à $\pm 10^{-4}$.

Si l'on constate une variation plus importante, l'essai doit être poursuivi jusqu'à ce que se produise l'équilibre ou la perforation.

La capacité mesurée après l'essai, pour une température identique du diélectrique, ne doit pas différer de plus de 2 % de la capacité mesurée avant l'essai.

Si le condensateur est muni d'un équipement de signalisation ou de protection, ce dernier doit rester en fonctionnement pendant l'essai mais ne doit pas se déclencher.

10.2 Mesure des pertes du condensateur

10.2.1 Les pertes du condensateur doivent être mesurées dans les conditions des paragraphes 10.1.1 et 10.1.2, l'équilibre thermique ayant été atteint.

10.2.2 Pour les condensateurs de fréquence nominale comprise entre 40 et 60 Hz, la tangente de l'angle de pertes doit être mesurée.

10.2.3 Pour les condensateurs à refroidissement par air à circulations naturelle et forcée, de fréquence nominale supérieure à 60 Hz, les pertes doivent être mesurées par une méthode agréée entre le constructeur et l'acheteur. Une méthode de mesure est proposée à l'annexe A.

10.2.4 Pour les condensateurs à refroidissement par eau de fréquence nominale supérieure à 60 Hz, les pertes doivent être calculées d'après la différence de température de l'eau à l'entrée et à la sortie et d'après le débit de l'eau.

Notes 1. — Pour les condensateurs à refroidissement par eau, les pertes dissipées par l'eau de refroidissement peuvent être calculées au moyen de la formule :

$$P = 70 \cdot q \cdot \Delta\theta$$

dans laquelle P = puissance active en watts

q = débit de l'eau en litres par minute

$\Delta\theta$ = échauffement de l'eau en degrés Celsius.

2. — Les condensateurs à refroidissement par eau dissipent également de la chaleur entre les parois de l'enveloppe et l'air.

Si, donc, les pertes doivent être mesurées en totalité, le condensateur doit être entouré d'un matériau thermiquement isolant au cours de l'essai. Cependant, dans la plupart des cas, il est suffisant de multiplier les pertes dissipées par l'eau par un facteur déduit de l'expérience.

10.1.3 Test duration and criteria

The capacitor shall be subjected to the cooling and electrical conditions prescribed in Sub-clauses 10.1.1 and 10.1.2 for a period of time according to the following table:

Type of cooling	Whole test period on voltage at least (hours)	Final period of test during which the capacitor shall be in thermal equilibrium (hours)
Air-cooled self-ventilated	48	8
Air- or water-forced cooled	12	8

During the final period of test, the capacitor losses or the temperature of the capacitor container near the top shall be measured every 2 h.

Throughout this period, the temperature rise shall not increase by more than 1 °C. When $\tan \delta$ measurement is possible, it shall not increase by more than the sensitivity of measurement which shall not be worse than $\pm 10^{-4}$.

If a greater change is observed, the test shall be continued until either equilibrium or break-down occurs.

The capacitance measured after the test, related to the same temperature of the dielectric, shall not differ by more than 2% from the capacitance measured before the test.

If the capacitor is fitted with signalling or protective equipment, this equipment shall be operational but shall not be actuated during the test.

10.2 Capacitor losses test

10.2.1 The capacitor losses shall be measured under the conditions of Sub-clauses 10.1.1 and 10.1.2 after thermal equilibrium is reached.

10.2.2 For capacitors with rated frequency between 40 and 60 Hz, the tangent of the loss angle shall be measured.

10.2.3 For air-cooled self- and forced-ventilated capacitors with rated frequency above 60 Hz, the losses shall be measured by a method to be agreed between manufacturer and purchaser. Proposed methods are found in Appendix A.

10.2.4 For water-cooled capacitors with rated frequency above 60 Hz, the losses shall be calculated from the difference between outlet and inlet temperature of the water and the rate of water flow.

Notes 1. — For water-cooled capacitors, the capacitor losses dissipated by the cooling-water may be calculated using the formula:

$$P = 70 \cdot q \cdot \Delta\theta$$

in which P = active power in watts

q = rate of water flow in litres per minute

$\Delta\theta$ = temperature rise of the water in degrees Celsius.

2. — Water-cooled capacitors also dissipate some heat to the air from the sides of the container.

If, therefore, the losses are to be measured fully, the capacitor has to be surrounded with insulating material during the test. In most cases, however, it is sufficient to apply a correction to the losses dissipated by the water using a factor derived from previous experience.

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

En tant qu'essai de type, la variation de la capacité en fonction de la température peut être mesurée sur accord entre constructeur et acheteur.

Le condensateur doit être soumis aux conditions électriques spécifiées au paragraphe 9.1.1.

10.4 *Essai d'autorégénération pour les condensateurs autorégénérateurs à diélectrique métallisé*

Le condensateur doit être soumis pendant 10 s à une tension alternative égale à $2,15 U_N$ ou, en variante, à une tension continue égale à $4,3 U_N$, le choix étant laissé au constructeur.

S'il se produit moins de cinq perforations au cours de cet essai, la tension doit être augmentée lentement jusqu'à ce que cinq perforations se soient produites à partir du début de l'essai.

La tension est ensuite ramenée à 0,8 fois sa valeur initiale (c'est-à-dire $1,72 U_N$ pour l'essai en tension alternative et $3,44 U_N$ pour l'essai en tension continue) et maintenue à cette valeur pendant 10 s.

Une perforation peut se produire après que la tension aura été diminuée, mais aucune nouvelle perforation ne doit se produire dans les 10 s qui suivent.

Avant et après l'essai, la capacité doit être mesurée et on ne doit pas observer de variation significative de sa valeur.

Notes 1. — Les perforations qui se produisent pendant l'essai peuvent être décelées à l'aide d'un oscilloscope ou grâce à des méthodes d'essai acoustiques ou à haute fréquence. Une attention spéciale doit être portée à la sensibilité des appareils utilisés.

2. — Lorsque l'on compare les résultats des mesures de capacité avant et après l'essai, on doit prendre en considération les deux facteurs suivants:

- a) la reproductibilité de la mesure;
- b) le fait qu'un changement interne dans le diélectrique peut causer une légère variation de la capacité du condensateur sans que cela traduise une diminution de la sécurité de fonctionnement de l'appareil.

10.5 *Essai de comportement des fusibles internes*

A l'étude.

SECTION QUATRE — CARACTÉRISTIQUES NOMINALES

11. **Plaque signalétique**

11.1 Les indications suivantes doivent figurer sur la plaque signalétique:

- 1) Nom du constructeur;
- 2) Numéro de série;
- 3) Puissance nominale Q_N en kvar, ou capacité nominale C_N en μF ;
- 4) Tension nominale U_N en V ou kV ou courant nominal I_N en A;
- 5) Fréquence nominale f_N en Hz ou kHz;
- 6) Refroidissement et catégorie de température;

Le type de refroidissement et la catégorie de température doivent être indiqués de la manière suivante en utilisant les symboles et les valeurs donnés au paragraphe 1.2:

10.3 Capacitance as a function of temperature

When agreed between manufacturer and purchaser, the dependence of the capacitance on temperature may be measured as a type test.

The capacitor shall be subjected to the electrical conditions prescribed in Sub-clause 9.1.1.

10.4 Self-healing test for self-healing metallized dielectric capacitors

The capacitor shall be subjected for 10 s to an a.c. voltage of $2.15 U_N$ or alternatively a d.c. voltage of $4.3 U_N$, the choice being left to the manufacturer.

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

After this, the voltage shall be decreased to 0.8 times the initial value (i.e. $1.72 U_N$ for the a.c. test and $3.44 U_N$ for the d.c. test) and maintained for 10 s.

One breakdown is permitted after decreasing the voltage provided that no further breakdown occurs within a time of 10 s from this breakdown.

Before and after the test, the capacitance shall be measured and no significant change in its value is allowed.

Notes 1. — Breakdown during the test may be detected by an oscilloscope or by acoustic or high-frequency test methods. Special attention shall be given to the sensitivity of the instrument used.

2. — When comparing the results of capacitance measurement obtained before and after the test, 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 in the capacitance without detriment to the capacitor.

10.5 Test of the effectiveness of internal fuses

Under consideration.

SECTION FOUR — RATING

11. Nameplate

11.1 The following information shall be given on the nameplate:

- 1) Manufacturer's name;
- 2) Identification number;
- 3) Rated output Q_N in kvar, or rated capacitance C_N in μF ;
- 4) Rated voltage U_N in V or kV or rated current I_N in A;
- 5) Rated frequency f_N in Hz or kHz;
- 6) Cooling and temperature category;

The cooling and the category shall be indicated in the following order using the symbols and values given in Sub-clause 1.2:

- a) type de refroidissement;
- b) température minimale de la catégorie;
- c) température maximale de la catégorie;
- d) suivant le cas, entrée ou sortie (pour les condensateurs à refroidissement forcé seulement);
- e) débit du fluide de refroidissement (pour les condensateurs à refroidissement forcé seulement).

Exemples: AN — 25/40
AF — 25/40 sortie 4 m/s
EF — 0/40 sortie 5 l/min.

7) Référence à la Publication 110 de la CEI.

11.2 La plaque signalétique doit porter également les indications suivantes, si elles s'appliquent, ou sur demande:

- 1) Présence du dispositif de décharge incorporé;
- 2) Tension nominale d'isolement U_D en V ou kV, si elle est supérieure à U_N ;
- 3) Valeur mesurée de la capacité;
- 4) Valeur de la tension continue superposée.

11.3 Sur accord entre constructeur et acheteur, les indications suivantes doivent figurer sur une notice d'instructions:

- 1) Schémas des connexions internes des condensateurs;
- 2) Repérage des bornes;
- 3) Valeurs maximales de la tension et du courant, si le condensateur est prévu pour fonctionner à fréquence variable (article 19);
- 4) Référence au système d'autorégénération;
- 5) Echauffement de l'eau entre l'entrée et la sortie de la canalisation d'une unité de condensateur, qui se produit lorsque le condensateur fonctionne avec le débit d'eau minimal et au maximum de la puissance permise;
- 6) Présence de fusibles internes.

12. **Surcharges admissibles**

12.1 *Surtension maximale admissible*

Les unités de condensateurs ne sont pas prévues pour fonctionner de façon prolongée avec une tension efficace entre les bornes dépassant la tension nominale, à l'exclusion des tensions transitoires.

Le fonctionnement à une tension ne dépassant pas $1,05 U_N$ est permis 1 h par jour.

La tension maximale de crête, harmoniques compris, doit être de $1,6 U_N$ pour les condensateurs de fréquence nominale jusqu'à 60 Hz et de $1,65 U_N$ pour les condensateurs de fréquence nominale supérieure à 60 Hz.

Pendant les régimes transitoires, la tension instantanée entre les bornes et entre les bornes et l'enveloppe ne doit pas excéder $2\sqrt{2} U_N$.

Les condensateurs série doivent pouvoir supporter une tension de crête de $2,15 U_N$ pendant 2 s, laquelle est susceptible de se produire en cas de défaut.

- a) type of cooling;
- b) lower category temperature;
- c) upper category temperature;
- d) inlet or outlet as applicable (forced-cooled capacitor only);
- e) rate of flow of cooling-medium (forced-cooled capacitor only);

For example: AN — 25/40
AF — 25/40 outlet 4 m/s
WF — 0/40 outlet 5 l/min.

7) Reference to IEC Publication 110.

11.2 The following information shall be given additionally on the nameplate, if applicable or requested:

- 1) Presence of internal discharge device;
- 2) Rated insulation voltage U_p in V or kV, if higher than U_N ;
- 3) Measured value of the capacitance;
- 4) Value of the superimposed d.c. voltage.

11.3 The following information shall be given on an instruction sheet, if agreed between manufacturer and purchaser:

- 1) Connection diagrams of subdivided capacitors;
- 2) Terminal markings;
- 3) Operating limits of voltage and current, if the capacitor is intended to be operated at varying frequency (Clause 19);
- 4) Reference to self-healing design;
- 5) Temperature rise of the cooling-water between inlet and outlet of the duct of one capacitor unit, which occurs when the capacitor is operated at the minimum permissible water flow and the maximum permissible load;
- 6) Reference to internal fuses.

12. **Permissible overloads**

12.1 *Maximum permissible voltage*

Capacitor units shall not be suitable for prolonged operation at an r.m.s. voltage between terminals exceeding the rated voltage, excluding transients.

Operation at a voltage not exceeding $1.05 U_N$ is permitted for 1 h per day.

The maximum value of the peak voltage, including harmonics, shall be $1.6 U_N$ for capacitors with rated frequency up to and including 60 Hz and $1.65 U_N$ for capacitors operating at higher frequencies.

During transient conditions, the instantaneous voltage between terminals and between terminals and container shall not exceed $2\sqrt{2} U_N$.

Series capacitors are required to withstand the peak voltage of $2.15 U_N$ for 2 s, which can occur during fault conditions.

12.2 *Surintensité maximale admissible*

Les unités de condensateurs doivent pouvoir fonctionner en régime continu, avec un courant efficace ne dépassant pas $1,25 I_N$ pour les condensateurs de fréquence nominale jusqu'à 60 Hz et $1,35 I_N$ pour les condensateurs de fréquence nominale supérieure à 60 Hz.

Ces valeurs comprennent les courants harmoniques mais ne comprennent pas les courants transitoires.

12.3 *Commutations*

Tous les condensateurs doivent, en outre, être capables de supporter jusqu'à 100 manœuvres d'enclenchement et de coupure par jour de fonctionnement, au moyen d'un appareillage ne produisant pas de réamorçage.

Note. — Les manœuvres d'enclenchement et de coupure produisent les régimes transitoires traités au paragraphe 12.1.

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

13. **Généralités**

Par rapport aux condensateurs de puissance conventionnels (aux termes de la Publication 70 de la CEI), la concentration de puissance dans les batteries de condensateurs suivant la présente recommandation est si élevée et la tension nominale si basse que des difficultés surgissent particulièrement dans le transport du courant et dans la dissipation de la chaleur ainsi que dans la commutation à haute fréquence, dans le contrôle des températures et dans d'autres opérations. C'est pourquoi il est nécessaire de vérifier soigneusement les conditions de fonctionnement.

Les informations suivantes pour l'installation et l'exploitation ne se rapportent qu'aux problèmes les plus importants à prendre en considération. En outre, les instructions du constructeur doivent être respectées.

14. **Dispositions permettant d'obtenir un refroidissement convenable**

14.1 *Condensateurs à circulation d'air naturelle*

Les condensateurs doivent être installés avec une garde au sol d'au moins 0,05 m et être distants les uns des autres, de tous côtés, d'au moins 0,05 m afin que l'air de refroidissement puisse circuler entre les condensateurs et entre ceux-ci et le sol.

Si plusieurs rangées de condensateurs sont superposées, il est important de vérifier que la température ne dépasse pas la température maximale admissible de l'air de refroidissement même au niveau de la rangée la plus élevée.

Il faut, en outre, s'assurer que le local ou le bâtiment, où sont installés les condensateurs, possède une ventilation suffisante.

14.2 *Condensateurs à circulation d'air forcée*

Pour ce type de condensateurs, l'efficacité du refroidissement dépend de la température de l'air et de sa vitesse le long des parois de chaque condensateur. Le réalisateur de l'installation doit donc veiller à ce que la vitesse minimale requise pour l'air soit atteinte dans les intervalles le long de chaque unité.

Il est nécessaire que le constructeur indique les pertes des condensateurs unitaires lorsqu'ils fonctionnent dans les conditions nominales.

12.2 *Maximum permissible current*

Capacitor units shall be suitable for continuous operation at an r.m.s. current not exceeding $1.25 I_N$ for capacitors with rated frequencies up to and including 60 Hz and $1.35 I_N$ for capacitors operating at higher frequencies.

This current includes harmonics, but excludes transients.

12.3 *Switching*

All capacitors shall be capable of being switched up to 100 times on and off each working day by restrike-free methods.

Note. — Switching is a transient condition covered by Sub-clause 12.1.

SECTION FIVE — GUIDE FOR INSTALLATION AND OPERATION

13. **General**

In comparison with power capacitors covered by IEC Publication 70, the concentration of power in banks of capacitors covered by this recommendation is so high and the rated voltage so low that special problems arise due to the heavy currents to be carried and the large amount of heat to be dissipated.

Problems also arise in switching at high frequencies, measurement of temperatures, etc. It is therefore necessary to check the operating conditions carefully.

The following information on installation and operation relates only to the most important points to be considered. In addition, the instructions of the manufacturer must be followed.

14. **Measures to obtain adequate cooling**

14.1 *Air-cooled self-ventilated capacitors*

The capacitors should be mounted with a ground clearance and a distance between capacitors of at least 0.05 m in such a way that the cooling-air may enter the air gaps between the capacitors and between the capacitors and the floor.

If several rows of capacitors are arranged one above the other, it is important to check that the maximum permissible temperature of the cooling-air is not exceeded even for the uppermost row.

It should be recognized that adequate ventilation of the room or building should be available.

14.2 *Air-cooled forced-ventilated capacitors*

For air-cooled forced-ventilated capacitors, the effectiveness of the cooling-air depends on the temperature and velocity of the air flowing along each capacitor. Therefore, the designer of the capacitor plant should ensure that the minimum air velocity which is required in the gaps is attained.

It is necessary for the capacitor manufacturer to declare the losses of the capacitor under normal operating conditions.

14.3 Condensateurs à refroidissement par eau

La température maximale admissible de l'eau de refroidissement à l'entrée des condensateurs (température d'entrée) ou à la sortie (température de sortie) ne doit pas être dépassée (voir paragraphes 1.2 et 11.1, point 6); le débit de l'eau de refroidissement ne doit pas être inférieur au volume minimal admissible (voir le paragraphe 11.1, point 6).

Si les conduites d'eau de plusieurs condensateurs unitaires sont reliées en série, cette prescription est applicable à la dernière unité dans le sens d'écoulement de l'eau.

Étant donné que l'alimentation en eau de refroidissement n'est pas toujours régulière, l'utilisateur de l'installation veillera en permanence à ce que la température de l'eau à la sortie ne dépasse pas sa valeur admissible.

La limite supérieure de la température de l'air ambiant spécifiée au paragraphe 1.2 ne doit pas être dépassée non plus. Le condensateur peut être muni d'un dispositif interne de contrôle de la température, qui peut être utilisé à la protection contre les surcharges.

15. Choix de la tension nominale, du courant nominal et de la puissance nominale

Le réalisateur de l'installation doit choisir les condensateurs de telle manière qu'en fonctionnement et compte tenu des harmoniques la charge appliquée ne dépasse pas les valeurs admissibles correspondant à la tension nominale, au courant nominal et à la puissance nominale du type de condensateur choisi.

16. Condensateurs pour commutations fréquentes en charge

Le paragraphe 12.3 indique le nombre de commutations par jour de fonctionnement que le condensateur doit pouvoir normalement supporter. Si ce nombre est dépassé, on utilisera un condensateur spécial dont la conception fera l'objet d'un accord entre le constructeur et l'acheteur.

17. Choix des interrupteurs et des méthodes d'interruption pour commutations en charge

- 17.1 Pour les commutations en charge des condensateurs, seuls doivent être utilisés des interrupteurs capables de fonctionner sans réamorçage. Cependant, des interrupteurs correctement choisis et réglés convenablement avant leur mise en service peuvent provoquer des réamorçages après un certain temps de service si leur entretien est insuffisant. Ces réamorçages peuvent provoquer des surtensions transitoires très élevées et une seule commutation défectueuse peut provoquer la perforation d'un condensateur.

Il est donc important d'assurer un entretien régulier de l'appareillage.

Cependant, pour la commutation des courants de haute fréquence, des interrupteurs de conception normale, soigneusement choisis et entretenus, ne sont pas capables de couper le condensateur sans réamorçage si le temps de coupure de l'interrupteur est égal ou supérieur à une demi-période du courant de l'installation.

Pour éviter des contraintes excessives sur le condensateur et sur l'installation, des dispositifs de commutation instantanés, comme des thyristors ou des interrupteurs normaux combinés avec des dispositifs adéquats ajoutés au circuit à couper, doivent être employés dans ce cas.

- 17.2 Les dispositifs de commutation et de protection ainsi que les connexions doivent être conçus de façon à supporter le courant maximal pouvant se produire dans toute condition d'exploitation.

Si ces dispositifs sont conçus pour 50 ou 60 Hz, un facteur de réduction approprié doit être pris en considération.

14.3 *Water-cooled capacitors*

The maximum permissible temperature of the cooling-water flowing into the capacitors (inlet temperature) or flowing out from the capacitors (outlet temperature) should not be exceeded (see Sub-clauses 1.2 and 11.1, item 6) and the rate of flow of the cooling-water should never fall below the minimum permitted value (see Sub-clause 11.1, item 6).

If the water ducts of several capacitor units are connected in series, these conditions should be fulfilled for the last unit in the direction of the water flow.

As the cooling-water supply will not be uniform at all times, the user of the capacitor plant should ensure that the limit for the outlet temperature of the cooling-water is not exceeded.

The limit for the air temperature stated in Sub-clause 1.2 should also not be exceeded. The capacitor may be equipped with a temperature sensor which can be used for overload protection.

15. **Choice of rated voltage, current and output**

The designer of the capacitor plant should select the capacitors such that during operation and taking harmonics into account, the load applied does not exceed the rated voltage, rated current and rated output of those capacitors.

16. **Capacitors for frequent switching on load**

In Sub-clause 12.3, the maximum permissible number of switching operations each day is stated. If this quantity is to be exceeded, a special design should be agreed between manufacturer and purchaser.

17. **Choice of switchgear and switching methods for switching on load**

- 17.1 For switching capacitors, only switchgear which is capable of performing restrike-free operations should be used. However, even with switchgear which has been carefully chosen and correctly adjusted before use, restrikes may occur after a number of operations, if the switchgear is not regularly serviced. Very high switching surges then occur, and one unfavourable switching operation may cause the breakdown of a capacitor.

Therefore, regular servicing is important.

For high-frequency currents, however, carefully selected and serviced switchgear of normal design is not able to switch off a capacitor without restrike, if the operating time of the switchgear is equal to or longer than the duration of a half-cycle of the frequency of the power supply.

To avoid overstressing of capacitor and plant, instantaneously operating switchgear such as thyristors or normal switchgear in combination with additional measures within the switched circuit should be employed.

- 17.2 The switching and protective devices and their connections should be designed to carry the maximum current occurring under any conditions of use.

If these devices are designed for normal use at 50 or 60 Hz, an appropriate derating factor should be considered.