

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60871-1

Troisième édition
Third edition
2005-07

**Condensateurs shunt pour réseaux
à courant alternatif de tension assignée
supérieure à 1 000 V –**

**Partie 1:
Généralités**

**Shunt capacitors for a.c. power systems
having a rated voltage above 1 000 V –**

**Part 1:
General**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60871-1:2005

Numérotation des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000. Ainsi, la CEI 34-1 devient la CEI 60034-1.

Editions consolidées

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

Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique. Des renseignements relatifs à cette publication, y compris sa validité, sont disponibles dans le Catalogue des publications de la CEI (voir ci-dessous) en plus des nouvelles éditions, amendements et corrigenda. Des informations sur les sujets à l'étude et l'avancement des travaux entrepris par le comité d'études qui a élaboré cette publication, ainsi que la liste des publications parues, sont également disponibles par l'intermédiaire de:

- Site web de la CEI (www.iec.ch)
- Catalogue des publications de la CEI

Le catalogue en ligne sur le site web de la CEI (www.iec.ch/searchpub) vous permet de faire des recherches en utilisant de nombreux critères, comprenant des recherches textuelles, par comité d'études ou date de publication. Des informations en ligne sont également disponibles sur les nouvelles publications, les publications remplacées ou retirées, ainsi que sur les corrigenda.

- IEC Just Published

Ce résumé des dernières publications parues (www.iec.ch/online_news/justpub) est aussi disponible par courrier électronique. Veuillez prendre contact avec le Service client (voir ci-dessous) pour plus d'informations.

- Service clients

Si vous avez des questions au sujet de cette publication ou avez besoin de renseignements supplémentaires, prenez contact avec le Service clients:

Email: custserv@iec.ch
Tél: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

Publication numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series. For example, IEC 34-1 is now referred to as IEC 60034-1.

Consolidated editions

The IEC is now publishing consolidated versions of its publications. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

Further information on IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology. Information relating to this publication, including its validity, is available in the IEC Catalogue of publications (see below) in addition to new editions, amendments and corrigenda. Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is also available from the following:

- IEC Web Site (www.iec.ch)
- Catalogue of IEC publications

The on-line catalogue on the IEC web site (www.iec.ch/searchpub) enables you to search by a variety of criteria including text searches, technical committees and date of publication. On-line information is also available on recently issued publications, withdrawn and replaced publications, as well as corrigenda.

- IEC Just Published

This summary of recently issued publications (www.iec.ch/online_news/justpub) is also available by email. Please contact the Customer Service Centre (see below) for further information.

- Customer Service Centre

If you have any questions regarding this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre:

Email: custserv@iec.ch
Tel: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60871-1

Troisième édition
Third edition
2005-07

**Condensateurs shunt pour réseaux
à courant alternatif de tension assignée
supérieure à 1 000 V –**

**Partie 1:
Généralités**

**Shunt capacitors for a.c. power systems
having a rated voltage above 1 000 V –**

**Part 1:
General**

© IEC 2005 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.

International Electrotechnical Commission, 3, rue de Varembé, PO Box 131, CH-1211 Geneva 20, Switzerland
Telephone: +41 22 919 02 11 Telefax: +41 22 919 03 00 E-mail: inmail@iec.ch Web: www.iec.ch



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

XA

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	8
1 Domaine d'application et objet	12
2 Références normatives	14
3 Termes et définitions	14
4 Conditions de service.....	20
4.1 Conditions de service normales	20
4.2 Conditions de service inhabituelles	22
5 Exigences relatives à la qualité et aux essais	22
5.1 Généralités.....	22
5.2 Conditions d'essai	22
6 Classification des essais	22
6.1 Essais individuels	22
6.2 Essais de type	24
6.3 Essais d'acceptation	24
6.4 Essai d'endurance (essai spécial)	24
7 Mesure de la capacité (essai individuel)	26
7.1 Modalités de la mesure	26
7.2 Tolérances sur la capacité	26
8 Mesure de la tangente de l'angle de pertes ($\tan \delta$) du condensateur (essai individuel).....	28
8.1 Modalités de la mesure	28
8.2 Exigences relatives aux pertes.....	28
8.3 Pertes dans les fusibles externes.....	28
9 Essai diélectrique entre bornes (essai individuel)	28
9.1 Essai en courant alternatif	28
9.2 Essai en courant continu.....	28
10 Essai diélectrique en courant alternatif entre bornes et cuve (essai individuel).....	30
11 Essai du dispositif interne de décharge (essai individuel)	30
12 Essai d'étanchéité (essai individuel).....	30
13 Essai de stabilité thermique (essai de type).....	32
13.1 Généralités.....	32
13.2 Modalités de la mesure.....	32
14 Mesure de la tangente de l'angle de pertes ($\tan \delta$) du condensateur à température élevée (essai de type).....	34
14.1 Modalités de la mesure.....	34
14.2 Exigences.....	34
15 Essai diélectrique en courant alternatif entre bornes et cuve (essai de type).....	34
16 Essai au choc de foudre entre bornes et cuve (essai de type).....	36
17 Essai de décharge en court-circuit (essai de type).....	36
18 Niveaux d'isolement.....	38
18.1 Valeurs d'isolement normalisées.....	38
18.2 Exigences générales.....	38
18.3 Essai entre bornes et cuve des condensateurs unitaires.....	40
18.4 Condensateurs sur des réseaux monophasés	40

CONTENTS

FOREWORD.....	9
1 Scope and object.....	13
2 Normative references.....	15
3 Terms and definitions	15
4 Service conditions.....	21
4.1 Normal service conditions	21
4.2 Unusual service conditions	23
5 Quality requirements and tests.....	23
5.1 General	23
5.2 Test conditions	23
6 Classification of tests.....	23
6.1 Routine tests	23
6.2 Type tests	25
6.3 Acceptance tests	25
6.4 Endurance test (special test).....	25
7 Capacitance measurement (routine test).....	27
7.1 Measuring procedure	27
7.2 Capacitance tolerances	27
8 Measurement of the tangent of the loss angle ($\tan \delta$) of the capacitor (routine test)	29
8.1 Measuring procedure	29
8.2 Loss requirements	29
8.3 Losses in external fuses	29
9 Voltage test between terminals (routine test).....	29
9.1 AC test.....	29
9.2 DC test.....	29
10 AC voltage test between terminals and container (routine test).....	31
11 Test of internal discharge device (routine test)	31
12 Sealing test (routine test).....	31
13 Thermal stability test (type test)	33
13.1 General.....	33
13.2 Measuring procedure	33
14 Measurement of the tangent of the loss angle ($\tan \delta$) of the capacitor at elevated temperature (type test).....	35
14.1 Measuring procedure	35
14.2 Requirements	35
15 AC voltage test between terminals and container (type test)	35
16 Lightning impulse test between terminals and container (type test)	37
17 Short-circuit discharge test (type test)	37
18 Insulation levels	39
18.1 Standard insulation values	39
18.2 General requirements	39
18.3 Test between terminals and container of capacitor units.....	41
18.4 Capacitors in single-phase systems	41

19	Surcharges – Tension maximale admissible	46
19.1	Tensions de longue durée	46
19.2	Surtensions de manoeuvre	48
20	Surcharges – Courant maximal admissible	48
21	Règles de sécurité pour des dispositifs de décharge	48
22	Règles de sécurité pour des connexions à l'enveloppe	50
23	Règles de sécurité pour la protection de l'environnement	50
24	Autres règles de sécurité	50
25	Marquage des condensateurs unitaires	50
25.1	Plaque signalétique	50
25.2	Symboles de connexion normalisés	52
25.3	Plaque d'avertissement	52
26	Marquage des batteries de condensateurs	52
26.1	Notice d'instructions ou plaque signalétique	52
26.2	Plaque signalétique	52
27	Guide d'installation et d'exploitation	54
27.1	Généralités	54
27.2	Choix de la tension assignée	54
27.3	Température de service	56
27.4	Conditions spéciales	58
27.5	Surtensions	58
27.6	Courants de surcharge	62
27.7	Appareils de coupure et de protection	64
27.8	Choix des niveaux d'isolement	66
27.9	Choix des lignes de fuite et distances dans l'air	72
27.10	Condensateurs raccordés à des réseaux pourvus de télécommande à fréquence acoustique	76
Annexe A (normative) Précautions à prendre pour éviter la pollution de l'environnement par les polychlorobiphényles		78
Annexe B (normative) Définitions, exigences et essais supplémentaires concernant les condensateurs de puissance pour filtrage en courants forts		80
Annexe C (normative) Exigences d'essai et guide d'application pour fusibles externes et unités à protéger par fusible externe		84
Annexe D (informative) Formules pour les condensateurs et les installations		90
Annexe E (informative) Protection des batteries de condensateurs par fusibles et disposition des unités		94
Bibliographie		100
Figure 1 – Batterie isolée de la terre		70
Figure 2 – Batterie isolée de la terre (cuves mises à la terre)		70
Figure 3 – Batterie mise à la terre		72
Figure 4 – Distance dans l'air en fonction de la tenue en courant alternatif		76
Figure E.1 – Connexions typiques entre condensateurs unitaires		96
Figure E.2 – Connexions typiques entre éléments au sein d'un condensateur unitaire		98

19	Overloads – Maximum permissible voltage	47
19.1	Long-duration voltages	47
19.2	Switching overvoltages	49
20	Overloads – Maximum permissible current	49
21	Safety requirements for discharge devices	49
22	Safety requirements for container connections	51
23	Safety requirements for protection of the environment	51
24	Other safety requirements	51
25	Markings of the unit	51
25.1	Rating plate	51
25.2	Standardized connection symbols	53
25.3	Warning plate	53
26	Markings of the bank	53
26.1	Instruction sheet or rating plate	53
26.2	Warning plate	53
27	Guide for installation and operation	55
27.1	General	55
27.2	Choice of the rated voltage	55
27.3	Operating temperature	57
27.4	Special service conditions	59
27.5	Overvoltages	59
27.6	Overload currents	63
27.7	Switching and protective devices	65
27.8	Choice of insulation levels	67
27.9	Choice of creepage distances and air clearance	73
27.10	Capacitors connected to systems with audiofrequency remote control	77
	Annex A (normative) Precautions to be taken to avoid pollution of the environment by polychlorinated biphenyls	79
	Annex B (normative) Additional definitions, requirements and tests for power filter capacitors	81
	Annex C (normative) Test requirements and application guide for external fuses and units to be externally fused	85
	Annex D (informative) Formulae for capacitors and installations	91
	Annex E (informative) Capacitor bank fusing and unit arrangement	95
	Bibliography	101
	Figure 1 – Bank isolated from ground	71
	Figure 2 – Bank isolated from ground (containers connected to ground)	71
	Figure 3 – Bank connected to ground	73
	Figure 4 – Air clearance versus AC withstand	77
	Figure E.1 – Typical connections between capacitor units	97
	Figure E.2 – Typical connections between elements within a capacitor unit	99

Tableau 1 – Symboles littéraux de la limite supérieure de la plage de température.....	20
Tableau 2 – Température de l'air ambiant pour l'essai de stabilité thermique	32
Tableau 3 – Niveaux d'isolement normalisés pour $U_m < 52$ kV – Série I (d'après la pratique courante dans la plupart des pays d'Europe et dans certains autres pays).....	40
Tableau 4 – Niveaux d'isolement normalisés pour $U_m < 52$ kV – Série II (d'après la pratique courante dans certains pays d'Amérique du Nord et autres pays)	42
Tableau 5 – Niveaux d'isolement normalisés pour $52 \text{ kV} \leq U_m < 300 \text{ kV}$	42
Tableau 6 – Niveaux d'isolement normalisés pour $U_m \geq 300 \text{ kV}$	44
Tableau 7 – Niveaux de tension admissibles en service.....	46
Tableau 8 – Exigences d'isolement	68
Tableau 9 – Corrélation entre les tensions de tenue au choc de foudre normalisées et les distances dans l'air minimales (CEI 60071-2, Annexe A, Tableau A.1).....	74

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60871-1:2005

Without watermark

Table 1 – Letter symbols for upper limit of temperature range	21
Table 2 – Ambient air temperature for the thermal stability test	33
Table 3 – Standard insulation levels for $U_m < 52$ kV – Series I (based on current practice in most European and several other countries)	41
Table 4 – Standard insulation levels for $U_m < 52$ kV – Series II (based on current practice in some North American and other countries)	43
Table 5 – Standard insulation levels for $52 \text{ kV} \leq U_m < 300 \text{ kV}$	43
Table 7 – Admissible voltage levels in service	47
Table 8 – Insulation requirements	69
Table 9 – Correlation between standard lightning impulse withstand voltages and minimum air clearances (IEC 60071-2, Annex A, Table A.1)	75

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60871-1:2005

Without watermark

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

CONDENSATEURS SHUNT POUR RÉSEAUX À COURANT ALTERNATIF DE TENSION ASSIGNÉE SUPÉRIEURE À 1 000 V –

Partie 1: Généralités

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 60871-1 a été établie par le comité d'études 33 de la CEI: Condensateurs de puissance.

Cette troisième édition annule et remplace la deuxième édition, parue en 1997, et constitue une révision technique.

Les modifications principales par rapport à la précédente édition concernent en particulier le changement des valeurs de la tension d'essai pendant l'essai diélectrique entre bornes et l'introduction de l'article concernant le choix de lignes de fuite et distances dans l'air.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**SHUNT CAPACITORS FOR AC POWER SYSTEMS
HAVING A RATED VOLTAGE ABOVE 1 000 V –****Part 1: General****FOREWORD**

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 60871-1 has been prepared by IEC technical committee 33: Power capacitors.

This third edition cancels and replaces the second edition, published in 1997, and constitutes a technical revision.

The main changes with respect to the previous edition regard the modification of the values of the test voltage during the voltage test between terminals and the introduction of the clause concerning the choice of creepage distances and air clearances.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
33/411/FDIS	33/419/RVD

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

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 2.

La CEI 60871 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général *Condensateurs shunt pour réseaux à courant alternatif de tension assignée supérieure à 1 000 V*

Partie 1 Généralités

Partie 2 Essais d'endurance

Partie 3 Protection des condensateurs shunt et des batteries de condensateurs shunt

Partie 4 Fusibles internes

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de maintenance indiquée sur le site web de la CEI sous «<http://webstore.iec.ch>» dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

- reconduite;
- supprimée;
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

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

FDIS	Report on voting
33/411/FDIS	33/419/RVD

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

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

IEC 60871 consists of the following parts, under the general title *Shunt capacitors for a.c. power systems having a rated voltage above 1 000 V*

Part 1 General

Part 2 Endurance testing

Part 3 Protection of shunt capacitors and shunt capacitor banks

Part 4 Internal fuses

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the maintenance result date indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

- reconfirmed;
- withdrawn;
- replaced by a revised edition, or
- amended.

CONDENSATEURS SHUNT POUR RÉSEAUX À COURANT ALTERNATIF DE TENSION ASSIGNÉE SUPÉRIEURE À 1 000 V –

Partie 1: Généralités

1 Domaine d'application et objet

La présente partie de la CEI 60871 est applicable aux condensateurs unitaires et aux batteries de condensateurs destinés plus particulièrement à la correction du facteur de puissance des réseaux à courant alternatif de tension assignée supérieure à 1 000 V et de fréquence comprise entre 15 Hz et 60 Hz.

Cette partie de la CEI 60871 est également applicable aux condensateurs destinés à être utilisés pour le filtrage dans les circuits de puissance. Les définitions, les exigences et les essais complémentaires pour les condensateurs de filtrage sont indiqués dans l'Annexe B.

La CEI 60871-4 donne les exigences supplémentaires qui sont applicables aux condensateurs protégés par des fusibles internes ainsi que les exigences qui sont applicables à ces fusibles.

L'Annexe C donne les exigences supplémentaires qui sont applicables aux condensateurs protégés par des fusibles externes ainsi que les exigences qui sont applicables à ces fusibles.

Cette norme n'est pas applicable aux condensateurs à film métallisé de type autorégénérateur.

Les condensateurs suivants sont exclus de la présente partie de la CEI 60871:

- les condensateurs pour installations de génération de chaleur par induction fonctionnant à des fréquences comprises entre 40 Hz et 24 000 Hz (CEI 60110-1);
- les condensateurs série destinés à être installés sur des réseaux (voir la série CEI 60143);
- les condensateurs pour applications sur moteurs et condensateurs analogues (voir la série CEI 60252);
- les condensateurs de couplage et diviseurs capacitifs (CEI 60358);
- les condensateurs shunt de puissance pour réseaux à courant alternatif de tension assignée inférieure ou égale à 1 000 V (voir la série CEI 60831 et la série CEI 60931);
- les petits condensateurs à courant alternatif utilisés avec les lampes fluorescentes et à décharge (CEI 61048 et CEI 61049);
- les condensateurs utilisés dans les circuits électroniques de puissance (CEI 61071);
- les condensateurs pour les fours à micro-ondes (CEI 61270-1);
- les condensateurs d'antiparasitage radioélectrique;
- les condensateurs utilisés en courant continu en présence de courant alternatif superposé.

Les accessoires tels que les isolateurs, les interrupteurs, les transformateurs de mesure, les fusibles externes, etc. sont conformes aux normes particulières de la CEI.

La présente partie de la CEI 60871 a pour objet:

- a) de formuler des règles uniformes pour les performances et les caractéristiques assignées des condensateurs et des batteries, et pour les essais des condensateurs unitaires;
- b) de formuler des règles spécifiques de sécurité;
- c) de servir de guide d'installation et d'exploitation.

SHUNT CAPACITORS FOR AC POWER SYSTEMS HAVING A RATED VOLTAGE ABOVE 1 000 V –

Part 1: General

1 Scope and object

This part of IEC 60871 is applicable to both capacitor units and capacitor banks intended to be used, particularly, for power-factor correction of a.c. power systems having a rated voltage above 1 000 V and frequencies of 15 Hz to 60 Hz.

This part of IEC 60871 also applies to capacitors intended for use in power filter circuits. Additional definitions, requirements and tests for filter capacitors are given in Annex B.

Additional requirements for capacitors protected by internal fuses as well as requirements for the internal fuses are given in IEC 60871-4.

Requirements for capacitors to be protected by external fuses, as well as requirements for the same, are given in Annex C.

This standard does not apply to capacitors of the self-healing metallized dielectric type.

The following capacitors are excluded from this part of IEC 60871:

- capacitors for inductive heat-generating plants operating at frequencies between 40 Hz and 24 000 Hz (IEC 60110-1);
- series capacitors for power systems (see the IEC 60143 series);
- capacitors for motor applications and the like (see the IEC 60252 series);
- coupling capacitors and capacitor dividers (IEC 60358);
- shunt capacitors for a.c. power systems having rated voltage up to and including 1 000 V (see the IEC 60831 and IEC 60931 series);
- small a.c. capacitors to be used for fluorescent and discharge lamps (IEC 61048 and IEC 61049);
- capacitors to be used in power electronic circuits (IEC 61071);
- capacitors for microwave ovens (IEC 61270-1);
- capacitors for suppression of radio interference;
- capacitors intended for use with d.c. voltage superimposed on a.c. voltage.

Accessories such as insulators, switches, instrument transformers, external fuses, etc. are in accordance with the relevant IEC standards.

The object of this part of IEC 60871 is as follows:

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

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 60060-1:1989, *Techniques des essais à haute tension – Partie 1: Définitions et prescriptions générales relatives aux essais*

CEI 60071-1:1993, *Coordination de l'isolement – Partie 1: Définitions, principes et règles*

CEI 60071-2:1996, *Coordination de l'isolement – Partie 2: Guide d'application*

CEI 60099 (toutes les parties), *Parafoudres*

CEI 60549:1976, *Coupe-circuit à fusibles haute tension destinés à la protection externe des condensateurs de puissance en dérivation*

CEI 60815:1986, *Guide pour le choix des isolateurs sous pollution*

CEI 60871-2:1999, *Condensateurs shunt pour réseaux à courant alternatif de tension assignée supérieure à 1 000 V – Partie 2: Essais d'endurance*

CEI 60871-4:1996, *Condensateurs shunt pour réseaux à courant alternatif de tension assignée supérieure à 1 000 V – Partie 4: Fusibles internes*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

3.1

élément

élément de condensateur
dispositif constitué essentiellement par deux électrodes séparées par un diélectrique

[VEI 436-01-03]

3.2

condensateur unitaire

unité (de condensateur)
ensemble d'un ou de plusieurs éléments de condensateurs placés dans une même enveloppe et reliés à des bornes de sortie

[VEI 436-01-04]

3.3

batterie de condensateurs (ou batterie)

ensemble de condensateurs unitaires raccordés de façon à agir conjointement

[VEI 436-01-06]

3.4

condensateur

dans la présente partie de la CEI 60871, le terme «condensateur» est employé lorsqu'il n'est pas nécessaire de préciser s'il s'agit d'un condensateur unitaire ou d'une batterie de condensateurs

2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60060-1:1989, *High-voltage test techniques – Part 1: General definitions and test requirements*

IEC 60071-1:1993, *Insulation co-ordination – Part 1: Definitions, principles and rules*

IEC 60071-2:1996, *Insulation co-ordination – Part 2: Application guide*

IEC 60099 (all parts), *Surge arresters*

IEC 60549:1976, *High-voltage fuses for the external protection of shunt power capacitors*

IEC 60815:1986, *Guide for the selection of insulators in respect of polluted conditions*

IEC 60871-2:1999, *Shunt capacitors for a.c. power systems having a rated voltage above 1 000 V – Part 2: Endurance testing*

IEC 60871-4:1996, *Shunt capacitors for a.c. power systems having a rated voltage above 1 000 V – Part 4: Internal fuses*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following definitions apply.

3.1

capacitor element

element

device consisting essentially of two electrodes separated by a dielectric

[IEV 436-01-03]

3.2

capacitor unit

unit

assembly of one or more capacitor elements in the same container with terminals brought out

[IEV 436-01-04]

3.3

capacitor bank

bank

number of capacitor units connected so as to act together

[IEV 436-01-06]

3.4

capacitor

in this part of IEC 60871, 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

installation de condensateurs

une ou plusieurs batteries de condensateurs et leurs accessoires

[VEI 436-01-07]

3.6

dispositif de décharge d'un condensateur

dispositif pouvant être incorporé dans un condensateur et capable de réduire pratiquement à zéro, dans un temps donné, la tension entre les bornes du condensateur, lorsqu'il a été déconnecté du réseau

[VEI 436-03-15, modifié]

3.7

fusible interne d'un condensateur

fusible monté à l'intérieur d'une unité de condensateur et relié en série avec un élément ou un groupe d'éléments

[VEI 436-03-16, modifié]

3.8

borne de ligne

borne destinée à être reliée à un conducteur de ligne d'un réseau

[VEI 436-03-01]

NOTE Dans les condensateurs polyphasés, la borne devant être connectée au conducteur neutre n'est pas considérée comme une borne de ligne.

3.9

capacité assignée d'un condensateur

C_N

valeur de la capacité déduite des valeurs assignées de la puissance, de la tension et de la fréquence du condensateur

[VEI 436-01-12]

3.10

puissance assignée d'un condensateur

Q_N

puissance réactive pour laquelle le condensateur a été conçu

[VEI 436-01-16]

3.11

tension assignée d'un condensateur

U_N

valeur efficace de la tension alternative pour laquelle le condensateur a été conçu

[VEI 436-01-15]

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

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

3.5

capacitor installation

one or more capacitor banks and their accessories

[IEV 436-01-07]

3.6

discharge device of a capacitor

device which may be incorporated in a capacitor, capable of reducing the voltage between the terminals practically to zero, within a given time, after the capacitor has been disconnected from a network

[IEV 436-03-15, modified]

3.7

internal fuse of a capacitor

fuse connected inside a capacitor unit, in series with an element or a group of elements

[IEV 436-03-16]

3.8

line terminal

terminal intended for connection to a line conductor of a network

[IEV 436-03-01]

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

3.9

rated capacitance of a capacitor

C_N

capacitance value derived from the values of rated output, voltage and frequency of the capacitor

[IEV 436-01-12]

3.10

rated output of a capacitor

Q_N

reactive power for which the capacitor has been designed

[IEV 436-01-16]

3.11

rated voltage of a capacitor

U_N

r.m.s. value of the alternating voltage for which the capacitor has been designed

[IEV 436-01-15]

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

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

3.12

fréquence assignée d'un condensateur

f_N

fréquence pour laquelle le condensateur a été conçu

[VEI 436-01-14]

3.13

courant assigné d'un condensateur

I_N

valeur efficace du courant alternatif pour laquelle le condensateur a été conçu

[VEI 436-01-13]

3.14

pertes d'un condensateur

puissance active dissipée dans le condensateur

[VEI 436-04-10]

NOTE 1 Il convient de tenir compte de tous les composants qui engendrent ces pertes:

- pour une unité, les pertes dues au diélectrique, aux fusibles internes, ou aux dispositifs de décharge, aux connexions, etc.;
- pour une batterie, les pertes dues aux condensateurs unitaires, aux fusibles externes, aux jeux de barres, aux bobines de décharge et d'amortissement, etc.

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

3.15

tangente de l'angle de perte (d'un condensateur)

$\tan \delta$

rapport entre la résistance-série équivalente et la réactance capacitive du condensateur dans des conditions spécifiées de fréquence et de tension alternative sinusoïdale

[VEI 436-04-11]

3.16

tension alternative maximale admissible d'un condensateur

valeur efficace maximale de la tension alternative que le condensateur peut supporter pendant un temps déterminé dans des conditions spécifiées

[VEI 436-04-07]

3.17

courant alternatif maximal admissible d'un condensateur

valeur efficace maximale du courant alternatif que le condensateur peut supporter pendant un temps déterminé dans des conditions spécifiées

[VEI 436-04-09]

3.18

température de l'air ambiant

température de l'air à l'emplacement prévu pour le condensateur

3.19

température de l'air de refroidissement

température de l'air de refroidissement mesurée à l'état stable à l'endroit le plus chaud de la batterie, à mi-distance entre deux unités

NOTE S'il s'agit d'une seule unité, c'est la température mesurée à 0,1 m environ de la cuve du condensateur et aux deux tiers de sa hauteur mesurée en partant de sa base.

3.12**rated frequency of a capacitor** f_N

frequency for which the capacitor has been designed

[IEV 436-01-14]

3.13**rated current of a capacitor** I_N

r.m.s. value of the alternating current for which the capacitor has been designed

[IEV 436-01-13]

3.14**capacitor losses**

active power dissipated in the capacitor

[IEV 436-04-10]

NOTE 1 All loss-producing components should be included, for example:

- for a unit, losses from dielectric, internal fuses, internal discharge resistor, connections, etc;
- for a bank, losses from units, external fuses, busbars, discharge and damping reactors, etc.

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

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

ratio between the equivalent series resistance and the capacitive reactance of the capacitor at specified sinusoidal alternating voltage and frequency

[IEV 436-04-11]

3.16**maximum permissible a.c. voltage of a capacitor**

maximum r.m.s. alternating voltage which the capacitor can sustain for a given time in specified conditions

[IEV 436-04-07]

3.17**maximum permissible a.c. current of a capacitor**

maximum r.m.s. alternating current which the capacitor can sustain for a given time in specified conditions

[IEV 436-04-09]

3.18**ambient air temperature**

temperature of the air at the proposed location of the capacitor

3.19**cooling air temperature**

temperature of the cooling air measured at the hottest position in the bank, under steady-state conditions, midway between two units

NOTE If only one unit is involved, it is the temperature measured at a point approximately 0,1 m away from the capacitor container and at two-thirds of the height from its base.

3.20**état stable**

équilibre thermique atteint par le condensateur fonctionnant dans des conditions constantes de puissance et de température ambiante

3.21**tension résiduelle**

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

4 Conditions de service**4.1 Conditions de service normales**

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

a) Tension résiduelle à la mise sous tension

Elle ne doit pas être supérieure à 10 % de la tension assignée (voir Articles 21 et 31, Paragraphe 19.2 et l'Annexe D).

b) Altitude

Elle ne doit pas dépasser 1 000 m.

c) Catégories de température de l'air ambiant

Les condensateurs sont classés en catégories de température, chaque catégorie étant repérée par un nombre suivi d'une lettre. Le nombre représente la valeur la plus basse de la température de l'air ambiant à laquelle le condensateur peut fonctionner. Les lettres représentent les valeurs limites supérieures des plages de variation de la température dont les valeurs maximales sont spécifiées dans le Tableau 1. Ces catégories de température couvrent une plage totale qui s'étend de $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ à $+55\text{ }^{\circ}\text{C}$.

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

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

Le Tableau 1 se fonde sur des conditions de service pour lesquelles le condensateur n'a pas d'influence sur la température de l'air ambiant (par exemple installations extérieures).

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

Température de l'air ambiant $^{\circ}\text{C}$			
Symbole	Maximum	Moyenne la plus élevée sur toute période de	
		24 h	1 an
A	40	30	20
B	45	35	25
C	50	40	30
D	55	45	35

NOTE Ces valeurs de température peuvent être trouvées dans les tables de température météorologiques concernant le lieu d'installation.

3.20**steady-state condition**

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

3.21**residual voltage**

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

4 Service conditions**4.1 Normal service conditions**

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

a) Residual voltage at energization

This shall not exceed 10 % of the rated voltage (see Clauses 21 and 31, subclause 19.2 and Annex D).

b) Altitude

This shall not exceed 1 000 m.

c) Ambient air temperature categories

Capacitors are classified in temperature categories, each category being specified by a number followed by a letter. The number represents the lowest ambient air temperature at which the capacitor may operate. The letters represent upper limits of temperature variation ranges, having maximum values specified in Table 1. The temperature categories cover the temperature range of $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $+55\text{ }^{\circ}\text{C}$.

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

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

Table 1 is based on service conditions in which the capacitor does not influence the ambient air temperature (for example outdoor installations).

Table 1 – Letter symbols for upper limit of temperature range

Ambient temperature $^{\circ}\text{C}$			
Symbol	Maximum	Highest mean over any period of	
		24 h	1 year
A	40	30	20
B	45	35	25
C	50	40	30
D	55	45	35

NOTE These temperature values can be found in the meteorological temperature tables covering the installation site.

Si le condensateur exerce une influence sur la température de l'air environnant, l'effet de la ventilation et/ou le choix du condensateur doivent être tels que les limites du Tableau 1 sont maintenues. Dans cette sorte d'installation, la température de l'air de refroidissement ne dépasse pas les limites indiquées dans le Tableau 1 de plus de 5 °C.

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

4.2 Conditions de service inhabituelles

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

5 Exigences relatives à la qualité et aux essais

5.1 Généralités

Les Articles 5 à 17 donnent des exigences relatives aux essais des condensateurs unitaires.

Les supports isolants, les interrupteurs, les transformateurs de mesure, les fusibles externes, etc. doivent être conformes aux normes particulières de la CEI.

5.2 Conditions d'essai

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

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

On peut admettre que la température du diélectrique du condensateur unitaire est la même que celle de l'air ambiant, pourvu que le condensateur ait été laissé hors tension à température ambiante constante pendant une durée suffisante.

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

6 Classification des essais

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

6.1 Essais individuels

- a) Mesure de la capacité (voir Article 7).
- b) Mesure de la tangente de l'angle de pertes ($\tan \delta$) du condensateur (voir Article 8).
- c) Essai diélectrique entre bornes (voir Article 9).
- d) Essai diélectrique en courant alternatif entre bornes et cuve (voir Article 10).
- e) Essai du dispositif interne de décharge (voir Article 11).
- f) Essai d'étanchéité (voir Article 12).
- g) Essai de décharge des fusibles internes (voir 5.1.1 de la CEI 60871-4).

If the capacitor influences the air temperature, the ventilation and/or choice of capacitor shall be such that the Table 1 limits are maintained. The cooling air temperature in such an installation shall not exceed the temperature limits of Table 1 by more than 5 °C.

Any combination of minimum and maximum values can be chosen for the standard temperature category of a capacitor, for example –40/A or –5/C. Preferred standard temperature categories are: –40/A, –25/A, –5/A and –5/C.

4.2 Unusual service conditions

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

5 Quality requirements and tests

5.1 General

Clauses 5 to 17 gives the test requirements for capacitor units.

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

5.2 Test conditions

Unless otherwise specified for a particular test or measurement, the temperature of the capacitor dielectric shall be in the range +5 °C to +35 °C.

When a correction has to be applied, the reference temperature to be used is +20 °C, unless otherwise agreed between the manufacturer and the purchaser.

It may be assumed that the dielectric temperature of the capacitor unit is the same as the ambient temperature, provided that the capacitor has been left in an unenergized state at a constant ambient temperature for an adequate period.

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

6 Classification of tests

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

6.1 Routine tests

- a) Capacitance measurement (see Clause 7).
- b) Measurement of the tangent of the loss angle ($\tan \delta$) of the capacitor (see Clause 8).
- c) Voltage test between terminals (see Clause 9).
- d) AC voltage test between terminals and container (see Clause 10).
- e) Test of internal discharge device (see Clause 11).
- f) Sealing test (see Clause 12).
- g) Discharge test on internal fuses (see 5.1.1 of IEC 60871-4).

Les essais individuels doivent avoir été exécutés par le fabricant sur chaque condensateur avant livraison. Sur demande de l'acheteur, un rapport d'essai doit lui être remis, indiquant de façon détaillée les résultats de ces essais. L'ordre d'exécution des essais ci-dessus n'est pas obligatoire.

NOTE Sur accord entre le fabricant et l'acheteur, un essai de décharge en court-circuit peut être effectué comme essai individuel. Il convient que l'accord fixe également les paramètres d'essai.

6.2 Essais de type

- a) Essai de stabilité thermique (voir Article 13).
- b) Mesure de la tangente de l'angle de pertes ($\tan \delta$) du condensateur à température élevée (voir Article 14).
- c) Essai diélectrique en courant alternatif entre bornes et cuve (voir Article 15).
- d) Essai au choc de foudre entre bornes et cuve (voir Article 16).
- e) Essai de décharge en court-circuit (voir Article 17).
- f) Essai de fusible externe monté sur un condensateur (voir Annexe C).
- g) Essai de déconnexion des fusibles internes (voir 5.3 de la CEI 60871-4).

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

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

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

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

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

6.3 Essais d'acceptation

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

Le nombre d'échantillons soumis au renouvellement de tels essais doit, comme les critères d'acceptation, faire l'objet d'un accord entre le fabricant et l'acheteur et doit être mentionné dans le contrat.

6.4 Essai d'endurance (essai spécial)

L'essai d'endurance porte sur des éléments (conception et composition du diélectrique) ainsi que sur le procédé de fabrication de ces éléments, une fois que ces derniers sont assemblés pour former un condensateur unitaire. Puisqu'il est à la fois long et coûteux à réaliser, un essai d'endurance porte sur une série de modèles de condensateurs (voir la CEI 60871-2).

Routine tests shall have been carried out by the manufacturer on every capacitor before delivery. If the purchaser so requests, he shall be supplied with a certificate detailing the results of such tests. The test sequence above is not mandatory.

NOTE If agreed between purchaser and manufacturer, a short-circuit discharge test may be carried out as a routine test. The test parameters should also be agreed upon.

6.2 Type tests

- a) Thermal stability test (see Clause 13).
- b) Measurement of the tangent of the loss angle ($\tan \delta$) of the capacitor at elevated temperature (see Clause 14).
- c) AC voltage test between terminals and container (see Clause 15).
- d) Lightning impulse voltage test between terminals and container (see Clause 16).
- e) Short-circuit discharge test (see Clause 17).
- f) Test of an external fuse in combination with a capacitor (see Annex C).
- g) Disconnecting test on internal fuses (see 5.3 of IEC 60871-4).

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

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

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

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

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

6.3 Acceptance tests

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

The number of samples that may be subjected to such tests, and the acceptance criteria, shall be subject to agreement between manufacturer and purchaser, and shall be stated in the contract.

6.4 Endurance test (special test)

The endurance test is a test on elements (their dielectric design and composition), and on the manufacturing process of these elements when assembled in a capacitor unit. An endurance test, which is both time-consuming and expensive, covers a range of capacitor designs (see IEC 60871-2).

7 Mesure de la capacité (essai individuel)

7.1 Modalités de la mesure

La capacité doit être mesurée avec une tension comprise entre 0,9 et 1,1 fois la tension assignée, en employant une méthode qui permet d'éviter les erreurs dues aux harmoniques.

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

La mesure finale de la capacité doit être effectuée après exécution des essais diélectriques (voir Articles 9 et 10).

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

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

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

NOTE Avec les condensateurs polyphasés, il convient que la tension de mesure soit réglée de manière à avoir 0,9 à 1,1 fois la tension assignée aux bornes de chaque élément.

7.2 Tolérances sur la capacité

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

- 5 % à +10 % pour les condensateurs unitaires,
- 5 % à +10 % pour les batteries dont la puissance assignée totale est inférieure ou égale à 3 Mvar,
- 0 % à +10 % pour les batteries dont la puissance assignée totale est comprise entre 3 Mvar et 30 Mvar,
- 0 % à +5 % pour les batteries dont la puissance assignée totale est supérieure à 30 Mvar.

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

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

NOTE 1 Pour les tolérances, voir également 31.5.

NOTE 2 L'Annexe D donne une formule pour calculer la puissance d'un condensateur triphasé à partir de mesures effectuées sur un condensateur monophasé.

NOTE 3 Pour les batteries dont la puissance assignée totale est supérieure à 3 Mvar, le fabricant et l'acheteur peuvent s'entendre sur des tolérances plus étroites sur la puissance et sur le rapport des capacités par phase.

NOTE 4 Dans les batteries connectées en étoile avec neutre isolé, on peut désirer de plus faibles rapports entre valeurs maximale et minimale des capacités par phase (voir 31.5).

7 Capacitance measurement (routine test)

7.1 Measuring procedure

The capacitance shall be measured at 0,9 to 1,1 times the rated voltage, using a method that excludes errors due to harmonics.

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

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

In order to reveal any change in capacitance, for example due to puncture of an element, or failure of an internal fuse, a preliminary capacitance measurement shall be made, before the other electrical routine tests. This preliminary measurement shall be performed with a reduced voltage not higher than 0,15 U_N .

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

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

NOTE For polyphase capacitors, the measuring voltage should be adjusted to give 0,9 to 1,1 times rated voltage across each element.

7.2 Capacitance tolerances

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

- 5 % to +10 % for capacitor units,
- 5 % to +10 % for banks up to 3 Mvar total rating,
- 0 % to +10 % for banks from 3 Mvar to 30 Mvar total rating,
- 0 % to +5 % for banks above 30 Mvar total rating.

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

In three-phase units and banks, the ratio of maximum to minimum values of capacitance measured between any two line terminals shall not exceed 1,08.

NOTE 1 See also 31.5 concerning tolerances.

NOTE 2 A formula for the calculation of the output of a three-phase capacitor from single-phase capacitance measurements is given in Annex D.

NOTE 3 For banks above 3 Mvar total rating, closer tolerances for output and phase capacitance ratios may be agreed between manufacturer and purchaser.

NOTE 4 Smaller ratios of maximum to minimum value of the phase capacitances may be needed in star-connected banks with isolated neutral (see 31.5).

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

8.1 Modalités de la mesure

Les pertes ($\tan \delta$) du condensateur doivent être mesurées avec une tension comprise entre 0,9 et 1,1 fois la tension assignée, en employant une méthode qui permet d'éviter les erreurs dues aux harmoniques. La précision de la méthode de mesure ainsi que la corrélation avec les valeurs mesurées à la tension assignée et à la fréquence assignée doivent être consignées.

NOTE 1 Avec les condensateurs polyphasés, il convient que la tension de mesure soit réglée de manière à avoir 0,9 à 1,1 fois la tension assignée aux bornes de chaque élément.

NOTE 2 La tangente de l'angle de pertes des diélectriques imprégnés à faibles pertes diminue pendant les premières heures après la mise sous tension initiale. Cette diminution n'est pas liée à la variation de $\tan \delta$ en fonction de la température. La valeur initiale de $\tan \delta$ peut également varier pour des condensateurs identiques fabriqués simultanément. Toutefois, les valeurs finales «stabilisées» sont habituellement très voisines comme le montrent les différences enregistrées entre les mesures lors des essais individuels et les valeurs relevées lors de l'essai de stabilité thermique ou après d'autres méthodes de conditionnement selon la pratique des fabricants.

NOTE 3 Il convient d'étalonner le dispositif de mesure conformément aux dispositions de la CEI 60996 ou à l'aide d'une autre méthode conduisant à une précision identique ou meilleure.

8.2 Exigences relatives aux pertes

Les exigences relatives aux pertes des condensateurs doivent faire l'objet d'un accord entre le fabricant et l'acheteur.

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

8.3 Pertes dans les fusibles externes

Les pertes dans les fusibles externes doivent être calculées en faisant le produit de la résistance nominale en courant alternatif (spécifiée par le fabricant de fusible à 20 °C) et du carré du courant assigné du condensateur.

9 Essai diélectrique entre bornes (essai individuel)

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

9.1 Essai en courant alternatif

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

$$U_t = 2,0 U_N$$

NOTE 1 Si l'on procède à un second essai après livraison des condensateurs, une tension égale à 75 % de U_t est recommandée pour ce second essai.

NOTE 2 Avec les condensateurs polyphasés, il convient que la tension d'essai soit réglée pour avoir la valeur appropriée aux bornes de chaque élément.

NOTE 3 Les unités munies de fusibles internes et qui demeurent dans les tolérances de capacité malgré l'ouverture d'un ou de plusieurs de ces fusibles ne peuvent être livrés qu'après accord entre le fabricant et l'acheteur.

9.2 Essai en courant continu

La tension d'essai doit avoir la valeur:

$$U_t = 4,0 U_N$$

8 Measurement of the tangent of the loss angle ($\tan \delta$) of the capacitor (routine test)

8.1 Measuring procedure

The capacitor losses ($\tan \delta$) shall be measured at 0,9 to 1,1 times rated voltage, using a method that excludes errors due to harmonics. The accuracy of the measuring method and the correlation with the values measured at rated voltage and frequency shall be given.

NOTE 1 For polyphase capacitors, the measuring voltage should be adjusted to give 0,9 to 1,1 times rated voltage across each element.

NOTE 2 The tangent of loss angle of impregnated low-loss dielectrics decreases during the first hours of initial energization. This decrease is not correlated to the $\tan \delta$ variation with temperature. The $\tan \delta$ measured in routine testing may vary significantly between identical units manufactured simultaneously. The final "stabilized" values are, however, usually within close limits, as indicated by differences recorded between routine test measurements and the value found in thermal stability testing or alternative methods for conditioning according to manufacturer's practice.

NOTE 3 The measuring equipment should be calibrated according to IEC 60996 or to another method that will give the same or an improved accuracy.

8.2 Loss requirements

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

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

8.3 Losses in external fuses

Losses in external fuses shall be calculated using the nominal a.c. resistance (specified by the fuse manufacturer at 20 °C) times the square of rated capacitor current.

9 Voltage test between terminals (routine test)

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

9.1 AC test

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

$$U_t = 2,0 U_N$$

NOTE 1 If the capacitors are to be re-tested after delivery a voltage of 75 % of U_t is recommended for the second test.

NOTE 2 For polyphase capacitors, the test voltage should be adjusted to give the appropriate voltage across each element.

NOTE 3 Units having internal element fuses, and within the capacitance tolerances in spite of one or more operated element fuses, may only be delivered after agreement between purchaser and manufacturer.

9.2 DC test

The test voltage shall be as follows:

$$U_t = 4,0 U_N$$

NOTE 1 Voir la Note 1 de 9.1.

NOTE 2 Voir la Note 2 de 9.1.

NOTE 3 Voir la Note 3 de 9.1.

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

Les condensateurs unitaires ayant toutes les bornes isolées de la cuve doivent être soumis pendant 10 s à une tension d'essai appliquée entre les bornes (reliées entre elles) et la cuve.

Pour les unités utilisées dans des batteries à neutre isolé, et avec les cuves connectées à la terre, les tensions d'essai selon 18.1 doivent être appliquées. Pour toutes les autres connexions de batterie, la tension d'essai est proportionnelle à la tension assignée et est calculée selon 18.3.

Si on ne sait pas si une unité, avec des bornes isolées de la cuve, sera utilisée avec la cuve connectée à la terre ou non, les tensions d'essai selon 18.1 doivent être appliquées. L'acheteur doit spécifier si l'essai est prescrit.

Les unités ayant une borne reliée en permanence à la cuve ne doivent pas être soumises à cet essai.

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

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

11 Essai du dispositif interne de décharge (essai individuel)

La résistance du dispositif interne de décharge éventuellement prévu doit être vérifiée par la mesure de cette résistance (voir Article 21 et Annexe D).

Le choix de la méthode est laissé au fabricant.

L'essai doit être exécuté après l'essai diélectrique de l'Article 9.

12 Essai d'étanchéité (essai individuel)

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

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

NOTE 1 See 9.1, Note 1.

NOTE 2 See 9.1, Note 2.

NOTE 3 See 9.1, Note 3.

10 AC voltage test between terminals and container (routine test)

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

For units used in banks with isolated neutral, and with the containers connected to ground, test voltages according to 18.1 shall apply. For all other bank connections the test voltage is proportional to the rated voltage and calculated according to 18.3.

If it is not known whether a unit with terminals insulated from the container will be used with the container connected to ground or not, test voltages according to 18.1 shall apply. The purchaser shall specify if the test is required.

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

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

During the test, neither puncture nor flashover shall occur.

11 Test of internal discharge device (routine test)

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

The choice of the method is left to the manufacturer.

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

12 Sealing test (routine test)

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

If no procedure is stated by the manufacturer, the following test procedure shall apply. Unenergized capacitor units shall be heated throughout for at least 2 h, so that all parts reach a temperature not lower than 20 °C above the maximum value in Table 1. No leakage shall occur. It is recommended that a suitable indicator is used.

13 Essai de stabilité thermique (essai de type)

13.1 Généralités

Cet essai est destiné à

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

13.2 Modalités de la mesure

Le condensateur unitaire soumis à l'essai doit être placé entre deux autres unités ayant les mêmes valeurs assignées et chargées à la même tension que le condensateur à essayer. En variante, on peut utiliser deux condensateurs factices contenant des résistances. La puissance dissipée par ces résistances doit être réglée de manière que la température de la cuve des condensateurs factices au voisinage du sommet des faces en regard soit égale ou supérieure à celle du condensateur à essayer. L'espacement entre unités doit être inférieur ou égal à l'espacement normal. L'ensemble doit être placé en air calme dans une enceinte chauffée en adoptant la position la plus défavorable au point de vue thermique d'après les instructions du fabricant pour le montage sur site. La température de l'air ambiant doit être maintenue à ou au-dessus de la température appropriée indiquée au Tableau 2. Cette température doit être contrôlée au moyen d'un thermomètre dont la constante de temps thermique est voisine de 1 h. Le thermomètre doit être muni d'un écran, de manière à ne recevoir que le minimum possible de rayonnement thermique des trois échantillons chargés.

Tableau 2 – Température de l'air ambiant pour l'essai de stabilité thermique

Symbole	Température de l'air ambiant °C
A	40
B	45
C	50
D	55

Le condensateur à essayer doit être soumis à une tension alternative de forme pratiquement sinusoïdale pendant une durée d'au moins 48 h. La valeur de la tension appliquée pendant les dernières 24 h de l'essai doit être ajustée de façon à obtenir une puissance calculée, à partir de la capacité mesurée (voir 7.1), au moins égale à 1,44 fois sa puissance assignée.

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

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

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

- la répétabilité des mesures;
- le fait que les modifications internes du diélectrique peuvent entraîner une petite variation de la capacité sans qu'un élément du condensateur ait été perforé ou qu'un fusible interne ait fonctionné.

13 Thermal stability test (type test)

13.1 General

This test is intended to

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

13.2 Measuring procedure

The capacitor unit subjected to the test shall be placed between two other units of the same rating which shall be energized at the same voltage as the test capacitor. Alternatively, two dummy capacitors each containing resistors may be used. The dissipation in the resistors shall be adjusted to a value such that the case temperature of the dummy capacitors near the top opposing faces are equal to or greater than those of the test capacitor. The separation between the units shall be equal to or less than the normal spacing. The assembly shall be placed in still air in a heated enclosure in the most unfavourable thermal position according to the manufacturer's instructions for mounting on site. The ambient air temperature shall be maintained at or above the appropriate temperature shown in Table 2. It shall be checked by means of a thermometer having a thermal time constant of approximately 1 h. This thermometer shall be shielded so that it is exposed to the minimum possible thermal radiation from the three energized samples.

Table 2 – Ambient air temperature for the thermal stability test

Symbol	Ambient air temperature °C
A	40
B	45
C	50
D	55

The test capacitor shall be subjected for a period of at least 48 h, to an a.c. voltage of substantially sinusoidal form. The magnitude of the voltage throughout the last 24 h of the test shall be adjusted to give a calculated output, using the measured capacitance (see 7.1), of at least 1,44 times its rated output.

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

Before and after the test the capacitance shall be measured (see 7.1) within the temperature range according to 5.2 and the two measurements shall be corrected to the same dielectric temperature. The difference between the two measurements shall be less than an amount corresponding to either breakdown of an element or operation of an internal fuse.

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

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

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

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

14 Mesure de la tangente de l'angle de pertes ($\tan \delta$) du condensateur à température élevée (essai de type)

14.1 Modalités de la mesure

Les pertes du condensateur ($\tan \delta$) doivent être mesurées à la fin de l'essai de stabilité thermique (voir Article 13). La valeur de la tension de mesure doit être celle de l'essai de stabilité thermique.

14.2 Exigences

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

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

Les condensateurs unitaires ayant toutes les bornes isolées de la cuve doivent être soumis pendant 1 min à une tension d'essai appliquée entre les bornes (reliées entre elles) et la cuve.

Pour les unités utilisées dans des batteries à neutre isolé, avec les cuves connectées à la terre, les tensions d'essai selon 18.1 doivent être appliquées. Pour toutes les autres connexions de batterie, la tension d'essai est proportionnelle à la tension assignée et est calculée selon 18.3.

Si on ne sait pas si une unité avec des bornes isolées de la cuve sera utilisée avec la cuve connectée à la terre ou non, les tensions d'essai selon 18.1 doivent être appliquées. L'acheteur doit spécifier si l'essai est prescrit.

Les unités ayant une borne reliée en permanence à la cuve doivent être également soumises à une tension d'essai appliquée entre les bornes pour vérifier l'adéquation de l'isolement à la cuve. La tension d'essai est proportionnelle à la tension assignée et est calculée selon 18.3. Dans tous les cas où la tension de cet essai dépasse celle prescrite pour l'essai diélectrique, la composition diélectrique de l'unité essayée peut être modifiée, par exemple en augmentant le nombre d'éléments en série pour éviter une défaillance diélectrique. Cependant, l'isolement à la cuve ne doit pas être changé. En variante, cet essai peut être réalisé en utilisant une unité similaire avec deux bornes isolées ayant le même isolement à la cuve.

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

Les essais sont exécutés à sec pour les unités utilisées à l'intérieur, et sous pluie artificielle (voir la CEI 60060-1) pour les unités utilisées à l'extérieur.

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

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

NOTE Les unités destinées aux installations extérieures peuvent n'être soumises qu'à un essai à sec si le fabricant est à même de présenter un rapport d'essai de type distinct démontrant que les traversées supportent la tension d'essai sous pluie pendant 1 min. Pour cet essai de type, il convient que la position des traversées corresponde à celle qu'elles occupent en service.

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

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

14 Measurement of the tangent of the loss angle ($\tan \delta$) of the capacitor at elevated temperature (type test)

14.1 Measuring procedure

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

14.2 Requirements

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

15 AC voltage test between terminals and container (type test)

Capacitor units having all terminals insulated from the container shall be subjected for 1 min to a test voltage applied between the terminals (joined together) and the container.

For units used in banks with isolated neutral, and with the containers connected to ground, test voltages according to 18.1 shall apply. For all other bank connections, the test voltage is proportional to the rated voltage and calculated according to 18.3.

If it is not known whether a unit with terminals insulated from the container will be used with the container connected to ground or not, test voltages according to 18.1 shall apply. The purchaser shall specify if the test is required.

Units having one terminal permanently connected to the container shall also be subjected to a test voltage applied between terminals to check the adequacy of the insulation to the container. The test voltage is proportional to the rated voltage and is calculated according to 18.3. Whenever the voltage of this test exceeds the dielectric test requirement, the test unit's dielectric composition may be modified, for example by increasing the number of elements in series, to avoid dielectric failure. However, the insulation to container shall not be changed. Alternatively, this test may be completed using a similar unit with two isolated terminals having the same insulation to the container.

Units with separated phases shall be subjected to voltage tests between phases at the same test voltage as for the voltage test between terminals and container.

The tests are dry for units to be used indoors, and with artificial rain (see IEC 60060-1) for units to be used outdoors.

The positions of the bushings, when subjected to a test under artificial rain, shall correspond to their position in service.

During the test, neither puncture nor flashover shall occur.

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

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

L'essai au choc de foudre s'applique aux condensateurs unitaires destinés à être utilisés dans des batteries à neutre isolé et à être raccordés à des lignes aériennes.

Les unités ayant toutes les bornes isolées de la cuve et ayant des cuves connectées à la terre doivent être soumises à l'essai suivant.

Quinze impulsions de polarité positive suivies de 15 impulsions de polarité négative doivent être appliquées entre les traversées reliées entre elles et la cuve.

Après le changement de polarité, il est admis d'appliquer quelques chocs de valeur de crête réduite avant l'application de l'essai de tension de choc de foudre.

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

- il ne s'est pas produit de perforation,
- il ne s'est pas produit plus de deux contournements extérieurs par polarité,
- la forme d'onde n'a pas présenté d'irrégularités ou d'écart important sur les enregistrements à tension d'essai réduite.

En variante, l'unité peut être soumise à trois impulsions positives. Les critères d'acceptation ci-dessus sont applicables sauf qu'aucun contournement n'est permis.

L'essai au choc de foudre doit être exécuté conformément à la CEI 60060-1, mais avec une forme d'onde de 1,2/50 μ s à 5/50 μ s ayant une valeur de crête correspondant à l'exigence de l'essai d'isolement selon 18.1.

Si on ne sait pas si une unité avec des bornes isolées de la cuve sera utilisée avec la cuve connectée à la terre, l'essai au choc de foudre doit être appliqué. L'acheteur doit spécifier si l'essai est prescrit.

Les unités ayant une borne reliée en permanence à la cuve ne doivent pas être soumises à cet essai.

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

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

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

Dans les 5 min qui suivent cet essai, l'unité doit être soumise à un essai diélectrique entre bornes (voir Article 9).

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

NOTE 1 L'essai de décharge a pour but de mettre en évidence les déficiences éventuelles des connexions internes.

NOTE 2 Dans les applications où les courants de surcharge et/ou les courants transitoires sont limités, on peut utiliser des tensions d'essai inférieures à 2,5 U_N suite à un accord entre le fabricant et l'acheteur.

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

The lightning impulse test is applicable for capacitor units intended for use in banks with insulated neutral and for connection to overhead lines.

Units having all terminals insulated from the container and with the containers connected to ground shall be subjected to the following test.

Fifteen impulses of positive polarity followed by 15 impulses of negative polarity shall be applied between bushings joined together and the container.

After the change of polarity, it is permissible to apply some impulses of lower amplitude before the application of the test impulses.

The capacitor is considered to have passed the test if

- no puncture has occurred,
- not more than two external flashovers occurred at each polarity,
- the waveshape has revealed no irregularities or significant deviation from recordings at reduced test voltage.

Alternatively, the unit may be subjected to three positive impulses. The above acceptance criteria are applicable except that no flashover is permitted.

The lightning impulse test shall be made in accordance with IEC 60060-1 but with a wave of 1,2/50 μ s to 5/50 μ s having a crest value corresponding to the insulation test requirement according to 18.1.

If it is not known whether a unit with terminals insulated from the container will be used with the container connected to ground, the lightning impulse test shall apply. The purchaser shall specify if the test is required.

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

17 Short-circuit discharge test (type test)

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

The test voltage shall be 2,5 U_N .

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

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

NOTE 1 The purpose of the discharge test is to reveal deficiencies in the internal connections.

NOTE 2 For applications where overvoltages and/or transient currents are limited, test voltages lower than 2,5 U_N may be used, as agreed upon between manufacturer and purchaser.

18 Niveaux d'isolement

18.1 Valeurs d'isolement normalisées

Les niveaux d'isolement d'une installation de condensateurs doivent être choisis parmi les valeurs normalisées prescrites par la CEI 60071-1.

Les valeurs normalisées de la tension la plus élevée pour le matériel sont divisées en trois plages:

- Plage A: tension inférieure à 52 kV. Les valeurs prescrites dans la CEI 60071-1 sont complétées par deux valeurs de la tension la plus élevée pour le matériel (1,2 kV et 2,4 kV) qui figurent dans le Tableau 3 (pratique courante dans la plupart des pays européens et dans certains autres pays).

Les valeurs basées sur la pratique courante de quelques pays d'Amérique du Nord et de certains autres pays sont données dans le Tableau 4 pour les tensions jusqu'à 52 kV.

- Plage B: de 52 kV à 300 kV (exclus). Le Tableau 5 donne les valeurs prescrites dans la CEI 60071-1;
- Plage C: tensions égales ou supérieures à 300 kV. Le Tableau 6 donne les valeurs prescrites dans la CEI 60071-1.

18.2 Exigences générales

Les règles générales ci-dessous doivent être appliquées aux installations qui peuvent être constituées soit d'un seul condensateur soit d'une batterie de condensateurs (voir Article 34).

Les traversées, les isolateurs et autres équipements isolants doivent être choisis avec des caractéristiques d'isolement pour être conformes aux exigences ci-dessous. Si un isolement se compose de parties d'isolement connectées en série, chaque partie doit avoir la proportion appropriée de l'isolement total. Les normes disponibles correspondant à ce type d'équipement doivent être utilisées dans tous les cas où elles peuvent être appliquées. Isolement total signifie un niveau d'isolement égal ou supérieur à celui du réseau.

18.2.1 Composants isolants adjacents et équipement

Tous les composants isolants ou l'équipement électrique entre phases ou entre phase et terre, en parallèle avec la phase ou les phases du condensateur, doivent supporter le niveau d'isolement total selon 18.1.

18.2.2 Condensateurs isolés de la terre

Pour les condensateurs isolés de la terre (connexion en triangle ou étoile avec neutre isolé), toutes les voies d'isolement entre n'importe quelle partie du condensateur sous tension (bornes, électrodes) et la terre doivent supporter l'isolement total selon 18.1.

L'isolement total s'applique spécifiquement aux traversées et à l'isolement borne-cuve des condensateurs unitaires dont la cuve est connectée à la terre (toutes les bornes sont isolées de la cuve).

Les traversées et l'isolement borne-cuve des condensateurs unitaires dont les cuves ne sont pas connectées à la terre doivent supporter une tension alternative égale à 2,5 fois la tension assignée.

L'isolement entre châssis, entre la borne de ligne et le neutre, qui sont électriquement en parallèle et proches du diélectrique du condensateur, doit supporter une tension alternative égale à 2,15 fois la tension assignée de la phase.

18 Insulation levels

18.1 Standard insulation values

The insulation levels of the capacitor installation shall be chosen from the standard values prescribed by IEC 60071-1.

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

- Range A: voltage less than 52 kV. The prescribed values from IEC 60071-1 are supplemented by two values of the highest voltage for equipment (1,2 kV and 2,4 kV) which are given in Table 3 (current practice in most European and several other countries).

Values based on current practice in some North American and other countries are given in Table 4 for voltages less than 52 kV.

- Range B: from 52 kV to less than 300 kV. The prescribed values from IEC 60071-1 are given in Table 5.
- Range C: 300 kV and above. The prescribed values from IEC 60071-1 are given in Table 6.

18.2 General requirements

The general rules below shall apply for the capacitor, which could be either a single unit or a capacitor bank installation (see Clause 34).

Bushings, isolators and other insulating equipment shall be chosen with insulation ratings to comply with the requirements below. If an insulation consists of series-connected insulating parts each part shall have an appropriate proportion of the full insulation. Available standards for this type of equipment shall be used whenever applicable. Full insulation means an insulation level equal to or higher than that of the system.

18.2.1 Adjacent insulating components and equipment

All phase-to-phase and phase-to-ground insulating components or electrical equipment, in parallel to a capacitor phase or phases, shall withstand full insulation according to 18.1.

18.2.2 Capacitors insulated from ground

For capacitors insulated from ground (delta connection or star with isolated neutral) all insulation paths between any energized part of the capacitor (terminals, electrodes) and ground shall withstand full insulation according to 18.1.

Full insulation applies specifically to the bushings and terminal-to-container insulation for capacitor units with the container connected to ground (all terminals insulated from container).

Bushings and terminal-to-container insulation for capacitor units with containers not connected to ground shall withstand an a.c. voltage of 2,5 times the rated voltage.

Inter-rack insulation between line-terminal and neutral that are electrically in parallel and in close physical proximity to the capacitor dielectric shall withstand an a.c. voltage of 2,15 times the rated phase voltage.

18.2.3 Condensateurs avec neutre connecté à la terre

Les traversées et l'isolement borne-cuve doivent supporter une tension alternative égale à 2,5 fois la tension assignée.

L'isolement entre châssis, entre la borne de ligne et la terre, qui sont électriquement en parallèle et proches du diélectrique du condensateur, doit supporter une tension alternative égale à 2,15 fois la tension assignée de la phase.

18.3 Essai entre bornes et cuve des condensateurs unitaires

Les essais individuels et de type sont prescrits dans les Articles 10, 15 et 16 pour vérifier les exigences concernant les traversées et l'isolement borne-cuve selon 18.2.2 et 18.2.3.

Dans les cas où l'essai sous tension alternative (voir Articles 10 et 15) est basé sur la tension assignée, la tension de l'essai doit être calculée selon l'équation ci-dessous:

$$U_t = 2,5 \times U_N \times n$$

où

U_t est la tension d'essai à fréquence industrielle;

U_N est la tension assignée du condensateur;

n est le nombre d'unités en série par rapport au potentiel électrique auquel les cuves sont connectées.

18.4 Condensateurs sur des réseaux monophasés

Pour les condensateurs connectés entre la ligne et la terre, on doit appliquer les mêmes exigences d'isolement que celles d'un réseau triphasé avec le neutre connecté à la terre.

Pour les condensateurs isolés de la terre, on doit appliquer les mêmes exigences d'isolement que celles d'un réseau triphasé isolé de la terre.

Tableau 3 – Niveaux d'isolement normalisés pour $U_m < 52$ kV – Série I (d'après la pratique courante dans la plupart des pays d'Europe et dans certains autres pays)

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

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

On peut choisir entre les valeurs de la liste 1 et celles de la liste 2 en tenant compte des informations qui figurent dans la CEI 60071-1 et la CEI 60071-2.

18.2.3 Capacitors with neutral connected to ground

Bushings and terminal-to-container insulation shall withstand an a.c. voltage of 2,5 times the rated voltage.

Inter-rack insulation between line-terminal and ground that are electrically in parallel and in close physical proximity to the capacitor dielectric shall withstand an a.c. voltage of 2,15 times the rated phase voltage.

18.3 Test between terminals and container of capacitor units

Routine and type tests are required in Clauses 10, 15 and 16 to verify the requirements on bushings and terminal-to-container insulation according to 18.2.2 and 18.2.3.

For cases where the a.c. voltage test (see Clauses 10 and 15) is based on rated voltage, the test voltage shall be calculated according to the following equation:

$$U_t = 2,5 \times U_N \times n$$

where

U_t is the power-frequency test voltage;

U_N is the rated voltage of the capacitor;

n is the number of units in series relative to the electrical potential to which the containers are connected.

18.4 Capacitors in single-phase systems

For capacitors connected between line and ground, the same insulation requirements as for a three-phase system with neutral connected to ground shall apply.

For capacitors isolated from ground the same insulation requirements as for a three-phase system insulated from ground shall apply.

Table 3 – Standard insulation levels for $U_m < 52$ kV – Series I
(based on current practice in most European and several other countries)

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

¹⁾ Does not apply to non-exposed circuits.

The choice between the values of list 1 and list 2 may be made, taking into account the information given in IEC 60071-1 and IEC 60071-2.

Tableau 4 – Niveaux d'isolement normalisés pour $U_m < 52$ kV – Série II
(d'après la pratique courante dans certains pays d'Amérique du Nord et autres pays)

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

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

Tableau 5 – Niveaux d'isolement normalisés pour $52 \text{ kV} \leq U_m < 300 \text{ kV}$

Tension la plus élevée pour le matériel U_m eff. kV	Base des valeurs en pour un (p.u.) $U_m \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$ crête kV	Tension assignée de tenue au choc de foudre crête kV	Tension assignée de tenue de courte durée à fréquence industrielle eff. kV
52	42,5	250	95
72,5	59	325	140
123	100	450	185
145	118	550	230
170	139	650	275
245	200	750	325
		850	360
		950	395
		1050	460

Le Tableau 5 associe un ou plusieurs niveaux d'isolement recommandés pour chaque valeur de tension normalisée la plus élevée pour le matériel.

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

Dans un même réseau, il peut exister différents niveaux d'isolement en fonction d'installations situées à des endroits différents ou des divers matériels situés dans la même installation. Se reporter à la CEI 60071 pour choisir les niveaux d'isolement en rapport avec les conditions particulières de l'installation.

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

Highest voltage for equipment U_m r.m.s. kV	Rated lightning impulse withstand voltage peak kV	Rated power-frequency short- duration withstand voltage r.m.s. kV
1,30	30 ¹⁾	6
2,75	45 ¹⁾	13
5,5	75	24
15,5	95	30
19,8	125	36
27,5	150	50
38,0	200	70
48,3	250	95

¹⁾ Does not apply to non-exposed circuits.

Table 5 – Standard insulation levels for $52 \text{ kV} \leq U_m < 300 \text{ kV}$

Highest voltage for equipment U_m r.m.s. kV	Base for per unit (p.u.) values $U_m \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$ peak kV	Rated lightning impulse withstand voltage peak kV	Rated power-frequency short duration withstand voltage r.m.s. kV
52	42,5	250	95
72,5	59	325	140
123	100	450	185
145	118	550	230
170	139	650	275
245	200	750	325
		850	360
		950	395
		1050	460

Table 5 associates one or more recommended insulation levels with each standard value of the highest voltage for equipment.

Intermediate test voltages shall not be employed.

Several insulation levels may exist in the same system appropriate to installations situated in different locations or to various equipment situated in the same installation. For the selection of the insulation level in relation to the particular conditions of the installation, refer to IEC 60071.

Tableau 6 – Niveaux d'isolement normalisés pour $U_m \geq 00$ kV

1	2	3	4	5	6
Tension la plus élevée pour le matériel U_m eff. kV	Base des valeurs en pour un (p.u.) $U_m \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$ crête kV	Tension assignée de tenue aux chocs de manœuvre crête p.u. kV		Rapport entre tensions assignées de tenue aux chocs de foudre et de manœuvre	Tension assignée de tenue au choc de foudre crête kV
300	245	3,06	750	1,13	850
				1,27	950
		3,47	850	1,12	
				1,24	
362	296	2,86			1050
		3,21	950	1,11	
				1,24	
420	343	2,76			1175
		3,06	1050	1,12	
		2,45		1,24	1300
525	429			1,11	
		2,74	1175	1,36	1425
				1,21	
				1,10	
		2,08	1300	1,32	1550
				1,19	
				1,09	
765	625	2,28	1425	1,38	1800
				1,26	
		2,48	1550	1,16	1950
				1,26	
				1,47	2100
				1,55	2400

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

1	2	3	4	5	6
Highest voltage for equipment U_m r.m.s. kV	Base for p.u. values $U_m \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$ peak kV	Rated switching impulse withstand voltage peak p.u. kV		Ratio between rated lightning and switching impulse withstand voltages	Rated lightning impulse withstand voltage peak kV
300	245	3,06	750	1,13 1,27	850 950
362	296	3,47 2,86	850	1,12 1,24	1050
420	343	3,21 2,76	950	1,11 1,24	1175
525	429	3,06 2,45	1050	1,12 1,24	1300
765	625	2,74 2,08 2,28 2,48	1175 1300 1425 1550	1,11 1,36 1,21 1,10 1,32 1,19 1,09 1,38 1,26 1,16 1,26 1,47 1,55	1425 1550 1800 1950 2100 2400

NOTE 1 On trouvera dans la CEI 60071-2, la discussion du choix des tensions assignées de tenue aux chocs de manoeuvre.

NOTE 2 Le choix de la plage des tensions assignées de tenue au choc de foudre du Tableau 6, en association avec une valeur particulière de tension assignée de tenue aux chocs de manoeuvre, a été établi d'après les considérations ci-après:

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

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

- b) Pour les équipements qui ne sont pas protégés par des parafoudres (ou qui ne le sont pas efficacement), seule la valeur la plus élevée des tensions de tenue au choc de foudre est à utiliser. Ces valeurs supérieures se fondent sur le rapport qui est normalement obtenu entre les tensions de tenue au choc de foudre et aux chocs de manoeuvre pour l'isolement externe de l'appareillage (soit disjoncteurs, sectionneurs, transformateurs de mesures, etc.). Ces valeurs ont été choisies de manière que la conception de l'isolement soit principalement déterminée par la capacité de l'isolement externe à supporter les tensions d'essai aux chocs de manoeuvre.

- c) Dans quelques cas extrêmes, il est nécessaire de prévoir une valeur plus élevée pour la tension de tenue au choc de foudre. Cette valeur est à prendre dans la série des valeurs normalisées indiquées dans la CEI 60071-1.

19 Surcharges – Tension maximale admissible

19.1 Tensions de longue durée

Les condensateurs unitaires doivent pouvoir être utilisés aux niveaux de tension indiqués dans le Tableau 7 (voir 27.2 et 27.5.1).

Tableau 7 – Niveaux de tension admissibles en service

Type	Facteur de tension $\times U_N$ V eff.	Durée maximale	Observations
Fréquence industrielle	1,00	Continue	Valeur moyenne la plus élevée pendant n'importe quelle période de mise sous tension. Pour les périodes de mise sous tension inférieures à 24 h, des exceptions sont applicables selon les valeurs données ci-dessous (voir 27.2)
Fréquence industrielle	1,10	12 h par 24 h	Régulation et fluctuations de la tension de réseau
Fréquence industrielle	1,15	30 min par 24 h	Régulation et fluctuations de la tension de réseau
Fréquence industrielle	1,20	5 min	Augmentation de la tension en période de faible charge (voir 27.2)
Fréquence industrielle	1,30	1 min	
Fréquence industrielle plus harmoniques	Tels que le courant ne dépasse pas la valeur donnée à l'Article 20 (voir aussi 27.6 et 27.7.1).		

Les amplitudes des surtensions qui peuvent être tolérées sans dégradation notable des condensateurs dépendent de leur durée, de leur nombre total et de la température des condensateurs (voir 27.2). On suppose que les surtensions indiquées dans le Tableau 7 et dont la valeur est supérieure à 1,15 U_N ne se produisent pas plus de 200 fois dans la durée de vie du condensateur.

NOTE 1 A discussion of the selection of rated switching impulse withstand voltages can be found in IEC 60071-2.

NOTE 2 The range of rated lightning impulse withstand voltages in Table 6, associated with a particular rated switching impulse withstand voltage has been chosen on the basis of the following considerations:

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

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

- b) For equipment not protected by surge arresters (or not effectively protected), only the highest value of lightning impulse withstand voltages should be used. These highest values are based on the ratio that is normally obtained between the lightning and switching impulse withstand voltages of the external insulation of apparatus (for example circuit-breakers, disconnecting switches, instrument transformers, etc.). They were chosen in such a way that the insulation design will be determined mainly by the ability of the external insulation to withstand the switching impulse test voltages.

- c) In a few extreme cases, provision has to be made for a higher value of lightning impulse withstand voltage. This higher value should be chosen from the series of standard values given in IEC 60071-1.

19 Overloads – Maximum permissible voltage

19.1 Long duration voltages

Capacitor units shall be suitable for operation at voltage levels according to Table 7 (see 27.2 and 27.5.1)

Table 7 – Admissible voltage levels in service

Type	Voltage factor $\times U_N$ V r.m.s.	Maximum duration	Observation
Power frequency	1,00	Continuous	Highest average value during any period of capacitor energization. For energization periods less than 24 h, exceptions apply as indicated below (see 27.2)
Power frequency	1,10	12 h in every 24 h	System voltage regulation and fluctuations
Power frequency	1,15	30 min in every 24 h	System voltage regulation and fluctuations
Power frequency	1,20	5 min	Voltage rise at light load (see 27.2)
Power frequency	1,30	1 min	
Power frequency plus harmonics	Such that the current does not exceed the value given in Clause 20 (see also 27.6 and 27.7.1).		

The amplitudes of the overvoltages that may be tolerated without significant deterioration of the capacitor depend on their duration, their total number and the capacitor temperature (see 27.2). It is assumed that the overvoltages given in Table 7 and having a value higher than 1,15 U_N do not occur more than 200 times in the capacitor's life.

19.2 Surtensions de manoeuvre

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

On suppose que les condensateurs peuvent être commutés 1 000 fois par an de cette manière et dans ces conditions. (La crête de surintensité transitoire associée peut atteindre 100 fois I_N ; voir 27.6.2.)

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

20 Surcharges – Courant maximal admissible

Les condensateurs unitaires doivent pouvoir fonctionner de manière permanente sous un courant efficace valant 1,30 fois le courant engendré par la tension sinusoïdale assignée et la fréquence assignée, transitoires exclus. En fonction de la valeur réelle de la capacité, qui peut être de 1,10 C_N , au maximum, le courant maximal peut atteindre 1,43 I_N (voir 27.6).

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

21 Règles de sécurité pour des dispositifs de décharge

Chaque condensateur unitaire doit être équipé d'un dispositif permettant de le décharger à une tension au plus égale à 75 V à partir d'une tension de crête initiale égale à $\sqrt{2}$ fois la tension assignée U_N . La durée maximale de décharge est de 10 min.

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

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

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

NOTE 2 Pour les batteries comprenant des unités connectées en série, la tension aux bornes de la batterie peut être supérieure à 75 V au bout de 10 min de décharge par suite de l'effet cumulatif des tensions résiduelles de chaque unité. Il convient que la durée de décharge à 75 V pour la batterie soit déclarée par le fabricant dans la notice d'instruction ou sur une plaque signalétique.

NOTE 3 Dans certains pays, des durées de décharge plus réduites et des tensions plus faibles sont de règle. Dans ce cas, il convient que l'utilisateur en informe le fabricant.

NOTE 4 Il convient que les circuits de décharge aient une capacité de débit suffisante pour décharger le condensateur à partir d'une surtension de crête de 1,3 U_N selon les dispositions de l'Article 19.

NOTE 5 Un défaut électrique dans une unité protégée par un fusible ou un contournement d'une partie de la batterie peut produire dans cette dernière des charges résiduelles qui peuvent ne pas être déchargées dans la durée prescrite au moyen d'un dispositif de décharge connecté entre les bornes de la batterie.

NOTE 6 L'Annexe D donne une formule pour calculer la résistance de décharge.

19.2 Switching overvoltages

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

It is assumed that the capacitors may be switched 1 000 times per year under these conditions. (The associated peak transient overcurrent may reach 100 times the value I_N ; see 27.6.2.)

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

20 Overloads – Maximum permissible current

Capacitor units shall be suitable for continuous operation at an r.m.s. current of 1,30 times the current that occurs at rated sinusoidal voltage and rated frequency, excluding transients. Depending on the actual capacitance value, which may be a maximum of 1,10 C_N , the maximum current can reach 1,43 I_N (see 27.6).

These overcurrent factors are intended to take care of the combined effects due to harmonics and overvoltages up to and including 1,10 U_N according to 19.1.

21 Safety requirements for discharge devices

Each capacitor unit shall be provided with means for discharging to 75 V or less from initial peak voltage of $\sqrt{2}$ times rated voltage U_N . The maximum discharge time is 10 min.

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

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

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

NOTE 2 For banks whose capacitor units are connected in series, the voltage across the bank terminals may be higher than 75 V after 10 min due to the cumulative effect of the residual voltages for each unit. The discharge time to 75 V for the bank should be stated by the manufacturer in the instruction sheet or on a rating plate.

NOTE 3 In certain countries, smaller discharge times and voltages are required. In this event, the purchaser should inform the manufacturer.

NOTE 4 Discharge circuits should have adequate current-carrying capacity to discharge the capacitor from the peak of the 1,3 U_N overvoltage according to Clause 19.

NOTE 5 An electrical fault in a unit protected by a fuse, or a flashover across part of the bank, can produce local residual charges inside the bank which cannot be discharged within the specified time by means of a discharge device connected between the terminals of the bank.

NOTE 6 A formula for the calculation of the discharge resistance is given in Annex D.

22 Règles de sécurité pour des connexions à l'enveloppe

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

23 Règles de sécurité pour la protection de l'environnement

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

24 Autres règles de sécurité

L'acheteur doit spécifier dès l'appel d'offres toute exigence spéciale résultant des règles de sécurité en vigueur dans le pays où le condensateur doit être installé.

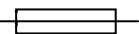
25 Marquage des condensateurs unitaires

25.1 Plaque signalétique

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

- a) le nom du fabricant;
- b) le numéro d'identification et l'année de fabrication. L'année peut faire partie du numéro d'identification ou être sous forme codée;
- c) la puissance assignée Q_N en kilovars. On doit indiquer la puissance totale pour les unités triphasées (voir Annexe D);
- d) la tension assignée U_N en volts ou kilovolts;
- e) la fréquence assignée f_N en hertz;
- f) la catégorie de température (voir 4.1);
- g) le dispositif de décharge, s'il est interne, doit être indiqué en toutes lettres, ou par le symbole  ou encore par sa valeur ohmique assignée;
- h) le niveau d'isolement U_i en kilovolts (uniquement pour les condensateurs unitaires dont toutes les bornes sont isolées de la cuve).

Le marquage du niveau d'isolement doit être effectué au moyen de deux nombres séparés par une barre, le premier nombre indiquant la valeur efficace de la tension d'essai à fréquence industrielle exprimée en kilovolts et le deuxième, la valeur de crête de la tension d'essai de choc, exprimée également en kilovolts (par exemple 28/75) (voir Article 18). Le niveau d'isolement ne doit pas être marqué pour les unités qui ne sont pas essayées selon l'Article 16;

- i) le symbole de connexion. A l'exception des condensateurs monophasés n'ayant qu'une seule capacité, tous les condensateurs doivent comporter l'indication de leur schéma de connexion. Le 25.2 indique les symboles de connexion normalisés;
- j) la présence éventuelle de fusibles internes doit être indiquée en toutes lettres ou par le symbole .
- k) le produit chimique servant à l'imprégnation ou sa désignation commerciale. (Ce renseignement doit être porté sur la plaque signalétique. Voir 25.3.);
- l) la référence à la CEI 60871 (avec année d'édition).

NOTE Sur demande de l'acheteur, il convient d'indiquer la capacité mesurée, soit en valeur absolue, soit en pourcentage, ou encore par un symbole.

22 Safety requirements for container connections

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

23 Safety requirements for protection of the environment

When capacitors are impregnated with materials that must not be dispersed into the environment, precautions shall be taken. In some countries, there are legal requirements in this respect (see 25.3 and Annex A).

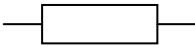
24 Other safety requirements

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

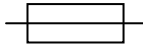
25 Markings of the capacitor unit

25.1 Rating plate

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

- a) name of manufacturer;
- b) identification number and manufacturing year. The year may be a part of identification number or be in code form;
- c) rated output Q_N in kilovars. For three-phase units the total output shall be given (see Annex D);
- d) rated voltage U_N in volts or kilovolts;
- e) rated frequency f_N in hertz;
- f) temperature category (see 4.1);
- g) discharge device, if internal, shall be indicated by wording or by the symbol  or by the rated ohmic value;
- h) insulation level U_i in kilovolts (only for units having all terminals insulated from the container).

The insulation level shall be marked by means of two numbers separated by a stroke, the first number giving the r.m.s. value of the power-frequency test voltage, in kilovolts, and the second number giving the peak value of the impulse test voltage, in kilovolts (for example 28/75) (see Clause 18). For units not tested according to Clause 16 the insulation level marking shall be omitted;

- i) connection symbol. All capacitors, except single-phase having one capacitance only, shall have their connection indicated. For standardized connection symbols, see 25.2;
- j) internal fuses, if included, shall be indicated by wording or by the symbol .
- k) chemical or trade name of impregnant. (This indication shall be stated on the warning plate. See 25.3.);
- l) reference to IEC 60871 (plus year of issue).

NOTE On request of the purchaser, the measured capacitance should be indicated either in absolute value, or in percentage, or by symbols.

25.2 Symboles de connexion normalisés

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

D ou  = triangle

Y ou  = étoile

YN ou  = étoile avec neutre sorti

III ou  = trois sections sans connexions mutuelles internes

25.3 Plaque d'avertissement

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

Se reporter à l'Annexe A pour les condensateurs imprégnés avec un polychlorobiphényle.

26 Marquage des batteries de condensateurs

26.1 Notice d'instructions ou plaque signalétique

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

- le nom du fabricant;
- la puissance assignée Q_N en mégavars. La puissance totale doit être indiquée;
- la tension assignée U_N en kilovolts;
- le niveau d'isolement U_i . Le marquage du niveau d'isolement se fait au moyen de deux nombres séparés par une barre, le premier nombre étant l'indication de la valeur efficace de la tension assignée de tenue à fréquence industrielle de courte durée (pour $U_m < 300$ kV) ou la valeur de crête de la tension assignée de tenue au choc de manoeuvre (pour $U_m \geq 300$ kV), valeurs exprimées en kilovolts, et le deuxième la valeur de crête de la tension assignée de tenue au choc de foudre exprimée également en kilovolts (par exemple 185/450);
- le symbole de connexion. Le Paragraphe 25.2 indique les symboles de connexion normalisés. Le symbole de connexion peut faire partie d'un schéma de connexion simplifié représentant par exemple la protection contre les déséquilibres, les bobines d'amortissement, etc.;
- la durée minimale requise entre la déconnexion de la batterie et sa remise sous tension (voir 4.1 a) et Annexe D);
- la durée de décharge à 75 V (dans le cas de batteries dont la tension assignée dépasse 25 kV).

26.2 Plaque signalétique

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

25.2 Standardized connection symbols

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

D or $\triangle$ = delta

Y or Y = star

YN or YN = star, neutral brought out

III or $|||$ = three sections without internal interconnections

25.3 Warning plate

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

Regarding capacitors with polychlorobiphenyl impregnant, see Annex A.

26 Markings of the capacitor bank

26.1 Instruction sheet or rating plate

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

- name of manufacturer;
- rated output Q_N in megavars. Total output to be given;
- rated voltage U_N in kilovolts;
- insulation level U_i . The insulation level shall be marked by means of two numbers separated by a stroke, the first number giving the r.m.s. value of the rated power-frequency short-duration voltage (for $U_m < 300$ kV) or the peak value of the rated switching impulse voltage (for $U_m \geq 300$ kV) in kilovolts, and the second number giving the peak value of the rated lightning impulse withstand voltage in kilovolts (for example 185/450);
- connection symbol. For standardized connection symbols see 25.2. The connection symbol may be part of a simplified connection diagram showing for example unbalance protection, damping reactors, etc.;
- minimum time required between disconnection and reclosure of the bank (see 4.1 a), and Annex D);
- time to discharge to 75 V (in the case of banks rated above 25 kV).

26.2 Warning plate

Subclause 25.3 is also valid for the bank.

27 Guide d'installation et d'exploitation

27.1 Généralités

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

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

Il convient de noter que l'introduction d'une capacité concentrée dans un réseau peut entraîner des conditions de fonctionnement néfastes (par exemple amplification des harmoniques, auto-excitation de machines, surtensions de manoeuvre, mauvais fonctionnement d'appareils de télécommande à fréquence musicale, etc.).

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

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

27.2 Choix de la tension assignée

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

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

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

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

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

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

27 Guide for installation and operation

27.1 General

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

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

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

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

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

27.2 Choice of the rated voltage

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

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

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

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

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

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

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

NOTE 1 Il convient d'éviter les marges de sécurité excessives dans le choix de la tension assignée U_N , car elles peuvent entraîner une diminution de la puissance.

NOTE 2 Se reporter à l'Article 19 pour la tension maximale admissible.

NOTE 3 Il convient de prévoir l'influence des tolérances sur les capacités unitaires qui peut affecter la valeur de la tension de fonctionnement avec les ensembles connectés en série ou en étoile. L'ouverture de fusibles des condensateurs augmente également la tension de fonctionnement présente sur les unités restantes qui sont connectées en parallèle.

27.3 Température de service

27.3.1 Généralités

Il convient d'attirer l'attention sur la température de service la plus élevée du condensateur, car celle-ci a une grande influence sur sa durée de vie.

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

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

Il convient de tenir compte dans les calculs de tous les éléments produisant des pertes, comme les fusibles externes, les bobines, etc., pour estimer les pertes totales des batteries.

Il convient que le fabricant fournisse, après accord, des courbes ou des tableaux indiquant la capacité et les pertes ($\tan \delta$), dans des conditions stables, à la puissance assignée, en fonction de la température ambiante.

27.3.2 Conditions d'installation

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

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

- protéger les condensateurs contre le rayonnement;
- choisir un condensateur conçu pour une température de l'air ambiant plus élevée (par exemple catégorie –5/B au lieu de –5/A qui aurait été opportune dans d'autres conditions);
- utiliser des condensateurs de tension assignée supérieure à la valeur choisie d'après les dispositions de 27.2;
- faire appel au refroidissement forcé par air.

Les condensateurs installés à haute altitude (plus de 1 000 m) travaillent dans des conditions de dissipation thermique de convection réduite dont il convient de tenir compte pour déterminer la puissance des unités. Toutefois, à de telles altitudes, la température ambiante est généralement plus basse (voir également 27.9.1).

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

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

NOTE 2 See Clause 19 concerning maximum permissible voltage.

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

27.3 Operating temperature

27.3.1 General

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

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

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

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

The manufacturer should, by agreement, provide curves or tables showing the capacitance, as well as losses ($\tan \delta$) under steady-state conditions at rated output, as a function of ambient temperature.

27.3.2 Installation

Capacitors should be so placed that there is adequate dissipation by convection and radiation of the heat produced by the capacitor losses. The ventilation of any enclosure and the arrangement of the capacitor units shall provide good air circulation around each unit. This is of importance for units mounted in rows above each other.

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

- protect the capacitors from radiation;
- choose a capacitor designed for a higher ambient air temperature (for example category –5/B instead of –5/A, or which is otherwise suitably designed);
- employ capacitors with rated voltage higher than that resulting from 27.2;
- employ forced air cooling.

Capacitors installed at high altitudes (more than 1 000 m) will be subject to decreased convective heat dissipation, which should be considered when determining the output of the units. The ambient temperature, however, is usually lower at such an altitude (see also 27.9.1).

27.3.3 Température élevée de l'air ambiant

Les condensateurs assortis du symbole C conviennent généralement à la majorité des utilisations dans des conditions tropicales. Dans certains emplacements toutefois, la température de l'air ambiant peut imposer l'emploi d'un condensateur de symbole D. Le cas peut aussi se présenter quand les condensateurs sont fréquemment soumis au rayonnement solaire pendant plusieurs heures (par exemple dans les territoires désertiques), même si la température ambiante n'est pas excessive (voir 29.2).

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

27.4 Conditions spéciales

Pour compléter les conditions dont traite le 27.3, il convient que le fabricant soit informé par l'acheteur des conditions spéciales de service telles que:

- **l'humidité relative élevée:** il peut être nécessaire d'utiliser des isolateurs spécialement étudiés. L'attention est attirée sur les possibilités de shuntage des fusibles externes par dépôt d'humidité à leur surface;
- **les moisissures à développement rapide:** les métaux, les matériaux céramiques ainsi que certaines laques et peintures ne permettent pas la formation de moisissures. Quand des fongicides sont utilisés, ils ne gardent pas leur propriété fongicide au-delà de quelques mois. Dans tous les cas, les moisissures peuvent proliférer dans les installations où des poussières, etc. s'accumulent de manière permanente;
- **les atmosphères corrosives:** on trouve ce genre d'atmosphères dans les zones industrielles et les zones côtières. Il convient d'observer que les effets dus à ces ambiances peuvent être plus graves dans les climats à température élevée que dans les climats tempérés. Les utilisations intérieures peuvent également se trouver dans des atmosphères hautement corrosives;
- **la pollution:** il convient de prendre des précautions spéciales quand les condensateurs sont installés dans des endroits à degré de pollution élevé;
- **les altitudes supérieures à 1 000 m:** les condensateurs utilisés à des altitudes supérieures à 1 000 m sont soumis à des conditions spéciales. Il convient que le choix du type se fasse par accord entre fabricant et acheteur (voir 27.3.2 et 27.9.1);
- **les zones sismiques:** certaines zones sont sujettes à des probabilités élevées de secousses sismiques qui peuvent affecter la tenue mécanique des condensateurs et/ou des batteries installées dans ces zones.

L'acheteur doit spécifier les valeurs de l'amplitude d'accélération et d'amortissement.

27.5 Surtensions

L'Article 19 spécifie les facteurs de surtension.

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

27.3.3 High ambient air temperature

Capacitors for symbol C are generally suitable for the majority of applications under tropical conditions. In some locations, however, the ambient air temperature may be such that a symbol D capacitor is required. The latter may also be needed for those cases where the capacitors are frequently subjected to the radiation of the sun for several hours (for example in desert territories), even though the ambient temperature is not excessive (see 29.2).

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

27.4 Special service conditions

In addition to the conditions covered in 27.3, the manufacturer should be advised by the purchaser of any special service conditions such as:

- **high relative humidity:** it may be necessary to use insulators of special design. Attention is drawn to the possibility of external fuses being shunted by a deposit of moisture on their surfaces;
- **rapid mould growth:** metals, ceramic materials and some paints and lacquers do not support mould growth. When fungicidal materials are used, they do not retain their poisoning property for more than several months. In any case, mould may develop in an installation on places where dust, etc. can settle;
- **corrosive atmospheres:** such atmospheres are found in industrial and coastal areas. It should be noted that in climates of higher temperature the effects may be more severe than in temperate climates. Highly corrosive atmospheres may also be present in indoor applications;
- **pollution:** when capacitors are mounted in a location with a high degree of pollution, special precautions should be taken;
- **altitudes exceeding 1 000 m:** capacitors used at altitudes exceeding 1 000 m are subject to special conditions. The choice of type should be made by agreement between purchaser and manufacturer (see 27.3.2 and 27.9.1);
- **earthquake areas:** in some areas there is a higher probability of earthquakes, which may affect the mechanical design of the capacitors and/or banks to be installed in such areas.

The purchaser shall specify acceleration amplitude and damping values.

27.5 Overvoltages

Clause 19 specifies overvoltage factors.

With the manufacturer's agreement, some overvoltage factors may be increased if the estimated overvoltage incidence is lower, or if the temperature conditions are less severe. These power-frequency overvoltage limits are valid, provided that transient overvoltages are not superposed on them. The peak voltage should not exceed 1,41 times the given r.m.s. value.

27.5.1 Réamorçage des appareils de commutation

Il peut se produire des surtensions transitoires de valeur élevée quand les condensateurs sont déconnectés par un appareil de commutation, qui peut être l'interrupteur du condensateur ou des interrupteurs plus éloignés, permettant le réamorçage. Il convient de prendre soin de choisir des appareils de commutation qui fonctionnent sans causer de surtensions excessives.

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

27.5.2 Foudre

Il convient que les condensateurs susceptibles d'être soumis à des surtensions élevées causées par la foudre soient adéquatement protégés. Il convient de disposer les parafoudres éventuellement prévus aussi près que possible des condensateurs. Il peut être nécessaire d'utiliser des parafoudres spéciaux pour tenir compte du courant de décharge des condensateurs, particulièrement avec les batteries de grandes dimensions (voir la série CEI 60099).

27.5.3 Auto-excitation des moteurs

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

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

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

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

27.5.4 Démarrage en couplage étoile-triangle

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

27.5.5 Choix des condensateurs unitaires

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

Dans les cas extrêmes, la différence peut atteindre 15 % (voir 7.2).

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

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

27.5.1 Restriking of switches

High overvoltage transients may be encountered when capacitors are disconnected by switching devices which may be either the capacitor switch or more remote switch(es) which allow restriking. Care should be taken to select switching devices which operate without causing excessive overvoltage.

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

27.5.2 Lightning

Capacitors which are liable to be subjected to high overvoltages by lightning should be adequately protected. If surge arresters are used, they should be located as near as possible to the capacitors. Special arresters may be required to take care of the discharge current from the capacitor, especially from large banks (see the IEC 60099 series).

27.5.3 Motor self-excitation

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

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

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

NOTE 2 In the case where the motor stops immediately after disconnection from the supply, the compensation may exceed 90 %.

27.5.4 Star-delta starting

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

27.5.5 Capacitor unit selection

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

This difference may be as high as 15 % in the extreme case (see 7.2).

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

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

Il convient encore d'étudier la méthode de protection contre les défauts (voir la Note 1 de 27.8) et les conséquences du claquage d'une unité dans cette optique. Quand les différences de tension sont à éviter, on doit choisir les unités ou groupes d'unités à connecter en série de façon que leurs capacités soient aussi voisines que possible (voir également 7.2).

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

27.6 Courants de surcharge

27.6.1 Surintensités permanentes

Il y a lieu de ne jamais faire travailler des condensateurs sous des intensités qui dépassent les valeurs admissibles de l'Article 20, sauf pendant des durées n'excédant pas 5 min au moment des élévations de tension sous faible charge conformes aux dispositions du Tableau 7.

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

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

Cela est une raison de plus pour recommander la déconnexion des condensateurs dans les périodes de faible charge du réseau comme indiqué en 27.2.

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

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

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

- transposer quelques condensateurs ou tous les condensateurs dans d'autres parties du réseau;
- connecter une inductance en série avec le condensateur pour abaisser la fréquence de résonance du circuit à une valeur inférieure à celle de l'harmonique perturbateur (voir 27.2);
- augmenter la valeur de la capacité pour les condensateurs connectés près des redresseurs.

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

NOTE 2 Les mauvais contacts et raccordements dans les circuits des condensateurs peuvent entraîner des arcs qui, causant des oscillations à haute fréquence, augmentent la température des condensateurs comme les contraintes qui leur sont appliquées. C'est pourquoi il est recommandé d'inspecter régulièrement tous les contacts et les raccordements des condensateurs.

NOTE 3 L'Annexe D donne une formule pour calculer la fréquence de résonance.

The method of fault protection (see 27.8, Note 1) and the consequence of the breakdown of a unit in connection with this method should also be studied. When it is required to minimize voltage differences, the units or groups of units to be connected in series shall be chosen so that their capacitances are as closely matched as possible (see also 7.2).

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

27.6 Overload currents

27.6.1 Continuous overcurrents

Capacitors should never be operated with currents exceeding the permissible value specified in Clause 20, except for periods not longer than 5 min in conjunction with voltage rise at light loads according to Table 7.

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

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

This is a further reason for recommending the disconnection of capacitors at periods of light load, as indicated in 27.2.

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

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

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

- moving some or all of the capacitors to other parts of the system;
- connection of a reactor in series with the capacitor to lower the resonant frequency of the circuit to a value below that of the disturbing harmonic (see 27.2);
- increasing the value of the capacitance where the capacitor is connected close to rectifiers.

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

NOTE 2 Any bad contacts or joints in capacitor circuits may give rise to arcing, causing high-frequency oscillations which may overheat and overstress the capacitors. Regular inspection of all contacts and joints of the capacitor equipment is therefore recommended.

NOTE 3 A formula for the calculation of the resonant frequency is given in Annex D.

27.6.2 Surintensités transitoires

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

Il peut être nécessaire de réduire ces surintensités transitoires à des valeurs acceptables pour le condensateur et pour l'équipement en mettant le condensateur sous tension à travers une résistance (commutation résistive) ou par insertion d'inductances dans le circuit d'alimentation de chaque section de la batterie (voir également 27.7.2).

Il y a lieu de limiter la valeur de crête des surintensités dues aux manoeuvres de commutation à un maximum de $100 I_N$ (en valeur efficace) (voir la Note 2 de 27.7.1, l'Annexe C et la CEI 60871-4).

27.7 Appareils de coupure et de protection

27.7.1 Exigences de tenue

Il convient que les appareils de coupure et de protection ainsi que les connexions soient conçus de manière à supporter en permanence une valeur de 1,3 fois le courant (voir Article 20) qui serait obtenu avec une tension sinusoïdale de valeur efficace égale à la tension assignée à la fréquence assignée. En fonction de la valeur réelle de la capacité, qui peut être au maximum 1,10 fois la valeur qui correspond à sa puissance assignée, ce courant peut atteindre une valeur maximale de $1,3 \times 1,10 = 1,43$ fois le courant assigné des unités individuelles ou des valeurs plus faibles pour les batteries (voir 7.2).

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

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

Ces effets transitoires sont provoqués lorsqu'une section d'une batterie de condensateurs est commutée en parallèle avec d'autres sections qui se trouvaient déjà sous tension. Quand l'étude des contraintes thermiques et électrodynamiques risque d'entraîner des exigences de dimensionnement excessives, il y a lieu de prendre des précautions spéciales comme celles qui sont indiquées en 27.6.2 en vue de la protection contre les surintensités.

NOTE 1 En particulier, il convient de choisir les fusibles avec une capacité thermique adéquate (voir l'Annexe C et la CEI 60871-4).

NOTE 2 Dans certains cas, par exemple quand les condensateurs sont commandés automatiquement, des manoeuvres de commutation répétées peuvent se produire à des intervalles de temps relativement proches. Il y a lieu de choisir un appareillage de commutation ainsi que des fusibles capables de supporter ces conditions. Il convient d'observer l'exigence du point a) de 4.1, selon laquelle la tension résiduelle à la mise sous tension ne dépasse pas 10 % des tensions assignées.

NOTE 3 Les disjoncteurs raccordés à un même jeu de barres peuvent être soumis à des contraintes spéciales en cas d'enclenchement sur court-circuit.

NOTE 4 Il convient que les disjoncteurs pour la commutation de batteries en parallèle soient capables de supporter le courant d'appel (en amplitude et en fréquence) qui est provoqué quand une batterie est connectée à un jeu de barres auquel une ou plusieurs autres batteries sont déjà connectées.

27.6.2 Transient overcurrents

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

It may be necessary to reduce these transient overcurrents to acceptable values in relation to the capacitor and to the equipment by switching the capacitors through a resistor (resistance switching) or by the insertion of reactors into the supply circuit to each section of the bank (see also 27.7.2).

The peak value of the overcurrents due to switching operations should be limited to a maximum of $100 I_N$ (r.m.s. value) (see Note 2 of 27.7.1, Annex C and IEC 60871-4).

27.7 Switching and protective devices

27.7.1 Withstand requirements

The switching and protective devices and the connections should be designed to carry continuously a current of 1,3 times the current (see Clause 20) which could be obtained with a sinusoidal voltage of r.m.s. value equal to the rated voltage at the rated frequency. Depending on the actual capacitance value, which may be at most equal to 1,10 times the value corresponding to its output, this current may have a maximum value of $1,3 \times 1,10 = 1,43$ times the rated current for individual units and lower for banks (see 7.2).

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

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

Such transient effects are to be expected when a section of a capacitor bank is switched in parallel with other sections which are already energized. When consideration of the electrodynamic and thermal stresses would lead to excessive design requirements, special precautions, such as those referred to in 27.6.2 for the purpose of protection against overcurrents, should be taken.

NOTE 1 Fuses, in particular, should be chosen with adequate thermal capacity (see Annex C and IEC 60871-4).

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

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

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

27.7.2 Disjoncteurs sans réamorçage

Il convient d'utiliser des disjoncteurs adaptés à la commutation des condensateurs. Par exemple, il convient que le dispositif soit étudié pour que le réamorçage au cours des opérations de déclenchement, qui peut entraîner des surtensions excessives, ne puisse pas se produire (voir également 27.5.1).

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

27.7.3 Réglage des relais

Il est recommandé de protéger les condensateurs contre les surintensités par des relais à maximum d'intensité appropriés qui seront réglés pour déclencher les disjoncteurs quand le courant dépasse la limite admissible spécifiée à l'Article 20. En général, les fusibles n'assurent pas une protection appropriée contre les surintensités (voir l'Annexe C et la CEI 60871-4).

NOTE 1 En lui-même, un système de protection contre les surintensités ne peut assurer une protection suffisante contre les surtensions, pas plus qu'il n'assure en général une protection contre les défauts internes du condensateur unitaire. Il est donc nécessaire d'assurer la protection contre les défauts internes des batteries de condensateurs, surtout quand ces batteries sont constituées par une multiplicité de condensateurs unitaires. Il y a lieu de prévoir un dispositif approprié pour isoler automatiquement les unités ou les éléments défectueux.

NOTE 2 La capacité des condensateurs varie plus ou moins avec la température, selon le type de condensateur. Il faut tenir compte du fait que la capacité peut varier rapidement quand des condensateurs froids sont mis sous tension. Le phénomène devient important à basse température quand l'échauffement des condensateurs et donc la valeur de leur capacité peuvent être déséquilibrés. Cela peut entraîner le fonctionnement intempestif de leur équipement de protection.

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

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

27.8 Choix des niveaux d'isolement

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

Les exigences relatives à l'isolement indiquées en 18.2 sont estimées suffisantes pour les transitoires de commutation si des disjoncteurs sans réamorçage sont utilisés.

Se reporter à 27.9 pour sélectionner les lignes de fuite.

27.8.1 Altitudes dépassant 1 000 m

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

Les exigences de 18.2 demeurent valables, mais pour le nouveau niveau d'isolement spécifié.

Il convient que le fabricant apporte la preuve que l'isolement externe de la traversée de l'unité supporte une tension d'essai égale à k fois la tension d'essai conforme aux dispositions de l'Article 15 et du 18.3, k étant le rapport entre la nouvelle tension de tenue à fréquence industrielle spécifiée et la tension alternative de tenue correspondante à la même valeur de U_m selon les Tableaux 3, 4, 5 et 6.

27.7.2 Restrike-free circuit-breakers

Circuit-breakers suitable for capacitor switching should be used. For example, the device should be such that restriking during breaking operations, which may result in excessive over-voltages, cannot occur (see also 27.5.1).

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

27.7.3 Relay settings

It is recommended that capacitors be protected against overcurrent by means of suitable overcurrent relays which are adjusted to trip the circuit-breakers when the current exceeds the permissible limit specified in Clause 20. Fuses generally do not provide suitable overcurrent protection (see Annex C and IEC 60871-4).

NOTE 1 An overcurrent protection system does not in itself give sufficient protection against overvoltages, neither does it in general give protection against internal faults of a capacitor unit. Protection against internal faults of a capacitor bank, especially when built up of a multiplicity of units, is therefore necessary. Suitable means should be provided to isolate automatically a faulted unit or a faulted element.

NOTE 2 Depending on the type of capacitor, their capacitance will vary more or less with temperature. Attention should be paid to the fact that the capacitance may change rapidly when cold capacitors are switched on. This phenomenon is prominent at low temperature when the temperature rise of the capacitors and thus the capacitance values may be unbalanced. This may cause unwanted functioning of the protective equipment.

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

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

27.8 Choice of insulation levels

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

The insulation requirements according to 18.2 are considered sufficient for the switching surges if restrike-free circuit-breakers are used.

Regarding choice of creepage distances, see 27.9.

27.8.1 Altitudes exceeding 1 000 m

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

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

The manufacturer should provide evidence that the external insulation of the unit bushing can withstand a test voltage of k times the test voltage according to Clause 15 and 18.3 where k is the ratio between the new specified power-frequency withstand voltage and the corresponding a.c. withstand voltage according to Tables 3, 4, 5 and 6 for the same U_m .

27.8.2 Influence propre du condensateur

Les valeurs de tension de tenue des Tableaux 3 à 6 sont conformes aux exigences de la CEI 60071; elles sont choisies de manière à assurer des marges suffisantes pour les surtensions transitoires dans le cas d'objets de faible capacité.

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

A l'Article 18, on a considéré différentes exigences d'isolement pour différents schémas d'isolement et variantes de connexions, conformément au Tableau 8 ci-dessous. Les diverses connexions sont représentées aux Figures 1, 2 et 3.

Tableau 8 – Exigences d'isolement

Type	Exigence d'isolement	Paragraphe
A1	Isolement total c.a./LIWL*	18.2.1
A2	Isolement total c.a./LIWL*	18.2.2, 1 ^{er} alinéa
A3	Isolement total c.a./LIWL*	18.2.2, 2 ^e alinéa
B1	Seulement c.a., 2,15 p.u.	18.2.2, 4 ^e alinéa 18.2.3, 2 ^e alinéa
B2	Seulement c.a., 2,5 p.u.	18.2.2, 3 ^e alinéa 18.2.3, 1 ^{er} alinéa
* Niveau de tenue au choc de foudre.		

Lorsqu'elle atteint le condensateur, l'amplitude d'une surtension de foudre va être sensiblement réduite si le condensateur est mis à la terre. S'il ne l'est pas, la surtension va affecter seulement l'isolement entre les parties actives de la batterie et la terre. C'est pourquoi le niveau de tenue au choc de foudre n'est pas spécifié pour les types B1 et B2.

Pour les types B1 et B2, on spécifie une valeur de tenue en c.a. pour tous les types d'isolement en parallèle avec le diélectrique. Il convient que cette valeur ne soit jamais inférieure à 2,15 fois la tension assignée. Pour le condensateur unitaire, on prescrit une marge supérieure pour l'isolement entre borne et cuve, ainsi une marge supplémentaire de 15 % est spécifiée, ce qui porte la valeur pour l'essai à 2,5 p.u.

Seule une tenue en c.a. est spécifiée pour l'isolement se trouvant en parallèle et à proximité immédiate du diélectrique du condensateur. Cela s'applique aux traversées, à l'isolement entre borne et cuve et à l'isolement entre châssis. Pour l'isolement situé à quelque distance du condensateur, on doit toujours appliquer l'isolement total selon le type A1.

27.8.2 Influence of the capacitor itself

The voltage withstand values in Tables 3 to 6 are in accordance with IEC 60071, and are chosen to give sufficient margin to transient overvoltages for objects having low capacitance values.

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

In Clause 18 different insulation requirements for different insulation paths and connection alternatives have been considered according to the Table 8 below. The different connections are sketched in Figures 1, 2 and 3.

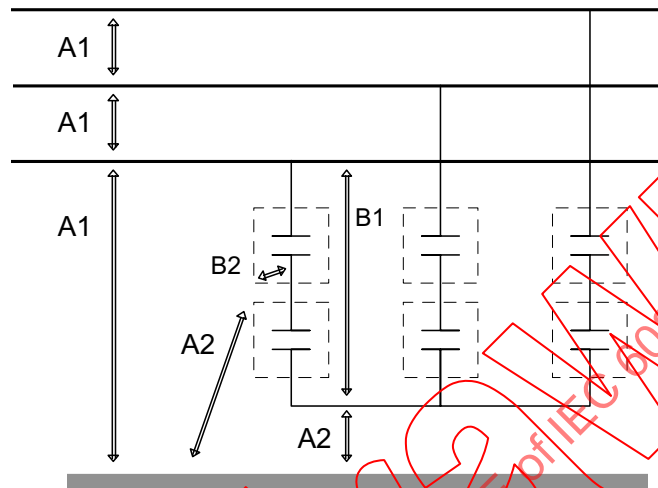
Table 8 – Insulation requirements

Type	Insulation requirement	Subclause
A1	Full insulation a.c./LIWL*	18.2.1
A2	Full insulation a.c./LIWL*	18.2.2, 1st paragraph
A3	Full insulation a.c./LIWL*	18.2.2, 2nd paragraph
B1	Only a.c., 2,15 p.u.	18.2.2, 4th paragraph 18.2.3, 2nd paragraph
B2	Only a.c., 2,5 p.u.	18.2.2, 3rd paragraph 18.2.3, 1st paragraph
* Lightning impulse withstand level.		

The amplitude of a lightning surge, when reaching the capacitor, will be reduced substantially if the capacitor is grounded. If it is not grounded the surge will stress only the insulation between live parts of the bank and ground. This is why LIWL is not specified in types B1 and B2.

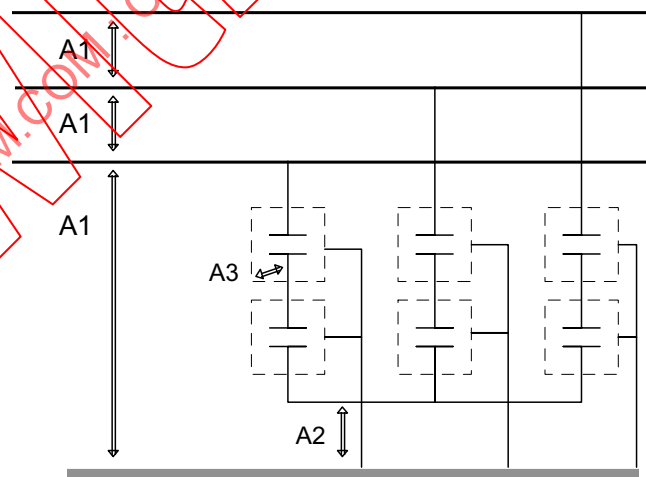
For types B1 and B2, an a.c. withstand value is specified for all types of insulation in parallel to the dielectric. This should never be lower than 2,15 times rated voltage. For the capacitor unit more margin is required for the terminal to container insulation, so an extra margin of 15 %, increasing the test to 2,5 p.u., has been specified.

The a.c. requirement only is specified for insulation which is in parallel with and in close physical proximity to the capacitor dielectric. This is applicable to bushings, terminal-to-container insulation and inter-rack insulation. For insulation located some distance from the capacitor, the full insulation requirement according to type A1 shall always apply.



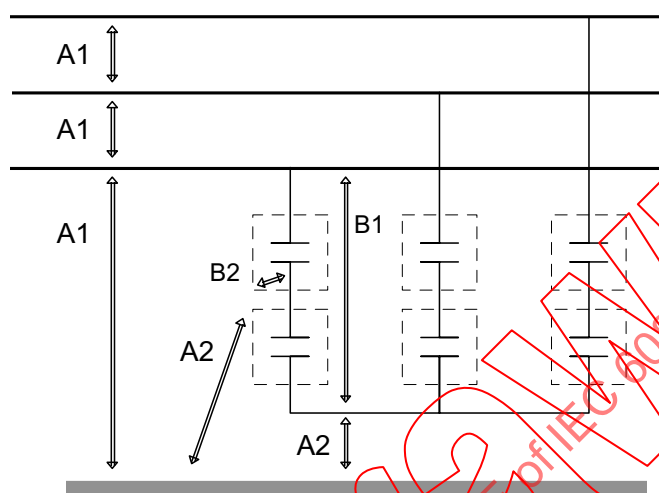
IEC 1253/97

Figure 1 – Batterie isolée de la terre



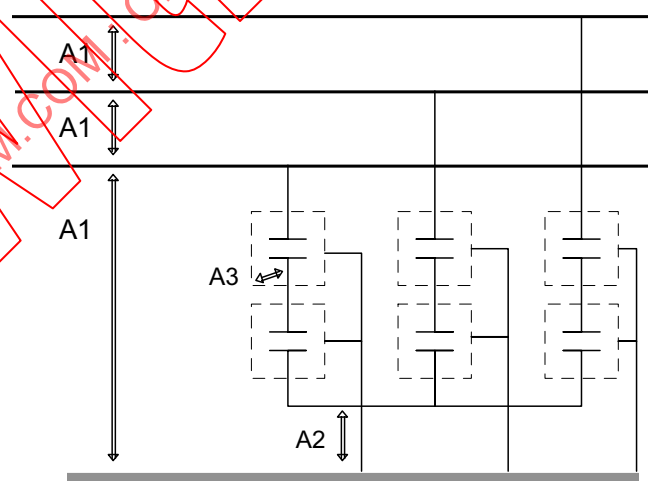
IEC 1254/97

Figure 2 – Batterie isolée de la terre (cuves mises à la terre)



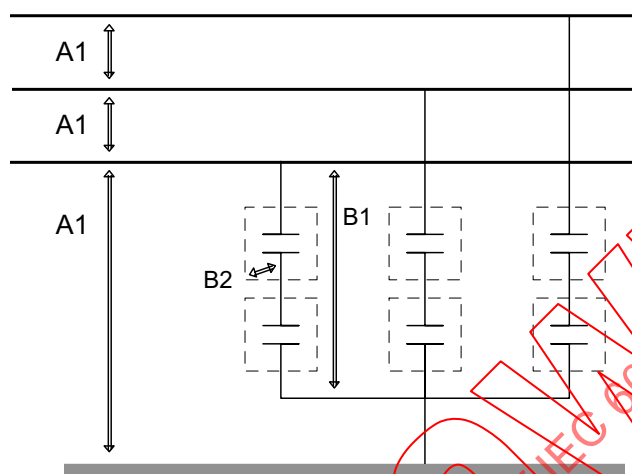
IEC 1253/97

Figure 1 – Bank isolated from ground



IEC 1254/97

Figure 2 – Bank isolated from ground (containers connected to ground)



IEC 1255/97

Figure 3 – Batterie mise à la terre

27.8.3 Lignes aériennes avec câbles de garde

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

27.9 Choix des lignes de fuite et distances dans l'air

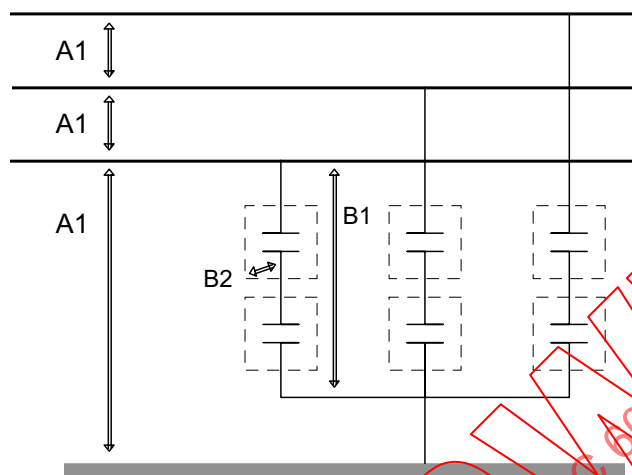
27.9.1 Lignes de fuite

Des lignes directrices pour le choix des lignes de fuite des isolateurs sont données dans la CEI 60815. Les lignes de fuite exigées sont déterminées en multipliant une tension à fréquence industrielle applicable de longue durée avec une valeur de ligne de fuite spécifique exprimée normalement en mm/kV.

Lors du choix de la ligne de fuite spécifique, il convient de prendre en considération les facteurs influents tels que les conditions météorologiques, les zones géographiques, les conditions atmosphériques, etc. Des définitions des différents niveaux de pollution et des recommandations pour le choix des lignes de fuite spécifiques correspondant sont indiquées dans le guide CEI référencé. L'acheteur connaît généralement bien ces conditions et a l'expérience nécessaire; il convient qu'il définisse les exigences à appliquer.

27.9.2 Distances dans l'air

Des recommandations pour le choix des distances dans l'air se trouvent à l'Annexe A de la CEI 60071-2. Les exigences sont basées sur les tensions de choc de foudre ou de manœuvre et s'appliquent lorsqu'un isolement total est requis conformément à l'Article 18 et en 27.8. Des distances dans l'air minimales ont été déterminées pour différentes configurations d'électrode. En général, à moins que l'acheteur n'ait une raison valable, il convient de définir les distances à partir des valeurs pointe-structure.



IEC 1255/97

Figure 3 – Bank connected to ground

27.8.3 Overhead ground wires

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

27.9 Choice of creepage distances and air clearance

27.9.1 Creepage distance

General guidelines for selection of creepage distance on insulators are given in IEC 60815. The creepage requirement is determined by multiplication of an applicable long duration power frequency voltage and a specific creepage distance, normally measured in mm/kV.

When choosing the specific creepage distance, due consideration should be given to influencing factors such as weather, geographic location, atmospheric conditions, etc. Definitions of different pollution levels and recommendations for corresponding specific creepage distances are given in the referred IEC guide. The purchaser is usually quite familiar and experienced with these conditions and should specify which requirement to apply.

27.9.2 Air clearances

Guidelines for selection of air clearance distance are found in Annex A of IEC 60071-2. The requirements are based on lightning or switching impulse voltages and are applicable when full insulation according to Clause 18 and 27.8 is required. Minimum clearances have been determined for different electrode configurations. Generally, unless justified by the supplier, the clearance should be based on rod-structure clearances.

Les distances dans l'air minimales spécifiées sont déterminées de manière conservatrice, prenant en compte l'expérience pratique, les facteurs économiques et la taille des équipements dans la gamme des distances d'isolement inférieures à 1 m. Ces distances dans l'air sont données uniquement pour respecter les exigences de coordination d'isolement. Cependant, certaines installations ont rencontré des problèmes entraînant des amorçages à cause de la vermine. En cas de présence fréquente de vermine, d'oiseaux, d'écureuils, etc., des distances plus importantes peuvent être recommandées.

Il convient d'utiliser le Tableau 9, extrait de la CEI 60071-2, pour l'isolement entre phases et entre phase et terre pour lequel la tension de tenue au choc de foudre est définie.

Pour le choix des distances dans l'air des parties d'isolation où s'appliquent uniquement des exigences de tenue en tension alternative (voir Articles 18 et 27.8), il convient d'utiliser les recommandations de l'Annexe G de la CEI 60071-2. Si d'autres exigences plus détaillées ne sont pas spécifiées, il convient d'appliquer la courbe de la Figure 4 donnant la distance minimale dans l'air en fonction de la tenue en courant alternatif.

NOTE Quand les condensateurs sont équipés de fusibles externes et qu'un fonctionnement permanent avec un fusible fondu est autorisé, il convient de maintenir une distance équivalente vis-à-vis de l'extrémité du support de fusible.

Tableau 9 – Corrélation entre les tensions de tenue au choc de foudre normalisées et les distances dans l'air minimales (Tableau A.1, CEI 60071-2)

Tension normalisée de tenue au choc de foudre kV	Distance minimale mm	
	Pointe-structure	Conducteur-structure
20	60	
40	60	
60	90	
75	120	
95	160	
125	220	
145	270	
170	320	
250	480	
325	630	
450	900	
550	1 100	
650	1 300	
750	1 500	
850	1 700	1 600
950	1 900	1 700
1 050	2 100	1 900
1 175	2 350	2 200
1 300	2 600	2 400
1 325	2 850	2 600
1 550	3 100	2 900
1 675	3 350	3 100
1 800	3 600	3 300
1 950	3 900	3 600
2 100	4 200	3 900

NOTE Le choc de foudre normalisé est applicable à l'isolation phase-phase et à l'isolation phase-terre. Pour l'isolation phase-terre, la distance minimale pour les configurations conducteur-structure et pointe-structure sont applicables. Pour l'isolation phase-phase, la distance minimale pour la configuration pointe-structure est applicable.

The minimum clearances specified are determined with a conservative approach, taking into account practical experience, economy and size of practical equipment in the range below 1 m clearance. These clearances are intended solely to address insulation coordination requirements. However, some installations have suffered problems following flashovers caused by vermin. Where vermin, birds, squirrels etc. are prevalent, extra clearance may be valuable.

Table 9, taken from IEC 60071-2, should be used for phase-to-phase and phase-to-earth insulation for which lightning impulse voltage withstand is defined.

For selection of air clearance across insulation paths where only AC voltage withstand requirement apply (see Clause 18 and 27.8) the recommendations in Annex G of IEC 60071-2 should be used. Minimum air clearance versus AC-withstand according to Figure 4 should apply if no other more detailed requirements are specified.

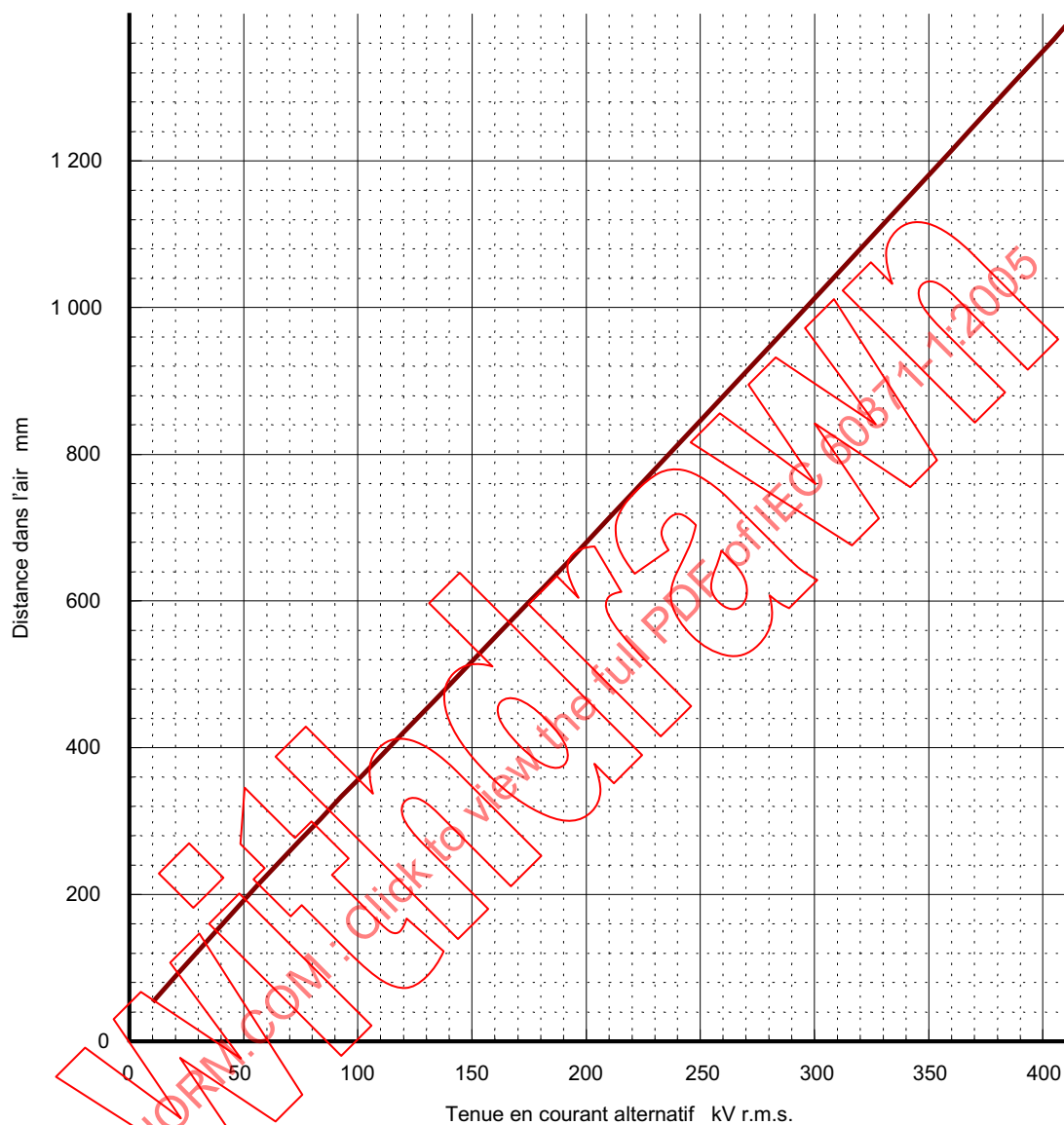
NOTE Where the capacitors units are externally fused, and continuous operation with one fuse operated is allowed, then equivalent clearance should be maintained to the hanging fuse tail.

Table 9 – Correlation between standard lightning impulse withstand voltages and minimum air clearances (Table A.1, IEC 60071-2)

Standard lightning impulse withstand voltage kV	Minimum clearance mm	
	Rod structure	Conductor structure
20	60	
40	60	
60	90	
75	120	
95	160	
125	220	
145	270	
170	320	
250	480	
325	630	
450	900	
550	1 100	
650	1 300	
750	1 500	
850	1 700	1 600
950	1 900	1 700
1 050	2 100	1 900
1 175	2 350	2 200
1 300	2 600	2 400
1 325	2 850	2 600
1 550	3 100	2 900
1 675	3 350	3 100
1 800	3 600	3 300
1 950	3 900	3 600
2 100	4 200	3 900

NOTE The standard lightning impulse is applicable to phase-to-phase and phase-to-earth insulation. For phase-to-earth insulation, the minimum clearance for conductor structures and rod structures is applicable. For phase-to-phase insulation, the minimum clearance for rod structures is applicable.

D'après la CEI 60071-2, Annexe G



IEC 974/05

Figure 4 – Distance dans l'air en fonction de la tenue en courant alternatif

27.10 Condensateurs raccordés à des réseaux pourvus de télécommande à fréquence acoustique

L'impédance des condensateurs est très faible aux fréquences acoustiques. Lorsque des condensateurs sont raccordés à des réseaux utilisant un système de télécommande à fréquence acoustique, l'émetteur risque d'être surchargé et, par suite, le fonctionnement risque d'être perturbé.

Il existe plusieurs méthodes permettant de pallier cet inconvénient ; il convient que le choix de la meilleure méthode soit fait avec l'accord de toutes les parties intéressées.

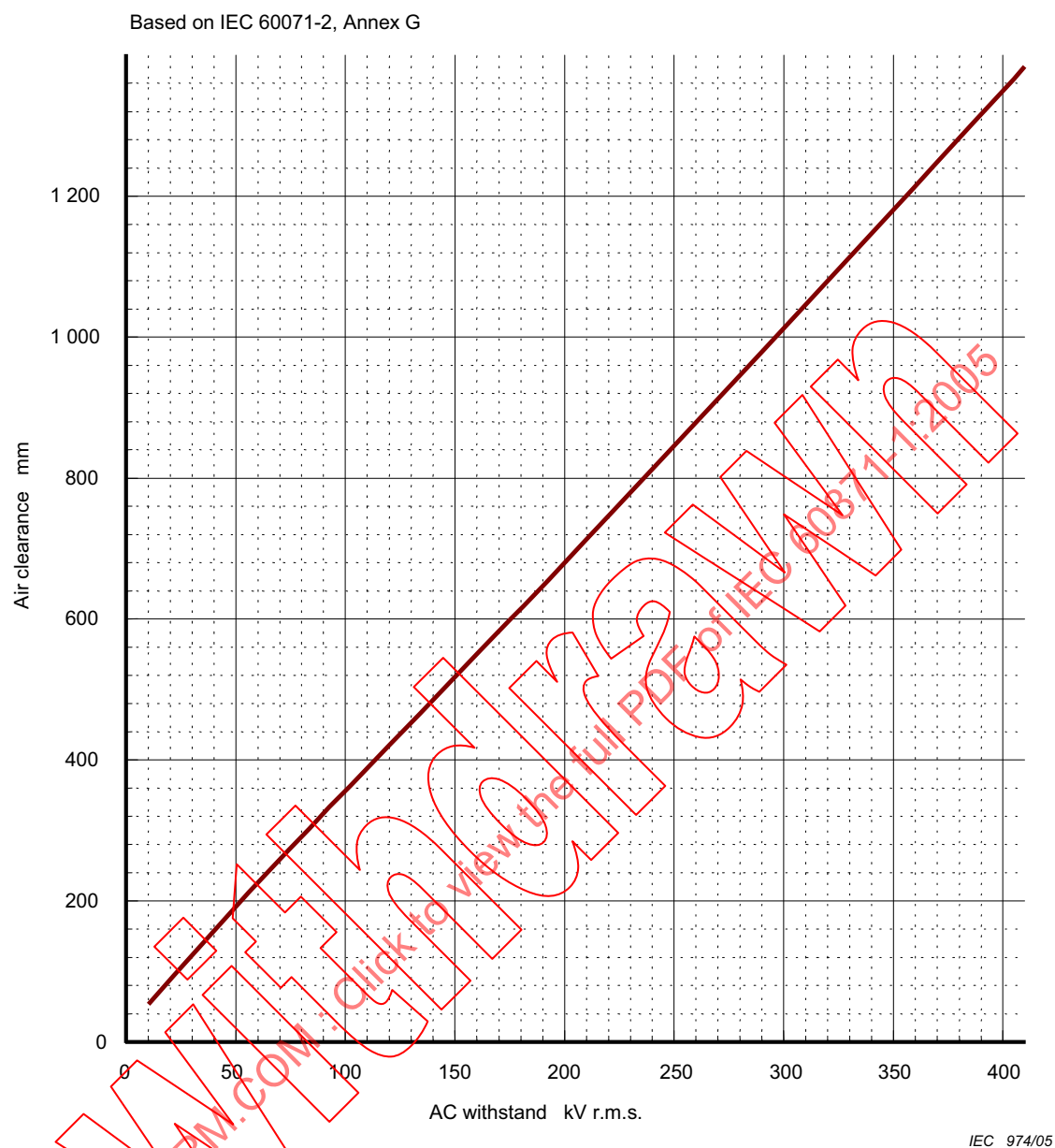


Figure 4 – Air clearance versus AC withstand

27.10 Capacitors connected to systems with audio-frequency remote control

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

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

Annexe A (normative)

Précautions à prendre pour éviter la pollution de l'environnement par les polychlorobiphényles

Le rejet de polychlorobiphényles sans observer les précautions nécessaires peut entraîner une pollution de l'environnement. Dans certains pays, des règlements ou des codes pratiques régissent les caractéristiques des polychlorobiphényles utilisés pour imprégner les condensateurs ainsi que les méthodes à employer pour leur destruction.

En l'absence de réglementation, il est suggéré de prendre les mesures suivantes:

- équiper les batteries de dispositifs collecteurs qui évitent la dispersion au sol des polychlorobiphényles en cas de fuite des cuves des condensateurs, en utilisant par exemple un dallage approprié;
- éviter d'utiliser des produits à haute teneur en chlore (par exemple les pentachlorobiphényles ou les hexachlorobiphényles), ces produits possédant un degré de biodégradabilité plus faible;
- se débarrasser des condensateurs défectueux par pyrolyse ou les enterrer dans des endroits appropriés qui isolent efficacement les condensateurs et leurs composants de la nappe phréatique.

Les condensateurs imprégnés aux polychlorobiphényles doivent être étiquetés (voir 25.3) conformément aux règles correspondantes du pays d'installation. En l'absence de règle de cette sorte, le texte ci-après doit être utilisé:

**«Ce condensateur contient un polychlorobiphényle qui peut polluer l'environnement.
Toute mise au rebut doit être conforme à la réglementation locale.»**

Annex A

(normative)

Precautions to be taken to avoid pollution of the environment by polychlorinated biphenyls

The disposal of polychlorinated biphenyls without the necessary precautions may involve pollution of the environment. In some countries, the characteristics of the polychlorinated biphenyls used in the impregnation of capacitors and the methods employed for their destruction are governed by laws, or codes of practice.

In the absence of regulations, it is suggested that the following measures are taken:

- equip banks with collecting devices that prevent the dispersion of polychlorinated biphenyl over the ground in the event of leakage from the capacitor container, for example by the use of suitable paving;
- avoid the use of products with a high chlorine content (for example hexa- or penta-chlorobiphenyl), since these products possess a lower degree of biodegradability;
- dispose of the defective capacitors by pyrolysis, or burial in suitable locations which completely isolate the capacitors and their components from the water table.

When the capacitor is impregnated with polychlorobiphenyls, it shall be labelled (see 25.3) in accordance with the relevant laws of the country of the customer. If no law exists, a label with the following wording shall be used:

"This capacitor contains polychlorobiphenyl, which can pollute the environment. It shall be disposed of in accordance with local regulations."

Annexe B (normative)

Définitions, exigences et essais supplémentaires concernant les condensateurs de filtrage en courants forts

Les compléments suivants rendent la présente norme applicable aux condensateurs de filtrage par dérivation (voir Article 1).

Ajouter la définition suivante à l'Article 3:

condensateur de filtrage passe-bande et passe-haut

condensateur de filtrage

condensateur (ou batterie de condensateurs) qui, connecté avec d'autres composants, par exemple bobine(s) d'inductance et résistance(s), établit un circuit à faible impédance pour un ou plusieurs harmoniques de courant

Addition au 3.10:

Pour les condensateurs de filtrage, la puissance assignée est la somme arithmétique de la puissance due à la fréquence fondamentale et des puissances dues aux harmoniques.

Addition au 3.11:

Dans le cas des condensateurs de filtrage, U_N est défini comme la somme arithmétique des valeurs efficaces des tensions fondamentale et harmoniques, ou encore comme la tension calculée à partir de la puissance assignée (voir addition au 3.10) et de la réactance capacitive à la fréquence assignée, la plus grande de ces deux valeurs étant retenue.

Addition au 3.13:

Pour les condensateurs de filtrage, le courant assigné est défini comme la racine carrée de la somme des carrés des courants assignés à la fréquence fondamentale et aux fréquences harmoniques. Les accessoires tels que les jeux de barres doivent être dimensionnés pour fonctionner de manière satisfaisante à ce courant et à ces surintensités (voir Article 20).

Addition au 7.2:

Dans le cas des condensateurs de filtrage et spécialement pour les filtres passe-bande, des tolérances symétriques sont recommandées pour les condensateurs unitaires comme pour les batteries.

Condensateurs unitaires des filtres passe-bande: $\pm 5 \%$

Condensateurs unitaires des filtres passe-haut: $\pm 7,5 \%$

Les tolérances applicables aux batteries doivent faire l'objet d'un accord entre fabricant et acheteur.

NOTE 5 Il y a lieu de considérer les facteurs suivants pour déterminer les tolérances d'une batterie de condensateurs de filtrage:

- les tolérances des matériels associés, spécialement celles des bobines d'inductance;
- la variation de la fréquence fondamentale du réseau auquel le condensateur de filtrage est connecté;
- les variations de capacité dues à la température;
- la variation de capacité tolérée pour des périodes restreintes, par exemple les montées en température ou les conditions de défaut telles que les perforations avant fonctionnement des fusibles;
- la variation de capacité après fonctionnement des fusibles.

Si des condensateurs unitaires standard (qualité courante) sont utilisés, il convient que la tolérance requise pour la batterie soit obtenue par le choix des unités.

Annex B (normative)

Additional definitions, requirements and tests for power filter capacitors

When the following clauses are added to this standard it applies to by-pass filter capacitors (see Clause 1).

Add the following definition to Clause 3:

band-pass and high-pass filter capacitor

filter capacitor

capacitor (or capacitor bank) that, when connected with other components, such as reactor(s) and resistor(s), gives a low impedance for one or more harmonic currents.

Addition to 3.10:

For filter capacitors, the rated output is the arithmetic sum of outputs generated at the fundamental frequency and at the harmonics frequencies.

Addition to 3.11:

In the case of filter capacitors, U_N is defined as the arithmetic sum of the r.m.s. voltages arising from the fundamental voltage and the harmonic voltage, or as the voltage calculated from rated output (see addition to 3.10) and capacitor reactance at rated frequency, whichever value is the greater.

Addition to 3.13:

For filter capacitors the rated current is defined as the square root of the sum of the squared values of the rated currents at the fundamental and harmonic frequencies. Accessories such as busbars shall be designed to operate satisfactorily at this current and at overcurrents (see Clause 20).

Addition to 7.2:

For filter capacitors, especially for band-pass filters, symmetrical tolerances are recommended both for units and banks.

For units in band-pass filters: $\pm 5\%$

For units in high-pass filters: $\pm 7,5\%$

The tolerances for banks shall be agreed upon between purchaser and manufacturer.

NOTE 5 When determining the bank tolerances in a filter capacitor the following factors should be considered:

- tolerances of the associated equipment, especially reactor(s);
- the variations of the fundamental frequency in the network to which the filter capacitor is connected;
- the capacitance variation due to temperature;
- the allowed capacitance variation for shorter periods for example during warming-up or fault conditions such as punctures before fuse clearing;
- the capacitance variation after fuse operation.

If standard (off-the-shelf) units are used, then the required bank tolerance should be achieved by selection of units.