

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

61071

Première édition
First edition
2007-01

**Condensateurs pour électronique
de puissance**

Capacitors for power electronics



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 61071:2007

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
61071

Première édition
First edition
2007-01

**Condensateurs pour électronique
de puissance**

Capacitors for power electronics

© IEC 2007 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 Varembe, 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

X

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	6
1 Domaine d'application	10
2 Références normatives	12
3 Termes et définitions	12
4 Conditions de service	22
4.1 Conditions de service normales	22
4.2 Conditions de service inhabituelles	24
5 Exigences et essais relatifs à la qualité	24
5.1 Exigences d'essai	24
5.2 Classification des essais	26
5.3 Mesure de la capacité et de la $\tan \delta$ (essai individuel)	28
5.4 Mesure de la tangente de l'angle de pertes ($\tan \delta$) d'un condensateur (essai de type)	28
5.5 Essai de tension entre les bornes	30
5.6 Essai de tension en courant alternatif entre les bornes et le boîtier	32
5.7 Essais du dispositif interne de décharge	32
5.8 Essai d'étanchéité	32
5.9 Essai de décharge	34
5.10 Essai de stabilité thermique	34
5.11 Essai d'auto-cicatrisation	36
5.12 Mesure de la fréquence de résonance	38
5.13 Essais d'environnement	38
5.14 Essais mécaniques	38
5.15 Essai d'endurance	40
5.16 Essai de destruction	44
5.17 Essai de déconnexion des coupe-circuit internes	54
6 Surcharges	58
6.1 Tensions maximales admissibles	58
7 Exigences de sécurité	60
7.1 Dispositif de décharge	60
7.2 Connexions de la cuve	60
7.3 Protection de l'environnement	60
7.4 Autres exigences de sécurité	60
8 Marquages	62
8.1 Marquage des unités	62
9 Directives pour l'installation et l'utilisation	62
9.1 Généralités	62
9.2 Choix de la tension assignée	64
9.3 Température de fonctionnement	64
9.4 Conditions spéciales de service	66
9.5 Surtensions	68
9.6 Surcharges	68
9.7 Appareils de commande et de protection	68
9.8 Choix de la ligne de fuite et de la distance d'isolement	68
9.9 Connexions	70

CONTENTS

FOREWORD.....	7
1 Scope.....	11
2 Normative references.....	13
3 Terms and definitions	13
4 Service conditions.....	23
4.1 Normal service conditions.....	23
4.2 Unusual service conditions	25
5 Quality requirements and tests.....	25
5.1 Test requirements.....	25
5.2 Classification of tests.....	27
5.3 Capacitance and $\tan \delta$ measurements (routine test).....	29
5.4 Measurement of the tangent of the loss angle ($\tan \delta$) of a capacitor (type test)	29
5.5 Voltage test between terminals	31
5.6 AC voltage test between terminals and case	33
5.7 Test of internal discharge device.....	33
5.8 Sealing test	33
5.9 Surge discharge test.....	35
5.10 Thermal stability test.....	35
5.11 Self-healing test.....	37
5.12 Resonance frequency measurement	39
5.13 Environmental testing	39
5.14 Mechanical testing.....	39
5.15 Endurance test	41
5.16 Destruction test	45
5.17 Disconnecting test on internal fuses.....	55
6 Overloads.....	59
6.1 Maximum permissible voltages	59
7 Safety requirements.....	61
7.1 Discharge device	61
7.2 Case connections	61
7.3 Protection of the environment	61
7.4 Other safety requirements.....	61
8 Markings.....	63
8.1 Marking of the units	63
9 Guide to installation and operation	63
9.1 General	63
9.2 Choice of rated voltage	65
9.3 Operating temperature.....	65
9.4 Special service conditions.....	67
9.5 Overvoltages	69
9.6 Overcurrents	69
9.7 Switching and protective devices	69
9.8 Choice of creepage distance and clearance	69
9.9 Connections	71

9.10 Connexions en parallèle de condensateurs	70
9.11 Connexions en série de condensateurs	70
9.12 Pertes magnétiques et courants de Foucault	72
9.13 Guide sur la protection par coupe-circuit et par déconnecteur des condensateurs ..	72
9.14 Directives pour les condensateurs non protégés	72
Annexe A (informative) Formes d'onde	74
Annexe B (normative) Limites de fonctionnement des condensateurs en tension sinusoïdale en fonction de la fréquence et à la température maximale (θ_{max})	78
Annexe C (normative) Méthodes de mesure de la fréquence de résonance – Exemples	82
Bibliographie	86
Figure 1 – Conditions de l'essai de destruction	48
Figure 2 – Source à courant continu N – Type 1	52
Figure 3 – Source à courant continu N – Type 2	52
Figure A.1 – Exemple de largeur de l'impulsion de courant	76
Figure B.1 – Conditions d'alimentation	78
Figure C.1 – Circuit de mesure	82
Figure C.2 – Relation entre la tension aux bornes du condensateur et la fréquence	82
Figure C.3 – Forme d'onde du courant de décharge	84
Tableau 1 – Tension d'essai entre bornes	30
Tableau 2 – Essais de robustesse des bornes	40
Tableau 3 – Essai d'endurance	42
Tableau 4 – Essai de destruction en fonction du type de système de sécurité	44
Tableau 5 – Tensions maximales admissibles	58

9.10	Parallel connections of capacitors	71
9.11	Series connections of capacitors.....	71
9.12	Magnetic losses and eddy currents	73
9.13	Guide for internal fuse and disconnector protection in capacitors.....	73
9.14	Guide for unprotected capacitors	73
Annex A (informative) Waveforms		75
Annex B (normative) Operational limits of capacitors with sinusoidal voltages as a function of frequency and at maximum temperature (θ_{max})		79
Annex C (normative) Resonance frequency measuring methods – Examples		83
Bibliography		87
Figure 1 – Destruction test arrangement.....		49
Figure 2 – N source d.c., type 1.....		53
Figure 3 – N source d.c., type 2.....		53
Figure A.1 – Example of waveforms and their circuits		77
Figure B.1 – Supply conditions		79
Figure C.1 – Measuring circuit.....		83
Figure C.2 – Relation between the voltage across the capacitor and the supply frequency.....		83
Figure C.3 – Discharge current wave shape.....		85
Table 1 – Test voltage between terminals.....		31
Table 2 – Testing the robustness of terminals.....		41
Table 3 – Endurance test		43
Table 4 – Destruction test as a function of type of safety system.....		45
Table 5 – Maximum permissible voltages		59

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

CONDENSATEURS POUR ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE

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 61071-1 a été établie par le comité d'études 33 de la CEI: Condensateurs de puissance.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
33/432/FDIS	33/433/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.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

CAPACITORS FOR POWER ELECTRONICS

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 61071-1 has been prepared by IEC technical committee 33: Power capacitors.

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

FDIS	Report on voting
33/432/FDIS	33/433/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.

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 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 POUR ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale s'applique aux condensateurs pour les applications de l'électronique de puissance.

La fréquence de fonctionnement des systèmes utilisant ces condensateurs atteint généralement 15 kHz, mais les fréquences d'impulsions peuvent atteindre 5 à 10 fois la fréquence de fonctionnement.

Une distinction est faite dans la présente norme entre les condensateurs à courants alternatifs et les condensateurs à courants continus qui sont considérés comme des composants lorsqu'ils sont montés dans un boîtier fermé.

Cette norme couvre une très grande variété de technologies de condensateurs pour répondre à de nombreuses applications, par exemple protection contre les surtensions, filtrage à courant continu et à courant alternatif, circuits de commutation, stockage d'énergie à courant continu, convertisseurs auxiliaires, etc.

Les condensateurs suivants sont exclus de la présente norme:

- les condensateurs destinés à des installations de production de chaleur par induction, soumis à des fréquences comprises entre 40 Hz et 24 000 Hz (voir CEI 60110-1 et CEI 60110-2);
- les condensateurs utilisés pour les moteurs et similaires (voir CEI 60252-1 et CEI 60252-2);
- les condensateurs destinés à être utilisés dans les circuits pour le ou les filtres d'harmonique dans les réseaux d'alimentation;
- les petits condensateurs à courant alternatif utilisés pour les lampes fluorescentes et à décharge (voir CEI 61048 et CEI 61049);
- les condensateurs d'antiparasitage (voir CEI 60384-14);
- les condensateurs shunt destinés à être installés sur des réseaux à courant alternatif de tension assignée supérieure à 1 000 V (voir CEI 60871-1 et CEI 60871-2);
- les condensateurs shunt de puissance autorégénérateurs destinés à être installés sur des réseaux à courant alternatif de tension assignée inférieure ou égale à 1 000 V (voir CEI 60831-1 et CEI 60831-2);
- les condensateurs shunt de puissance non autorégénérateurs destinés à être installés sur des réseaux à courant alternatif de tension assignée inférieure ou égale à 1 000 V (voir CEI 60931-1 et CEI 60931-2);
- les condensateurs pour l'électronique, qui ne sont pas utilisés dans les circuits de puissance;
 - les condensateurs-série destinés à être utilisés sur des réseaux (voir CEI 60143);
 - les condensateurs de couplage et diviseurs capacitifs (voir CEI 60358);
 - les condensateurs pour les fours à micro-ondes (voir CEI 61270-1);
 - les condensateurs pour les applications pour chemins de fer (voir CEI 61881);

Des exemples d'applications sont donnés à l'Article 9.1.

CAPACITORS FOR POWER ELECTRONICS

1 Scope

This International Standard applies to capacitors for power electronics applications.

The operating frequency of the systems in which these capacitors are used is usually up to 15kHz, while the pulse frequencies may be up to 5 to 10 times the operating frequency.

The standard distinguishes between a.c. and d.c. capacitors which are considered as components when mounted in enclosures.

This standard covers an extremely wide range of capacitor technologies for numerous applications, e.g. overvoltage protection, d.c. and a.c. filtering, switching circuits, d.c. energy storage, auxiliary inverters, etc.

The following are excluded from this standard:

- capacitors for induction heat-generating plants operating at frequencies between 40 Hz and 24 000 Hz (see IEC 60110-1 and IEC 60110-2);
- capacitors for motor applications and the like (see IEC 60252-1 and IEC 60252 -2);
- capacitors to be used in circuits for blocking one or more harmonics in power supply networks;
- small a.c. capacitors as used for fluorescent and discharge lamps (see IEC 61048 and IEC 61049);
- capacitors for suppression of radio interference (see IEC 60384-14);
- shunt capacitors for a.c. power systems having a rated voltage above 1 000 V (see IEC 60871-1 and IEC 60871-2);
- shunt power capacitors of the self-healing type for a.c. systems having a rated voltage up to and including 1 000 V (see IEC 60831-1 and IEC 60831-2);
- shunt power capacitor of the non-self-healing type for a.c. systems having a rated voltage up to and including 1 000 V (see IEC 60931-1 and IEC 60931-2);
- electronic capacitors not used in power circuits;
- series capacitors for power systems (see IEC 60143);
- coupling capacitors and capacitors dividers (see IEC 60358);
- capacitors for microwave ovens (see IEC 61270-1);
- capacitors for railway applications (see IEC 61881).

Examples of applications are given in Clause 9.1.

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 60068-2-6, *Essai d'environnement – Partie 2: Essais – Essai Fc: Vibrations (sinusoïdales)*

CEI 60068-2-14, *Essai d'environnement – Partie 2: Essais – Essai N: Variations de température*

CEI 60068-2-20, *Essai d'environnement – Partie 2: Essais – Essai T: Soudure*

CEI 60068-2-21, *Essai d'environnement – Partie 2: Essais – Essai U: Robustesse des sorties et des dispositifs de fixation*

CEI 60068-2-78, *Essai d'environnement – Partie 2: Essais – Essai Cab: Chaleur humide – essai continu* CEI 60071-1, *Coordination de l'isolement – Partie 1: Définitions, principes et règles*

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

CEI 60269-1, *Fusibles basse tension – Partie 1: Règles générales*

CEI 60664-1, *Coordination de l'isolement des matériels dans les systèmes (réseaux) à basse tension – Partie 1: Principes, prescriptions et essais*

CEI 60695-2-11, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 2-11: Essais au fil incandescent/chauffant – Méthode d'essai d'inflammabilité pour produits finis*

CEI 60695-2-12, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 2-12: Essais au fil incandescent/chauffant – Méthode d'essai d'inflammabilité sur matériaux*

CEI 60947-1, *Appareillage à basse tension – Partie 1: Règles générales*

3 Termes et définitions

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

3.1

élément de condensateur (ou élément)

dispositif constitué essentiellement de deux électrodes séparées par un diélectrique

[VEI 436-01-03]

3.2

condensateur unitaire (ou unité)

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

[VEI 436-01-04]

3.3

batterie de condensateurs

ensemble de condensateurs unitaires raccordés de façon à agir conjointement

[VEI 436-01-06]

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 60068-2-6, *Environmental testing – Part 2: Tests. Test Fc: Vibration (sinusoidal)*

IEC 60068-2-14, *Environmental testing – Part 2: Tests. Test N: Change of temperature*

IEC 60068-2-20, *Environmental testing – Part 2: Tests. Test T: Soldering*

IEC 60068-2-21, *Environmental testing – Part 2: Tests. Test U: Robustness of terminations and integral mounting devices*

IEC 60068-2-78, *Environmental testing – Part 2: Tests. Test Cab: Damp heat, steady state*

IEC 60071-1, *Insulation coordination – Part 1: Definitions, principle and rules*

IEC 60071-2, *Insulation coordination – Part 2: Application guide*

IEC 60269-1, *Low-voltage fuses – Part 1: General requirements*

IEC 60664-1, *Insulation coordination for equipment within low-voltage systems – Part 1: Principles, requirements and tests*

IEC 60695-2-11, *Fire hazard testing – Part 2-11: Glowing/hotwire based test methods, Glow-wire flammability test method for end-products*

IEC 60695-2-12, *Fire hazard testing – Part 2-12: Glowing/hotwire based test methods, Glow-wire flammability test method for materials*

IEC 60947-1, *Low-voltage switchgear and controlgear – Part 1: General rules*

3 Terms and definitions

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

3.1

capacitor element (or element)

a device consisting essentially of two electrodes separated by a dielectric

[IEV 436-01-03]

3.2

capacitor unit (or unit)

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

[IEV 436-01-04]

3.3

capacitor bank

number of capacitor units connected so as to act together

[IEV 436-01-06]

3.4

condensateur

terme général utilisé quand il n'est pas nécessaire de faire référence à un élément, à une unité ou à une batterie de condensateurs

3.5

ensemble de condensateurs

ensemble de condensateurs unitaires avec leurs accessoires pour être connecté à un équipement d'électronique de puissance

3.6

condensateur pour électronique de puissance

condensateur de puissance destiné à être utilisé dans des équipements d'électronique de puissance et capable de fonctionner de façon continue avec des courants et tensions sinusoïdales et non sinusoïdales

3.7

condensateur à armature métallique (non auto-cicatrisant)

condensateur dont les électrodes sont constituées généralement par des feuilles métalliques séparées par un diélectrique

NOTE En cas de claquage du diélectrique, le condensateur ne se rétablit pas.

3.8

condensateur auto-cicatrisant, à diélectrique métallisé

condensateur, dont au moins une des électrodes est constituée d'un dépôt métallique sur le diélectrique

NOTE Dans le cas d'un claquage local du diélectrique, les propriétés électriques du condensateur sont rapidement et quasiment rétablies.

3.9

condensateur à courant alternatif

condensateur principalement conçu pour travailler avec une tension alternative

NOTE Les condensateurs à courant alternatif peuvent être utilisés avec une tension continue jusqu'à la tension assignée, mais seulement avec l'autorisation du fabricant de condensateurs.

3.10

condensateur à courant continu

condensateur principalement conçu pour travailler avec une tension continue

NOTE Les condensateurs à courant continu peuvent être utilisés avec une tension alternative, mais seulement avec l'autorisation du fabricant de condensateurs.

3.11

modèle de condensateur

modèle pour simuler les essais électriques d'une unité complète ou d'un élément, sans réduire la sévérité des conditions électriques, thermiques ou mécaniques

NOTE 1 L'unité modèle peut être d'une taille différente de l'unité complète.

NOTE 2 Il faut considérer toujours la somme combinée des contraintes; par exemple la somme des conditions thermiques et mécaniques et des contraintes électriques.

3.12

coupe-circuit interne (d'un élément)

coupe-circuit monté à l'intérieur d'une unité et connecté en série avec un élément ou un groupe d'éléments

[VEI 436-03-16]

3.4**capacitor**

general term used when it is not necessary to state whether reference is made to an element, a unit or a capacitor bank

3.5**capacitor equipment**

assembly of capacitor units and their accessories intended for connection in power electronic equipment

3.6**capacitor for power electronics**

power capacitor intended to be used in power electronic equipment and capable of operating continuously under sinusoidal and non-sinusoidal current and voltage

3.7**metal-foil capacitor (non-self-healing)**

capacitor in which the electrodes usually consist of metal foils separated by a dielectric

NOTE In the event of a breakdown of the dielectric, the capacitor does not restore itself.

3.8**self-healing metallized dielectric capacitor**

capacitor, of which at least one electrode consists of a metallic deposit on the dielectric

NOTE In the event of local breakdown of the dielectric, the electric properties of the capacitor are rapidly and essentially self-restored.

3.9**a.c. capacitor**

capacitor essentially designed for operation with alternating voltage

NOTE AC capacitors may be used with d.c. voltage up to the rated voltage only when authorized by the capacitor manufacturer.

3.10**d.c. capacitor**

capacitor essentially designed for operation with direct voltage

NOTE DC capacitors may be used with a specified a.c. voltage only where authorized by the capacitor manufacturer.

3.11**model capacitor**

unit which simulates a complete unit or element in an electrical test, without reducing the severity of the electrical, thermal or mechanical conditions

NOTE 1 The model unit may be of a different size from the complete unit.

NOTE 2 The combined sum of stresses should always be considered, for instance the sum of temperature and mechanical conditions as well as electrical stresses.

3.12**internal (element) fuse**

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

[IEV 436-03-16]

3.13 dispositifs de sécurité

3.13.1

déconnecteur de surpression

dispositif de déconnexion, à l'intérieur d'un condensateur, conçu pour couper le courant en cas d'accroissement anormal de la surpression interne

3.13.2

détecteur de surpression

dispositif conçu pour détecter un accroissement anormal de la pression interne d'un condensateur, par le basculement d'un contact électrique qui interrompt indirectement le passage d'un courant

3.13.3

motif de métallisation segmentée

couche métallique déposée sur le diélectrique, suivant un motif qui permet à une petite partie de celui-ci de s'isoler en cas de court-circuit ou claquage local, et qu'un rétablissement de toutes les fonctionnalités de l'unité soit possible avec une perte négligeable de capacité

3.13.4

conception spéciale par métallisation non segmentée

couche métallique déposée sur le diélectrique de telle façon que les propriétés d'auto-cicatrisation s'opèrent en sécurité jusqu'à une tension U_s et garantissent toutes les fonctionnalités de l'unité avec une perte négligeable de capacité

3.14

dispositif de décharge d'un condensateur

dispositif qui peut être intégré à un condensateur, capable de réduire la tension résiduelle entre ses bornes effectivement à zéro, en un temps donné, après que le condensateur a été déconnecté du réseau

[VEI 436-03-15, modifiée]

3.15

tension assignée en courant alternatif

U_N

tension crête récurrente maximale de service de l'une ou de l'autre des polarités d'une forme d'onde réversible pour laquelle le condensateur a été conçu

NOTE 1 La forme d'onde peut avoir différentes formes. Des exemples sont donnés à l'Annexe A.

NOTE 2 La valeur moyenne de la forme d'onde peut être positive ou négative.

NOTE 3 Il est important de noter que la tension assignée en courant alternatif n'est pas une valeur efficace.

3.16

tension assignée en courant continu

U_{NDC}

tension crête maximale de service de l'une ou l'autre des polarités, mais d'une forme d'onde non réversible pour laquelle, en fonctionnement de façon continu, le condensateur a été conçu

NOTE 1 Les condensateurs d'amortissement pour thyristor blocable (GTO) peuvent être considérés comme des condensateurs à courant continu avec une tension égale à la tension assignée en courant continu $U_{NDC} = U_r$.

Dans le cas d'une tension d'inversion (U_{rev}), il convient que l'utilisation fasse l'objet d'un accord entre l'utilisateur et le fabricant.

NOTE 2 Si la tension d'inversion est faible (moins de 10 %), la forme d'onde de la tension peut être considérée comme non réversible. Pour les essais, il est recommandé d'augmenter U_{NDC} et U_r de la tension d'inversion U_{rev} .

3.17

tension d'ondulation

U_r

composante alternative crête à crête de la tension unidirectionnelle

3.13 safety devices

3.13.1

overpressure disconnecter

disconnecting device inside a capacitor, designed to interrupt the current path in case of abnormal increase of internal overpressure

3.13.2

overpressure detector

device designed to detect abnormal increase of the internal pressure, usually used to operate an electrical switch and indirectly interrupt the current path

3.13.3

segmented metallization design

design of the metal layer over the dielectric shaped in a way to allow a small part of it to be isolated in case of local short circuit or breakdown, in order to restore the full functionality of the unit with a negligible loss of capacitance

3.13.4

special unsegmented metallization design

design of the metal layer over the dielectric shaped in a way that safe self-healing features operating at a voltage up to U_s guarantee the full functionality of the unit with a negligible loss of capacitance.

3.14

discharge device of a capacitor

a 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]

3.15

rated a.c. voltage

U_N

maximum operating peak recurrent voltage of either polarity of a reversing type waveform for which the capacitor has been designed

NOTE 1 The waveform can have many shapes. Examples are given in Annex A.

NOTE 2 The mean value of the waveform may be positive or negative.

NOTE 3 It is important to note that the rated a.c. voltage is not an r.m.s. value.

3.16

rated d.c. voltage

U_{NDC}

maximum operating peak voltage of either polarity but of a non-reversing type waveform, for which the capacitor has been designed, for continuous operation

NOTE 1 Damping capacitors, for gate turn-off thyristor (GTO) can be regarded as d.c. capacitors with a ripple voltage equal to the rated d.c. voltage $U_{NDC} = U_r$.

In the case of reversal voltage (U_{rev}), the use should be agreed between user and manufacturer.

NOTE 2 If the reversal voltage is small (less than 10 %), the voltage waveform can be considered to be non-reversing. For test purposes, U_{NDC} and U_r should be increased by U_{rev} , the reversal voltage.

3.17

ripple voltage

U_r

peak-to-peak alternating component of the unidirectional voltage

3.18

surtension non récurrente

U_s

tension crête produite par une commutation ou par tout autre type de perturbation du système toléré un nombre limité de fois et pendant une durée plus courte que la période de récurrence

3.19

tension d'isolement

U_i

valeur efficace de la tension sinusoïdale conçue pour l'isolement des bornes des condensateurs par rapport au boîtier ou à la terre

3.20

courant crête maximal

\hat{I}

courant crête maximal répétitif qui peut apparaître durant un fonctionnement de façon continue

3.21

courant maximal

I_{\max}

valeur efficace maximale du courant pour un fonctionnement de façon continue

3.22

surintensité maximale

\hat{I}_s

courant crête non répétitif produit par une commutation ou par tout autre type de perturbation du système, toléré un nombre limité de fois et pendant une durée plus courte que la période de récurrence

3.23

fréquence des impulsions

f_p

récurrence des impulsions périodiques de courant

3.24

largeur des impulsions de courant

τ

durée de passage du courant pendant la charge ou la décharge, d'une valeur de tension à une autre du condensateur

NOTE Des exemples de formes d'impulsion de courant sont donnés à l'Annexe A.

3.25

fréquence de résonance

f_r

fréquence la plus basse pour laquelle l'impédance du condensateur est minimale

3.26

cycle de fonctionnement

3.26.1

service continu

temps de fonctionnement pendant lequel le condensateur est la plupart du temps à son équilibre thermique

3.26.2

service intermittent

fonctionnement discontinu ou des conditions de charge variables qu'il convient de décrire en termes de périodes de Marche/Arrêt ou Elevé/Faible avec leurs durées

3.18**non-recurrent surge voltage** U_s

peak voltage induced by a switching or any other disturbance of the system which is allowed for a limited number of times and for durations shorter than the basic period

3.19**insulation voltage** U_i

r.m.s. value of the sine wave voltage designed for the insulation between terminals of capacitors to case or earth

3.20**maximum peak current** \hat{I}

maximum repetitive peak current that can occur during continuous operation

3.21**maximum current** I_{\max}

maximum r.m.s. current for continuous operation

3.22**maximum surge current** \hat{I}_s

peak non-repetitive current induced by switching or any other disturbance of the system which is allowed for a limited number of times, for durations shorter than the basic period

3.23**pulse frequency** f_p

repetition rate of periodic current pulses

3.24**current pulse width** τ

time of current flow during charging or discharging from one voltage value to another, of the capacitor

NOTE Pulse current waveform examples are shown in Annex A.

3.25**resonance frequency** f_r

lowest frequency at which the impedance of the capacitor becomes minimum

3.26**duty cycle****3.26.1****continuous duty**

operation time such that a capacitor is at thermal equilibrium for most of the time

3.26.2**intermittent duty**

discontinuous working or operation with variable loads which should be described in terms of ON/OFF or HIGH/LOW periods with their durations

3.27

température de fonctionnement

température du point le plus chaud du boîtier du condensateur à l'équilibre thermique

3.28

température de fonctionnement minimale

θ_{\min}

température la plus basse du diélectrique à laquelle le condensateur peut être mis sous tension

3.29

élévation de température du boîtier

$\Delta\theta_{\text{boîtier}}$

différence de température entre le point le plus chaud du boîtier et la température de l'air de refroidissement

3.30

température de l'air de refroidissement

θ_{amb}

température de l'air de refroidissement mesurée au niveau du point le plus chaud du condensateur dans des conditions de régime établi et à mi-chemin entre deux unités

NOTE S'il n'y a qu'une seule unité à prendre en considération, il s'agit de la température mesurée au niveau d'un point situé approximativement à 0,1 m du boîtier du condensateur et aux deux tiers de la hauteur depuis sa base.

3.30.1

température de sortie du fluide de refroidissement pour condensateurs

température du fluide de refroidissement lorsqu'il quitte le condensateur, mesurée au niveau du point le plus chaud

3.30.2

température d'entrée du fluide de refroidissement pour condensateurs

température du fluide de refroidissement mesurée au niveau du milieu du canal d'entrée du fluide à un point qui n'est pas influencé par la dissipation de chaleur du condensateur

3.31

température maximale de fonctionnement

θ_{\max}

température maximale du boîtier à laquelle le condensateur peut fonctionner

3.32

conditions de régime établi

équilibre thermique atteint par le condensateur pour une puissance et une température d'air de refroidissement constantes

3.33

pertes d'un condensateur

puissance active dissipée par le condensateur

[VEI 436-04-10]

NOTE Sauf indication contraire, les pertes du condensateur comprennent également les pertes dans les fusibles et dans les résistances de décharge qui font partie intégrante du condensateur. A haute fréquence, les pertes du condensateur sont principalement dues aux pertes dans les connexions, contacts et électrodes.

3.34

tangente de l'angle de pertes du condensateur

$\tan \delta$

rapport entre la résistance série équivalente et la réactance capacitive d'un condensateur dans des conditions spécifiées de fréquence et de tension alternative sinusoïdale et de température

[VEI 436-04-11]

3.27**highest operating temperature**

temperature of the hottest point on the case of the capacitor when in thermal equilibrium

3.28**lowest operating temperature**

θ_{\min}

lowest temperature of the dielectric at which the capacitor may be energized

3.29**container temperature rise**

$\Delta\theta_{\text{case}}$

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

3.30**cooling-air temperature**

θ_{amb}

temperature of the cooling air measured at the hottest position of the capacitor, 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.

3.30.1**outlet fluid temperature for forced-cooled capacitors**

temperature of the cooling fluid as it leaves the capacitor, measured at the hottest point

3.30.2**inlet fluid temperature for forced-cooled capacitors**

temperature of the cooling fluid measured in the middle of the inlet fluid channel at a point not influenced by the heat dissipation of the capacitor

3.31**maximum operating temperature**

θ_{\max}

highest temperature of the case at which the capacitor may be operated

3.32**steady-state conditions**

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

3.33**capacitor losses**

active power dissipated in the capacitor

[IEV 436-04-10]

NOTE Unless otherwise stated, the capacitor losses are understood to include losses in fuses and discharge resistors forming an integral part of the capacitor. At high frequency, the capacitor losses are predominantly due to losses in connections, contacts and electrodes.

3.34**tangent of the loss angle of a capacitor**

$\tan \delta$

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

[IEV 436-04-11]

$$\tan \delta = R_{\text{esr}} \omega C = \tan \delta_d + R_s \omega C$$

$\tan \delta_d$ = facteur de perte du diélectrique

3.35

résistance série équivalente du condensateur

R_{esr}

résistance effective pour laquelle, si elle était connectée en série avec un condensateur parfait de même valeur que le condensateur considéré, la puissance active dissipée serait alors la même que celle du condensateur dans les conditions de fonctionnement spécifiées

3.36

résistance série

R_s

résistance ohmique effective des conducteurs d'un condensateur dans les conditions de fonctionnement spécifiées

3.37

puissance maximale des pertes

P_{max}

puissance maximale des pertes avec laquelle le condensateur peut fonctionner à la température maximale de boîtier

3.38

fréquence maximale pour la puissance maximale des pertes et pour le courant maximal

f_2

fréquence à laquelle le courant maximal (I_{max}) produit les pertes maximales (P_{max}) dans le condensateur

NOTE Pour les explications de f_2 , voir l'Annexe B.

4 Conditions de service

4.1 Conditions de service normales

La présente norme s'applique aux condensateurs destinés à être utilisés dans les conditions qui suivent.

4.1.1 Altitude

L'altitude ne doit pas dépasser 1 000 m, à moins que les effets de refroidissement et d'isolement externe ne soient pris en compte.

NOTE Il convient que l'effet de l'altitude sur le refroidissement par convection et sur les isolations externes soit pris en considération lorsque l'altitude excède 1 000 m.

4.1.2 Température de fonctionnement (θ_{max})

La limite haute de la température du boîtier θ_{max} à laquelle le condensateur peut être amené à fonctionner, doit être choisie normalement parmi les valeurs 45 °C, 55 °C, 70 °C et 85 °C. Une température de fonctionnement maximale différente doit faire l'objet d'un accord entre le fabricant et l'utilisateur.

4.1.3 Température de fonctionnement avec refroidissement forcé

Si les condensateurs sont destinés à être utilisés avec un refroidissement forcé par un fluide, les conditions de température de fonctionnement spécifiées en 4.1.2 doivent être observées.

$$\tan \delta = R_{\text{esr}} \omega C = \tan \delta_{\text{d}} + R_{\text{s}} \omega C$$

$\tan \delta_{\text{d}}$ = dielectric loss factor

3.35

equivalent series resistance of a capacitor

R_{esr}

effective resistance which, if connected in series with an ideal capacitor of capacitance value equal to that of the capacitor in question, would have a power loss equal to active power dissipated in that capacitor under specified operating conditions

3.36

series resistance

R_{s}

effective ohmic resistance of the conductors of a capacitor under specified operating conditions

3.37

maximum power loss

P_{max}

maximum power loss at which the capacitor may be operated at the maximum case temperature

3.38

maximum frequency for maximum power loss and maximum current

f_2

frequency at which the maximum current (I_{max}) produces the maximum power loss (P_{max}) in the capacitor

NOTE For explanation of f_2 , see Annexe B.

4 Service conditions

4.1 Normal service conditions

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

4.1.1 Altitude

Altitude shall not exceed 1 000 m unless the effects on cooling and external insulation are taken into account.

NOTE The effect of altitude on convection cooling and external insulation should be taken into consideration, if the altitude exceeds 1 000 m.

4.1.2 Operating temperature (θ_{max})

The upper limit of the case temperature θ_{max} at which the capacitor may be operated, shall normally be chosen from the values 45 °C, 55 °C, 70 °C and 85 °C. A different maximum operating temperature shall be subject to agreement between manufacturer and user.

4.1.3 Operating temperature with forced cooling

If capacitors are intended for use with forced cooling using a fluid medium, the operating temperature conditions specified in 4.1.2 shall be observed.

Il est recommandé que la température la plus basse à l'entrée pour le refroidissement par fluide soit définie, en prenant en compte la viscosité du fluide.

Il y a deux méthodes pour spécifier la limite supérieure de température du fluide de refroidissement, utilisant soit la température à l'entrée, soit la température à la sortie.

Sauf indication contraire, le choix de la méthode doit être laissé au fabricant de condensateurs.

Pour la méthode à l'entrée, le débit du fluide refroidisseur doit être spécifié.

4.2 Conditions de service inhabituelles

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

Les conditions inhabituelles de service demandent des mesures additionnelles qui assurent que les conditions décrites dans la présente norme sont compatibles avec ces éventuelles conditions inhabituelles de service.

Si de telles conditions inhabituelles de service existent, il faut qu'elles soient notifiées au fabricant de condensateurs.

De telles conditions inhabituelles de service peuvent être:

- chocs et vibrations mécaniques inhabituelles;
- eau de refroidissement avec des particules corrosives ou obturantes (eau de mer, eau très dure);
- particules corrosives et abrasives dans l'air de refroidissement;
- poussières dans l'air de refroidissement, particulièrement si elles sont conductrices;
- poussières ou gaz explosifs;
- vapeur d'huile ou d'eau, ou substances corrosives;
- rayonnement nucléaire;
- température inhabituelle de stockage ou de transport;
- humidité inhabituelle (région tropicale ou subtropicale);
- variations excessives et rapides de température (plus de 5 °C/h) ou d'humidité (plus de 5 %/h);
- zones de fonctionnement à plus de 1 000 m au-dessus du niveau de la mer;
- champs électromagnétiques superposés;
- surtensions excessives, si elles excèdent les limites données à l'Article 6.

5 Exigences et essais relatifs à la qualité

5.1 Exigences d'essai

5.1.1 Généralités

Ce paragraphe donne les exigences relatives aux essais des condensateurs unitaires.

5.1.2 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.

The lowest inlet temperature for the cooling fluid should be defined, taking into account the viscosity of the fluid.

There are two methods for specifying the upper temperature limit of the cooling medium, using either the inlet or the outlet cooling fluid temperature.

Unless otherwise agreed, the choice of method shall be left to the capacitor manufacturer.

For the inlet method, the flow of cooling medium shall be specified.

4.2 Unusual service conditions

This standard does not apply to capacitors, whose service conditions are such as to be in general incompatible with its requirements, unless otherwise agreed between the manufacturer and the user.

Unusual service conditions require additional measurements, which ensure that the conditions of this standard are complied with even under such unusual service conditions.

If such unusual service conditions exist then they must be notified to the manufacturer of the capacitor.

Unusual service conditions can include:

- unusual mechanical shocks and vibrations.
- cooling water with corrosive or obstructing particles (sea water, very hard water).
- corrosive and abrasive particles in the cooling air.
- dust in the cooling air, particularly if conductive.
- explosive dust or gas.
- oil or water vapour or corrosive substances.
- nuclear radiation.
- unusual storage or transport temperature.
- unusual humidity (tropical or subtropical region).
- excessive and rapid changes of temperature (more than 5 °C/h) or of humidity (more than 5 %/h).
- service areas higher than 1 000 m above sea level.
- superimposed electromagnetic fields.
- excessive overvoltages, as far as they exceed the limits given in Clause 6.

5 Quality requirements and tests

5.1 Test requirements

5.1.1 General

This subclause gives the test requirements for capacitor units.

5.1.2 Test conditions

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

Si des corrections sont nécessaires, la température de référence doit être +20 °C sauf accord contraire entre le fabricant et l'utilisateur.

NOTE Cela suppose que la température du diélectrique soit la même que la température ambiante et que le condensateur ait été laissé hors tension à une température ambiante constante pendant une durée suffisante pour atteindre l'équilibre thermique.

Les essais et mesures en courant alternatif doivent être réalisés avec une tension de forme pratiquement sinusoïdale à une fréquence spécifiée par le fabricant.

5.2 Classification des essais

Les essais sont classés en essais individuels et essais de type.

5.2.1 Essais individuels

- a) Essai d'étanchéité (5.8).
- b) Contrôle externe (5.14.2).
- c) Essai de tension entre bornes (5.5.2).
- d) Essai de tension entre les bornes et le boîtier (5.6.1).
- e) Mesure de la capacité et de la $\tan \delta$ (5.3).
- f) Essai du dispositif interne de décharge (5.7).

Les essais individuels doivent être exécutés par le fabricant sur chaque condensateur avant livraison.

Sur demande de l'utilisateur, un rapport d'essai avec les résultats détaillés doit être fourni.

L'ordre dans lequel les essais sont effectués est indiqué ci-après.

5.2.2 Essais de type

- a) Essais mécaniques (5.14).
- b) Essai de tension entre bornes (5.5.3).
- c) Essai de tension entre les bornes et le boîtier (5.6.2).
- d) Essai de décharge (5.9).
- e) Essai d'auto-cicatrisation (5.11).
- f) Essai d'environnement (5.13).
- g) Mesure de la tangente de l'angle de pertes ($\tan \delta$) (5.4).
- h) Essai de stabilité thermique (5.10).
- i) Essai du dispositif interne de décharge (5.7).
- j) Mesure de la fréquence de résonance (5.12).
- k) Essai d'endurance entre bornes (5.15).
- l) Essai de déconnexion des coupe-circuit (5.17).
- m) Essai de destruction (5.16).

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

NOTE It is assumed that the dielectric temperature is the same as the ambient temperature, provided that the capacitor has been left in an unenergized state, in a constant ambient temperature, for an adequate period of time in order to reach thermal equilibrium.

The a.c. tests and measurements shall be carried out with a substantially sinusoidal voltage at a frequency specified by the manufacturer.

5.2 Classification of tests

The tests are classified as routine tests and type tests.

5.2.1 Routine tests

- a) Sealing test (5.8).
- b) External inspection (5.14.2).
- c) Voltage test between terminals (5.5.2).
- d) Voltage test between terminals and case (5.6.1).
- e) Capacitance and $\tan \delta$ measurements (5.3).
- f) Test of internal discharge device (5.7).

Routine tests shall be carried out by the manufacturer on every capacitor before delivery.

At his request, the user shall be supplied with a certificate detailing the results of such tests.

The sequence of the tests is as indicated above.

5.2.2 Type tests

- a) Mechanical tests (5.14).
- b) Voltage test between terminals (5.5.3).
- c) Voltage test between terminals and case (5.6.2).
- d) Surge discharge test (5.9).
- e) Self-healing test (5.11).
- f) Environmental testing (5.13).
- g) Measurement of the tangent of the loss angle ($\tan \delta$) (5.4).
- h) Thermal stability test (5.10).
- i) Test of internal discharge device (5.7).
- j) Resonance frequency measurement (5.12).
- k) Endurance test between terminals (5.15).
- l) Disconnection test on fuses (5.17).
- m) Destruction test (5.16).

Les essais de type sont effectués afin de prouver le bon dimensionnement du condensateur et son aptitude à fonctionner suivant les considérations détaillées dans la présente norme.

Les essais de type doivent être effectués par le fabricant qui doit à la demande de l'utilisateur, lui fournir un rapport d'essais avec les résultats détaillés.

Sauf spécification contraire, chaque condensateur qui est destiné à subir les essais de type doit avoir supporté tous les essais individuels avec succès.

Ces essais doivent être effectués sur un condensateur dont la conception est identique au condensateur du contrat ou sur un condensateur dont la conception donnerait aux essais la même sévérité ou une sévérité supérieure.

Il n'est pas essentiel que tous les essais de type soient effectués sur le même condensateur.

5.3 Mesure de la capacité et de la $\tan \delta$ (essai individuel)

5.3.1 Modalités de mesure

La capacité et la $\tan \delta$ doivent être mesurées à une tension et à une fréquence choisies par le fabricant.

La méthode utilisée doit permettre d'éviter les erreurs dues à des harmoniques et aux accessoires extérieurs au condensateur à mesurer, tels que les réactances et circuits de blocage dans les circuits de mesure.

La précision de la méthode de mesure doit être donnée et doit être meilleure que 0,2 % pour la capacité et 10 % pour la $\tan \delta$.

NOTE Pour les condensateurs situés dans les plages du millifarad, une précision inférieure peut être appropriée.

La mesure de la capacité doit être exécutée après l'essai de tension entre bornes (voir 5.5).

Pour les condensateurs avec coupe-circuit interne, la mesure de la capacité doit être faite également avant les essais de tension.

5.3.2 Tolérances sur la capacité

S'il n'y a rien de spécifié, la capacité mesurée ne doit pas s'écarter de la capacité assignée de plus de –10 % à +10 %.

5.3.3 Exigences relatives aux pertes ($\tan \delta$)

Les exigences concernant les pertes du condensateur peuvent faire l'objet d'un accord entre le fabricant et l'utilisateur.

5.4 Mesure de la tangente de l'angle de pertes ($\tan \delta$) d'un condensateur (essai de type)

5.4.1 Mesures

Les mesures suivantes doivent être faites.

5.4.1.1 Condensateurs à courant alternatif

Les pertes du condensateur ($\tan \delta$) doivent être mesurées à la fin de l'essai de stabilité thermique (voir 5.10). La tension et la fréquence mesurées peuvent faire l'objet d'un accord entre le fabricant et l'utilisateur.

Type tests are intended to prove the soundness of the design of the capacitor and its suitability for operation under the considerations detailed in this standard.

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

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.

These tests shall be made upon a capacitor of a design identical to that of the capacitor under contract, or on a capacitor of a design that gives during the test the same or more severe test conditions.

It is not essential that all type tests be carried out on the same capacitor sample.

5.3 Capacitance and $\tan \delta$ measurements (routine test)

5.3.1 Measuring procedure

The capacitance and $\tan \delta$ shall be measured at a voltage and a frequency chosen by the manufacturer.

The method used shall not include errors due to harmonics or to accessories external to the capacitor to be measured, such as reactors and blocking circuits in the measuring circuit.

The accuracy of the measuring method shall be given and shall be better than 0,2 % for capacitance and 10 % for $\tan \delta$.

NOTE For capacitors in the millifarad range a lower accuracy may be appropriate

The capacitance measurement shall be carried out after the voltage test between terminals (see 5.5).

For capacitors with internal fuses, capacitance measurement shall also be made before the voltage tests.

5.3.2 Capacitance tolerances

If not otherwise specified, the capacitance measured shall not differ from the rated capacitance by more than –10 % to +10 %.

5.3.3 Loss requirements ($\tan \delta$)

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

5.4 Measurement of the tangent of the loss angle ($\tan \delta$) of a capacitor (type test)

5.4.1 Measurements

The following measurements shall be made.

5.4.1.1 AC capacitors

The capacitor losses ($\tan \delta$) shall be measured at the end of the thermal stability test (see 5.10). The measuring voltage and frequency may be agreed upon between the manufacturer and the user.

5.4.1.2 Condensateurs à courant continu

La mesure doit être réalisée à la fin de l'essai de stabilité thermique à une tension à courant alternatif appropriée aux caractéristiques du condensateur, avec un maximum de U_f divisée par $2\sqrt{2}$.

5.4.2 Exigences relatives aux pertes

La valeur de la $\tan \delta$ mesurée selon 5.4.1 ne doit pas excéder la valeur déclarée par le fabricant ni la valeur définie en accord entre le fabricant et l'utilisateur.

5.5 Essai de tension entre les bornes

5.5.1 Généralités

Les essais doivent être réalisés selon le Tableau 1 suivant.

Tableau 1 – Tension d'essai entre bornes

	Condensateurs à courant alternatif	Condensateurs à courant continu	
	Tout type	Non auto-cicatrisant	Auto-cicatrisant
Valeur efficace de la tension d'essai à courant alternatif	$1,5 U_N$	–	–
Tension d'essai à courant continu	$2,15 U_N$	$2 U_{NDC}$	$1,5 U_{NDC}$

Les tensions d'essai indiquées dans le Tableau 1 peuvent être réduites si les condensateurs sont destinés à un usage intermittent (voir 3.27) ou à un service de courte durée; les nouvelles valeurs doivent faire l'objet d'un accord entre le fabricant et l'utilisateur.

NOTE La tension d'essai à courant alternatif peut être à une fréquence de 50 Hz ou 60 Hz.

5.5.2 Essais individuels

Chaque condensateur doit être soumis durant 10 s à l'un des essais de 5.5.1 à température ambiante. Le choix est laissé au fabricant. Pendant l'essai, aucune perforation ni contournement ne doit apparaître.

Les claquages auto-cicatrisants sont autorisés.

La durée peut être réduite à 2 s, mais la tension doit alors être augmentée de 10 %.

Dans le cas d'unité avec tous les éléments en parallèle, le fonctionnement de coupe-circuit(s) interne(s) est autorisé, à condition que la capacité reste dans ses tolérances.

NOTE L'essai individuel est destiné à être appliqué une fois. S'il est répété, il convient qu'il soit réalisé à 90 % de la valeur originale sauf accord différent du fabricant.

5.5.3 Essai de type

Le condensateur doit être soumis pendant 1 min à l'un des essais de 5.5.1.

Le choix est laissé au fabricant.

Après l'essai de tension entre bornes, la capacité et la $\tan \delta$ doivent être mesurées.

5.4.1.2 DC capacitors

The measurement shall be carried out at the end of thermal stability test at an a.c. voltage appropriate to capacitor rating, subject to this voltage being a maximum of U_r divided by $2\sqrt{2}$.

5.4.2 Loss requirements

The value of $\tan \delta$ measured in accordance with 5.4.1 shall not exceed the value declared by the manufacturer, or the value agreed upon between the manufacturer and the user.

5.5 Voltage test between terminals

5.5.1 General

Tests shall be carried out according to the following Table 1.

Table 1 – Test voltage between terminals

	AC capacitors	DC capacitors	
	All types	Non-self-healing	Self-healing
AC test voltage r.m.s. value	$1,5 U_N$	–	–
DC test voltage	$2,15 U_N$	$2 U_{NDC}$	$1,5 U_{NDC}$

The test voltage indicated in Table 1 can be reduced if capacitors are intended for intermittent duty (see 3.27) or for short service duration; the new values shall be agreed upon between the manufacturer and the user.

NOTE The a.c. test voltage may be at a frequency of 50 Hz or 60 Hz.

5.5.2 Routine test

Every capacitor shall be subjected for 10 s to either test of 5.5.1 at ambient temperature. The choice is left to the manufacturer. During the test, neither puncture nor flashover shall occur.

Self-healing breakdowns are permitted.

The duration may be reduced to 2 s provided the voltage is increased by 10 %.

In the case of units with all elements in parallel, operation of internal element fuse(s) is permitted, provided the capacitance tolerances are still met.

NOTE The routine test is intended to be applied once. If repeated it should be carried out at 90 % of the original value unless agreed differently otherwise by the manufacturer.

5.5.3 Type test

The capacitor shall be subjected for 1 min to either test of 5.5.1.

The choice is left to the manufacturer.

After the voltage test between terminals the capacitance and $\tan \delta$ shall be measured.

5.6 Essai de tension en courant alternatif entre les bornes et le boîtier

5.6.1 Essai individuel

Les unités, dont toutes les bornes sont isolées du boîtier, doivent être soumises pendant 10 s à une tension appliquée entre les bornes (raccordées entre elles) et le boîtier.

Les tensions d'essai sont les suivantes:

$$U_{t\text{-cuve}} = 2 U_i + 1\,000 \text{ V ou } 2\,000 \text{ V, la valeur la plus élevée étant applicable,}$$

où U_i est la tension d'isolement.

La durée peut être réduite à 2 s, mais la tension doit alors être augmentée de 10 %.

La tension d'isolation du condensateur doit être spécifiée par l'utilisateur. Elle est égale à la tension assignée du condensateur divisée par $\sqrt{2}$, sauf spécification contraire.

Pendant l'essai, aucune perforation ni contournement ne doit apparaître. L'essai doit être effectué même si, dans l'utilisation, une borne est destinée à être reliée au boîtier.

Les unités n'ayant qu'une seule borne connectée en permanence au boîtier ne doivent pas subir cet essai.

Les unités ayant des boîtiers isolés ne doivent pas être soumises à cet essai.

NOTE 1 Si le condensateur (avec un boîtier métallique) est équipé d'un détecteur de surpression externe, il est recommandé que les bornes du détecteur soient raccordées entre elles et connectées au boîtier.

NOTE 2 Il est recommandé que l'essai de tension entre le détecteur de surpression et le boîtier fasse l'objet d'un accord entre l'acheteur et le fabricant.

NOTE 3 Cet essai peut être réalisé deux fois maximum sur le même condensateur.

5.6.2 Essai de type

Les unités, dont toutes les bornes sont isolées du boîtier, doivent être soumises à un essai suivant 5.6.1, avec la même valeur de tension, mais avec une durée de 1 min. Les condensateurs avec un boîtier d'isolation doivent avoir une feuille métallique bien enroulée sur elle-même durant l'essai. La feuille doit être connectée à l'une des bornes de l'alimentation de l'essai.

5.7 Essais du dispositif interne de décharge

La résistance du dispositif interne de décharge, s'il existe, doit être contrôlée par une mesure de résistance ou bien par la mesure du taux d'autodécharge.

L'essai doit être fait après les essais de tension donnés en 5.5.

5.8 Essai d'étanchéité

L'unité (dans un état non peint) doit être exposée à un essai qui détectera effectivement toute fuite du boîtier et des bornes. La procédure d'essai est laissée au fabricant qui doit décrire la méthode concernée.

Si aucune procédure n'est précisée par le fabricant, la procédure d'essai suivante doit être appliquée.

5.6 AC voltage test between terminals and case

5.6.1 Routine test

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

The test voltage values are the following:

$$U_{t\text{-case}} = 2 U_i + 1\,000 \text{ V or } 2\,000 \text{ V whichever is the highest value,}$$

where U_i is the insulation voltage.

The duration may be reduced to 2s provided the voltage is increased by 10 %.

The insulating voltage of the capacitor shall be specified by the user. The insulation voltage is equal to the rated voltage of the capacitor, divided by $\sqrt{2}$, unless otherwise specified.

During the test, neither puncture nor flashover shall occur. The test shall be performed even if one of the terminals is intended to be connected to the container in service.

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

Units having insulated containers shall not be subjected to this test.

NOTE 1 If the capacitor (with metal container) is equipped with an external overpressure detector, the terminals of the detector should be joined together and connected to the container.

NOTE 2 The voltage test between the overpressure detector and the container should be agreed between user and manufacturer.

NOTE 3 This test can be carried out a maximum of two times on the same capacitor.

5.6.2 Type test

Units having all terminals insulated from the container shall be subjected to a test according to 5.6.1 with the same voltage value, but with a duration of 1 min. Capacitors with insulating container shall have a metal foil tightly wrapped all around them during the test. The foil shall be connected to one terminal of the test supply.

5.7 Test of internal discharge device

The resistance of the internal discharge device, if any, shall be checked either by resistance measurement or by measuring the self-discharge rate.

The test shall be made after the voltage tests of 5.5.

5.8 Sealing test

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

If no procedure is stated by the manufacturer the following test procedure shall apply.

Le condensateur hors tension doit être échauffé à une température uniforme au moins égale à la température maximale de fonctionnement, augmentée de 5 °C, et doit être maintenu à cette température au moins trois fois la constante de température, et pas moins de 2 h.

Il ne doit pas se produire de fuite. Il est recommandé d'utiliser un indicateur approprié.

L'origine de la fuite du condensateur doit être détectable par contrôle visuel.

La position d'essai du condensateur doit être définie en accord entre le fabricant et l'utilisateur, en prenant en compte la position d'usage du dispositif.

NOTE Si le condensateur ne contient aucun matériau liquide, le choix de réaliser ou non cet essai est laissé au fabricant et il est recommandé qu'il soit réalisé par échantillonnage.

5.9 Essai de décharge

Le condensateur unitaire doit être chargé à courant continu, puis déchargé à travers un dispositif de court-circuit situé aussi près que possible du condensateur. Il doit être soumis à cinq décharges de ce type en 10 min.

La tension d'essai doit être de $1,1 U_{NDC}$.

Dans les 5 min après cet essai, les condensateurs unitaires sont soumis à un essai de tension entre bornes (voir 5.5).

La capacité doit être mesurée avant l'essai de décharge et après l'essai de tension.

Les résultats de ces mesures ne doivent pas faire apparaître de variation pouvant indiquer qu'un élément a été perforé ou déconnecté par un coupe-circuit interne.

Pour les condensateurs auto-cicatrisants, la variation de capacité doit être inférieure à ± 1 %.

Les formules suivantes doivent être contrôlées: $\tan \delta \leq 1,2 \times \tan \delta_0 + 1 \times 10^{-4}$.

Tan δ est la valeur après l'essai, tan δ_0 avant l'essai.

Dans le cas où cependant un courant maximal de décharge est spécifié, le courant de décharge doit être ajusté par la tension de charge et par l'impédance du circuit de décharge à une valeur de:

$$\hat{I}_{\text{essai}} = 1,1 \hat{I}_s$$

5.10 Essai de stabilité thermique

5.10.1 Généralités

Cet essai est conduit tant sur les condensateurs à courant alternatif que sur les condensateurs à courant continu; il donne les informations suivantes sur le condensateur auquel il est appliqué:

- il permet de vérifier la stabilité thermique du condensateur en conditions de surcharge;
- il assure un conditionnement du condensateur qui permet de mesurer les pertes de façon reproductible.

Unenergized capacitor units shall be heated to a uniform temperature of at least their maximum operating temperature plus 5 °C and shall be maintained at this temperature for at least three times the thermal constant, but not less than 2 h.

No leakage shall occur. It is recommended that a suitable indicator be used.

Leakage source of the capacitor shall be detectable by visual inspection.

The test position of the capacitor unit shall be defined by agreement between the manufacturer and the user, taking into account the use position of the device.

NOTE If the capacitor contains no liquid material, the choice to carry out this test or not is left to the manufacturer and it should be carried out by sampling.

5.9 Surge discharge test

The units shall be charged by means of a d.c. source and then discharged through a short-circuiting device situated as close as possible to the capacitor. They shall be subjected to five such discharges within 10 min.

The test voltage shall be equal to $1,1 U_{NDC}$

Within 5 min after this test, the units shall be subjected to a voltage test between terminals (see 5.5).

The capacitance shall be measured before the (surge) discharge test and after the voltage test.

The two measurements shall not differ more than an amount corresponding either to breakdown of an element or to blowing of an internal fuse.

For self-healing capacitors, the change of capacitance shall be less than ± 1 %.

The following formula shall be checked: $\tan \delta \leq 1,2 \times \tan \delta_0 + 1 \times 10^{-4}$.

Tan δ is the value after the test, tan δ_0 before the test.

If, however, a maximum surge current is specified, the discharge current shall be adjusted by variation of the charging voltage and the impedance of the discharge circuit to a value of:

$$\hat{I}_{\text{test}} = 1,1 \hat{I}_s$$

5.10 Thermal stability test

5.10.1 General

This test is performed on both a.c. and d.c. capacitors and provides the following information about the capacitors subjected to it:

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

5.10.2 Modalités de mesures

Un condensateur unitaire doit être placé dans une enceinte où la température du fluide de refroidissement doit être :

- a) pour le refroidissement naturel, la température indiquée par le fabricant (θ_{amb}) +5 °C;
- b) pour un refroidissement forcé, la température spécifiée de sortie du fluide de refroidissement +5 °C.

Dès que toutes les parties du condensateur ont atteint la température du fluide de refroidissement, le condensateur doit être soumis pendant une durée d'au moins 48 h à une tension à courant alternatif de forme pratiquement sinusoïdale.

La valeur de la tension et celle de la fréquence doivent être maintenues constantes pendant tout l'essai.

Les conditions de charge sont celles qui sont indiquées à l'Annexe B avec une puissance égale à $1,21 P_{max}$.

Durant les 6 dernières heures, la température en partie haute du boîtier doit être mesurée au moins quatre fois; tout au long de cette période de 6 h, l'augmentation de température ne doit pas dépasser plus de 1 K.

Si une variation plus grande est observée, l'essai peut être poursuivi jusqu'à ce que les exigences ci-dessus soient respectées pendant quatre mesures successives, sur une période de 6 h.

Avant et après l'exécution de l'essai, la capacité doit être mesurée dans la gamme des températures données en 5.1.2 et les résultats de ces deux mesures doivent être affectés d'un facteur de correction afin d'être ramenés à une même température du diélectrique.

La différence entre ces deux mesures ne doit pas faire apparaître de variation pouvant indiquer qu'un élément a été perforé ou déconnecté par un coupe-circuit interne. A la fin de cet essai, la mesure de la $\tan \delta$ est effectuée (voir 5.4.1).

NOTE 1 Lorsque l'on s'assure que les conditions de température ou de pertes du condensateur sont remplies, il est recommandé de tenir compte des fluctuations de la tension, de la fréquence et de la température du fluide de refroidissement au cours de l'essai. A ces fins, il est conseillé de tracer la courbe de variation, en fonction du temps, de ces paramètres et de la température du boîtier.

NOTE 2 L'essai peut être réalisé, en accord avec le fabricant et l'utilisateur, avec une tension non sinusoïdale, pourvu que la valeur de la puissance des pertes reste à $1,21 P_{max}$.

5.11 Essai d'auto-cicatrisation

Cet essai est applicable seulement aux condensateurs auto-cicatrisants et peut être effectué sur une unité complète, sur un élément séparé ou sur un groupe d'éléments faisant partie de l'unité, pourvu que les éléments en essai soient identiques à ceux qui sont utilisés dans l'unité et que leurs conditions soient semblables à celles qu'ils ont dans l'unité. Le choix est laissé au fabricant.

Le condensateur ou l'élément doit être soumis durant 10 s à une tension à courant continu: 1,1 fois la surtension non récurrente (U_s), ou égale à la tension d'essai individuel ($1,5 U_N$ pour les condensateurs à courant alternatif, $1,5 U_{NDC}$ pour les condensateurs à courant continu), en choisissant la plus élevée.

S'il se produit moins de cinq perforations pendant cette période, la tension doit être augmentée lentement jusqu'à ce que cinq perforations aient lieu à compter du début de l'essai, ou jusqu'à ce que la tension ait atteint 2,5 fois la tension assignée.

5.10.2 Measuring procedure

One capacitor unit shall be placed in an enclosure where the cooling temperature shall be:

- a) for natural cooling, that indicated by the manufacturer (θ_{amb}) + 5 °C;
- b) for forced cooling, the specified outlet cooling temperature + 5 °C.

After all parts of the capacitor have attained the temperature of the cooling medium, the capacitor shall be subjected for a period of at least 48 h to an a.c. voltage of substantially sinusoidal form.

The value of the voltage and frequency shall be kept constant through the test.

The supply conditions are those indicated in Annex B with the equal power to $1,21 P_{max}$.

During the last 6 h, the temperature of the case 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 may be continued until the above requirement is met for four consecutive measurements during a 6 h period.

Before and after the test, the capacitance shall be measured within the temperature range given in 5.1.2 for testing, 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. At the end of this test, the $\tan \delta$ measurement is performed (see 5.4.1).

NOTE 1 When checking whether the capacitor losses or the temperature conditions are satisfied, fluctuations of voltage, frequency and cooling medium temperature during the test should be taken into account. For this reason, it is advisable to plot these parameters and the case temperature as a function of time.

NOTE 2 The test may be performed, on agreement between the manufacturer and the user, with a non-sinusoidal voltage, provided the value of power loss remains at $1,21 P_{max}$.

5.11 Self-healing test

This test is applicable only to self-healing capacitors and may be carried out on a complete unit, on a separate element or on a group of elements that are part of the unit, provided the elements under test are identical to those used in the unit and their conditions are similar to those in the unit. The choice is left to the manufacturer.

The capacitor or element shall be subjected for 10 s to a d.c. voltage: 1,1 times of the non-recurrent/surge voltage (U_s), or equal to the routine test voltage ($1,5 U_N$ for a.c. capacitors, $1,5 U_{NDC}$ for d.c. capacitors) whichever is higher.

If fewer than five clearings occur during this time, the voltage shall be increased slowly until five clearings have occurred since the start of the test or until the voltage has reached 2,5 times the rated voltage.

S'il s'est produit moins de cinq perforations alors que la tension a atteint $2,5 U_N$, pendant une durée de 10 s, l'essai doit être arrêté.

Avant et après l'essai, la capacité et la $\tan \delta$ doivent être mesurées. Aucune modification de la capacité égale/supérieure à 0,5 % ne doit être autorisée.

Les formules suivantes doivent être contrôlées: $\tan \delta \leq 1,1 \tan \delta_0 + 1 \times 10^{-4}$.

Tan δ est la valeur après l'essai, $\tan \delta_0$ est la valeur avant l'essai.

5.12 Mesure de la fréquence de résonance

La fréquence de résonance doit être mesurée dans la gamme des températures selon 5.1.2 en utilisant une méthode qui minimise les erreurs dues aux connexions et aux accessoires.

La méthode de mesure appropriée peut être choisie parmi les deux exemples donnés à l'Annexe C.

Cette mesure n'est pas nécessaire pour toutes les applications.

NOTE 1 L'inductance propre est calculée à partir de la fréquence de résonance et il est recommandé que la valeur de l'inductance propre ne dépasse pas la valeur sur laquelle le fabricant et l'utilisateur se sont mis d'accord.

NOTE 2 Les matériels modernes peuvent exiger que le condensateur ait une très petite inductance propre pour un fonctionnement correct.

5.13 Essais d'environnement

5.13.1 Variations de température

La variation de température de l'essai doit être réalisée selon l'essai Na ou Nb de la CEI 60068-2-14, selon accord entre l'utilisateur et le fabricant sur les limites supérieure et inférieure de température du condensateur.

L'essai Nb doit être réalisé avec une période de transition d'environ 1 h (1 K/min).

5.13.2 Essai continu de chaleur humide

L'essai continu de chaleur humide (essai Ca) doit être réalisé selon la CEI 60068-2-78 avec un degré de sévérité en accord avec la catégorie d'emplacement du condensateur. Avant de commencer l'essai à long terme, la capacité doit être mesurée à la température de la pièce. Après réalisation de l'essai continu, le condensateur doit être soumis à un essai de tension entre ses bornes selon 5.5.1, et de rigidité diélectrique entre ses bornes et le boîtier selon 5.6.1.

Enfin, une mesure de capacité doit être réalisée selon 5.3.1 à température ambiante stable.

Aucun échantillon d'essai ne doit subir de perforation ou de contournement. Les perçages auto-cicatrisants sont autorisés. La variation de capacité ne doit pas excéder 2 %.

5.14 Essais mécaniques

5.14.1 Essais mécaniques des bornes

La robustesse des bornes doit être testée selon le Tableau 2.

If fewer than five clearings have occurred when the voltage has reached $2,5 U_N$, for a time of 10 s, the test shall be finished.

Before and after the test, the capacitance and $\tan \delta$ shall be measured. No change of the capacitance equal/higher than 0,5 % shall be permitted.

The following formula shall be checked: $\tan \delta \leq 1,1 \tan \delta_0 + 1 \times 10^{-4}$.

$\tan \delta$ is the value after the test, $\tan \delta_0$ is the value before the test.

5.12 Resonance frequency measurement

The resonance frequency shall be measured within the temperature range according to 5.1.2, using a method that minimizes errors due to connections and accessories.

The appropriate measuring method may be chosen from the two examples given in Annex C.

This measurement is not necessary for all applications.

NOTE 1 The self inductance is calculated from the resonance frequency and the value of self inductance should not exceed the value agreed upon between the manufacturer and the user.

NOTE 2 Modern equipments can require the capacitor to have very low self inductance for correct operation.

5.13 Environmental testing

5.13.1 Change of temperature

The change of temperature test shall be carried out in accordance with test Na or Nb of IEC 60068-2-14, on agreement between user and manufacturer with the upper and lower limit temperature of the capacitor.

Test Nb shall be carried out with a transition time of about 1 h (1 K/min).

5.13.2 Damp heat, steady state

The damp heat steady-state test (test Ca) shall be carried out in accordance with IEC 60068-2-78 with a degree of severity in accordance with location category of the capacitor. Before the start of the long-term test, the capacitance shall be measured at room temperature. After completion of the steady-state test, the capacitor shall be subjected to a voltage test between terminals in accordance with 5.5.1, and a voltage test between terminals and container in accordance with 5.6.1.

Finally a capacitance measurement shall be carried out in accordance with 5.3.1 at stable room temperature.

No test sample shall suffer puncturing or flashover. Self-healing punctures are permitted. The change in capacitance shall not exceed 2 %.

5.14 Mechanical testing

5.14.1 Mechanical tests of terminals

The robustness of terminations shall be tested in accordance with Table 2.

Tableau 2 – Essais de robustesse des bornes

N°	Essais et mesures	Performance	Critères d'essai
1	Rigidité de traction des câbles de connexion et des connexions soudées	CEI 60068-2-21	Ua1 Individuel avec le poids du condensateur, au moins 10 N
2	Souplesse des connexions		Ub1 Nombre de cycles de flexion: 2
3	Souplesse des soudures et cosses enfichables à plat		Ub2 Nombre de cycles de flexion, pour les cosses soudées avec fils de connexion aussi: 2
4	Résistance de torsion des connexions axiales		Uc Sévérité 2
5	Résistance de couple des éléments vissés et boulonnés		Ud Sévérité 2
6	Qualité de la soudure et résistance à la chaleur des connexions soudées	CEI 60068-2-20	Fer à souder à 350 °C Dimension A

5.14.2 Contrôle externe

Les condensateurs sont visuellement examinés et contrôlés quant à leur finition et leur marquage et leurs dimensions.

5.14.3 Vibration et chocs

Cet essai doit être réalisé uniquement à la demande de l'utilisateur et en accord avec le fabricant.

a) Vibration, selon la CEI 60068-2-6

- 1) Pour les condensateurs dont la masse n'excède pas 3 kg:

$$f = 10 \text{ Hz à } 55 \text{ Hz}$$

$$a = \pm 0,35 \text{ mm}$$

La durée de l'essai par axe = 10 fois le cycle de fréquence (les trois axes sont à 90° les uns des autres), 1 octave/min.

- 2) Pour les condensateurs de poids supérieur à 3 kg: le choix des conditions d'essai doit être réalisé en accord avec le fabricant et l'utilisateur.

b) Chocs: le choix des conditions d'essai doit être réalisé en accord avec le fabricant et l'utilisateur.

Avant et après les essais mécaniques, la capacité doit être mesurée. Aucune modification de la capacité égale/supérieure à 0,5 % ne doit être autorisée.

5.15 Essai d'endurance

L'objectif de l'essai d'endurance est de démontrer les performances du condensateur avec les conditions qu'il aura lors de son utilisation in situ.

L'essai d'endurance doit être exécuté sur une unité complète ou sur un condensateur modèle.

5.15.1 Conditionnement des condensateurs avant l'essai

Le condensateur doit être soumis à 1,1 U_N dans l'air calme à une température qui ne doit pas être inférieure à +10 °C pendant une durée comprise entre 16 h et 24 h.

NOTE Cette procédure est laissée au choix du fabricant.

Table 2 – Testing the robustness of terminals

No.	Tests or measurements	Performance		Test criteria
1	Tensile strength of connecting cables and soldered connections	IEC 60068-2-21	Ua1	Individual with capacitor weight, at least 10 N
2	Flexural strength of connections		Ub1	Number of flexing cycles: 2
3	Flexural strength of soldering and flat plug lugs		Ub2	Number of bending cycles, for soldered lugs with connected wire also: 2
4	Torsion resistance of axial connections		Uc	Severity 2
5	Torque resistance of screwed and bolted elements		Ud	Severity 2
6	Solderability and heat resistance of soldered connections	IEC 60068-2-20		Soldering iron at 350 °C Size A

5.14.2 External inspection

Capacitors are visually examined and checked for finish, marking and overall dimensions.

5.14.3 Vibration and shocks

This test shall be performed only at the request of the user and agreed with the manufacturer.

a) Vibration, in accordance with IEC 60068-2-6

1) For capacitors of weight not exceeding 3 kg:

$$f = 10 \text{ Hz to } 55 \text{ Hz}$$

$$a = \pm 0,35 \text{ mm}$$

Test duration per axis = 10 frequency cycles (3 axes offset from each other by 90°), 1 octave/min.

2) For capacitors whose weight exceeds 3 kg: the choice of the test condition shall be agreed between the manufacturer and user.

b) Impacts: the choice of the test condition shall be agreed between the manufacturer and user.

Before and after the mechanical tests, the capacitance shall be measured. No change of the capacitance equal to/higher than 0,5 % shall be permitted.

5.15 Endurance test

The purpose of the endurance test is to demonstrate the performance of the capacitor under the conditions which will actually occur in service.

The endurance test shall be performed on a complete unit or model capacitor.

5.15.1 Conditioning of the units before the test

The unit shall be exposed to 1,1 times U_N in still air at a temperature of not less than +10 °C for 16 h to 24 h.

NOTE This procedure is left to the choice of the manufacturer.

5.15.2 Mesures de la capacité initiale et du facteur de pertes

L'unité doit être placée pendant au moins 12 h hors tension dans une chambre ventilée à la température de (30 ± 2) °C.

Les mesures doivent être faites conformément à 5.3, à la même température ambiante, 5 min après l'application de la tension.

5.15.3 Essai d'endurance

La chambre d'essai doit être chauffée à une température proche de la température d'essai.

Le condensateur d'essai doit être placé dans la chambre chauffée et sous tension dans des conditions appropriées comme indiqué dans le Tableau 3. Les condensateurs à courant alternatif et continu doivent être soumis à l'essai approprié tel que décidé par le fabricant. Lorsque le condensateur a atteint la température d'essai, les conditions de refroidissement/chauffage sont ajustées de telle façon que la stabilisation est atteinte à cette température d'essai. Après cette stabilisation initiale, plus aucune modification de la température de refroidissement/chauffage n'est autorisée.

La température d'essai est la température du boîtier maximale (θ_{max}) durant les conditions maximales de fonctionnement en continu, par exemple en excluant des conditions de courte durée et exceptionnelles.

La tension d'essai U_t (tension à courant continu pur ou à courant alternatif sinusoïdal avec une tension crête égale à U_N multipliée par le facteur d'accélération) doit être appliquée. Une durée différente de facteur d'accélération/d'essai peut être sélectionnée selon le Tableau 3. Le choix est laissé au fabricant. A la moitié de l'essai d'endurance, le condensateur doit être réalimenté, refroidi avec un air calme à la température ambiante, et soumis à 1 000 décharges comme en 5.9, mais avec un courant crête de $1,4 \hat{I}$, où \hat{I} est le courant crête maximal (voir 3.20).

La fréquence des décharges doit être fixée par le fabricant.

Dès que possible, les condensateurs doivent être mis sous tension à nouveau afin de compléter l'essai.

Tableau 3 – Essai d'endurance

Type de condensateur	U_t	Etapas de l'essai	Température	Durée ou nombre de décharges
A courant continu	$1,4 U_{NDC}$	$1,4 U_{NDC}$	Température d'essai	250 h
		$1,4 \hat{I}$	Température de la pièce	1 000 fois
		$1,4 U_{NDC}$	Température d'essai	250 h
	$1,3 U_{NDC}$	$1,3 U_{NDC}$	Température d'essai	500 h
		$1,4 \hat{I}$	Température de la pièce	1 000 fois
		$1,3 U_{NDC}$	Température d'essai	500 h
A courant alternatif	$1,35 U_N$ (voir Note 1)	$1,35 U_N$	Température d'essai	250 h
		$1,4 \hat{I}$	Température de la pièce	1 000 fois
		$1,35 U_N$	Température d'essai	250 h
	$1,25 U_N$ (voir Note 1)	$1,25 U_N$	Température d'essai	500 h
		$1,4 \hat{I}$	Température de la pièce	1 000 fois
		$1,25 U_N$	Température d'essai	500 h

NOTE 1 Les conditions durant l'essai peuvent être différentes de celles de service, par exemple 50 Hz ou 60 Hz pour tous les condensateurs à courant alternatif.

NOTE 2 Un refroidissement supplémentaire peut être utilisé si la température du boîtier dépasse θ_{max} .

NOTE 3 Les condensateurs d'amortissement pour thyristors blocables (GTO), après accord entre l'utilisateur et le fabricant, peuvent être testés avec une tension d'ondulation (unidirectionnelle) $U_t = U_r = (1,25 \text{ ou } 1,35) U_N$ comme pour les condensateurs à courant alternatif.

5.15.2 Initial capacitance and loss factor measurements

The unit shall be placed for at least 12 h in an unenergized state in a ventilated chamber, having a temperature of $(30 \pm 2) ^\circ\text{C}$.

The measurements shall be performed as for 5.3 at the same ambient temperature, 5 min after the voltage application.

5.15.3 Endurance test

The test chamber shall be heated to a temperature close to the test temperature.

The test unit shall be placed in the heated chamber and energized at the appropriate conditions as described in Table 3. AC and d.c. capacitors shall be subjected to the appropriate test as decided by the manufacturer. When the unit has achieved the test temperature, the cooling/heating conditions are adjusted so that stabilization is achieved at this test temperature. After this initial stabilization no changes in cooling/heating temperature are permitted.

The test temperature is the maximum case temperature (θ_{\max}) during maximum continuous operating condition, i.e. excluding short time and exceptional conditions.

The test voltage U_t (pure d.c. or a.c. sinusoidal voltage with a peak voltage equal to U_{NDC} or U_{N} multiplied by the acceleration factor) shall be applied. A different acceleration factor/test duration can be selected according to Table 3. The choice is left to the manufacturer. Half way through the endurance test the capacitor shall be de-energized, cooled in still air at the ambient temperature, and subjected to 1 000 discharges as for 5.9, but with a peak current of $1,4 \hat{I}$, where \hat{I} is the maximum peak current (see 3.20).

The frequency of the discharges shall be decided by the manufacturer.

As soon as possible, the capacitors shall be energized again in order to complete the test.

Table 3 – Endurance test

Type of capacitor	U_t	Test steps	Temperature	Duration or number of discharges
DC	$1,4 U_{\text{NDC}}$	$1,4 U_{\text{NDC}}$	Test temperature	250 h
		$1,4 \hat{I}$	Room temperature	1 000 times
		$1,4 U_{\text{NDC}}$	Test temperature	250 h
	$1,3 U_{\text{NDC}}$	$1,3 U_{\text{NDC}}$	Test temperature	500 h
		$1,4 \hat{I}$	Room temperature	1 000 times
		$1,3 U_{\text{NDC}}$	Test temperature	500 h
AC	$1,35 U_{\text{N}}$ (see Note 1)	$1,35 U_{\text{N}}$	Test temperature	250 h
		$1,4 \hat{I}$	Room temperature	1 000 times
		$1,35 U_{\text{N}}$	Test temperature	250 h
	$1,25 U_{\text{N}}$ (see Note 1)	$1,25 U_{\text{N}}$	Test temperature	500 h
		$1,4 \hat{I}$	Room temperature	1 000 times
		$1,25 U_{\text{N}}$	Test temperature	500 h

NOTE 1 The conditions during this test may be different to the service conditions, e.g. 50 Hz or 60 Hz for all a.c. capacitors.

NOTE 2 Additional cooling may be used if the temperature of the case exceeds θ_{\max} .

NOTE 3 Damping capacitors for gate turn off thyristors (GTO) on agreement between the user and the manufacturer can be tested with a ripple voltage (unidirectional) $U_t = U_r = (1,25 \text{ or } 1,35) U_{\text{N}}$ as for a.c. capacitors.

5.15.4 Capacité finale et mesure de la $\tan \delta$

La mesure doit être effectuée comme indiqué à l'Article 5 dans les deux jours qui suivent l'essai d'endurance.

5.15.5 Critères d'acceptation

La mesure de capacité réalisée aux Articles 5 et 7 ne doit pas différer de plus de 3 % des valeurs initiales. Les pertes doivent être enregistrées.

Si une unité/un condensateur a claqué, l'essai est répété sur un nouveau condensateur et aucun claquage n'est autorisé.

5.16 Essai de destruction

5.16.1 Généralités

Cet essai est réalisé pour donner une indication du comportement du condensateur et pour vérifier le travail propre au système de sécurité au sein des limites de spécification. Un claquage complètement sûr durant l'essai ne peut être garanti.

L'essai doit être appliqué seulement aux condensateurs protégés (voir 8.1.1) avec n'importe quel système de sécurité. Toutefois, il convient que les notes suivantes soient prises en compte.

Les condensateurs non auto-cicatrisants protégés par des fusibles internes doivent satisfaire aux exigences de 5.17. Pour ce type de condensateurs, la satisfaction aux exigences de 5.17 est considérée équivalente à celle de 5.16.

Les condensateurs sans dispositif de déconnexion mais avec, ou destinés à fonctionner avec un détecteur de surpression, doivent être soumis à cet essai et doivent être repérés par l'indication «Fonctionnement de sécurité uniquement avec un détecteur de surpression».

NOTE Comme les conditions réelles peuvent être significativement différentes en service, le comportement en fin de vie peut également être différent. Il convient que l'énergie stockée, le courant de court-circuit prévisible, le courant de claquage (et le reste) soient considérés dans l'application. La satisfaction aux exigences de 5.16 n'est pas une garantie de fin de vie sûre du condensateur.

L'essai de destruction doit être réalisé selon le type du système de sécurité et de l'application principal des condensateurs, d'après le Tableau 4. Réaliser l'essai en appliquant des cycles courant continu-courant alternatif ou courant continu-courant continu est au choix du fabricant. Après le claquage, le temps pour déconnecter le condensateur de l'alimentation doit être donné par le fabricant.

Tableau 4 – Essai de destruction en fonction du type de système de sécurité

Type du condensateur	Système de sécurité	Application principale	Paragraphe de l'essai
Auto-cicatrisant	1. Détecteur de surpression	A courant alternatif	5.16.2
		A courant continu	5.16.3
	2. Déconnecteur de surpression	A courant alternatif	5.16.2
		A courant continu	5.16.3
	3. Motif de métallisation segmentée ou non segmentée	A courant continu/à courant alternatif	5.16.3
	Non auto-cicatrisant	1. Détecteur de surpression	A courant alternatif
A courant continu			5.16.3
2. Coupe-circuit internes		A courant alternatif	5.17

5.15.4 Final capacitance and $\tan \delta$ measurement

The measurement shall be performed as indicated in Clause 5 within two days after completing the endurance test.

5.15.5 Acceptance criteria

The capacitance measurement performed in Clauses 5 and 7 shall differ by not more than 3 % of the initial values. The losses shall be reported.

If the unit/capacitor has failed, the test is repeated and no more failures are permitted.

5.16 Destruction test

5.16.1 General

This test is performed to give an indication of the behaviour of the capacitor and to prove the proper work of the safety system within the specification limits. Completely safe failure during this test cannot be guaranteed.

This test shall be applied only to protected capacitors (see 8.1.1) with any safety system. However, the following notes should be taken into account.

The non-self-healing capacitors protected by internal fuses shall comply with 5.17. For this kind of capacitors, complying with 5.17 is considered equivalent as with 5.16.

Capacitors without disconnection device but with, or intended for service with, an overpressure detector shall be subjected to this test, and shall be marked "Safe operation only with overpressure detector".

NOTE As the actual conditions can be significantly different in service, the behaviour at the end of life may also be different. Stored energy, expected short-circuit current, duration of failure current (and so on) should be considered in the application. Compliance with 5.16 does not guarantee safe end of life of a capacitor.

The destruction test shall be carried out related to the type of safety system and to the main application of capacitors, according to Table 4. Performing of the test by applying d.c.-a.c. cycles or d.c.-d.c. cycles is at the choice of the manufacturer. After a failure the time to switch off the capacitor from the power supply shall be given by the manufacturer.

Table 4 – Destruction test as a function of type of safety system

Type of unit	Safety system	Main application	Test subclause
Self-healing	1. Overpressure detector	AC	5.16.2
		DC	5.16.3
	2. Overpressure disconnecter	AC	5.16.2
		DC	5.16.3
	3. Segmented or unsegmented metallization design	DC/AC	5.16.3
	Non-self-healing	1. Overpressure detector	AC
DC			5.16.3
2. Internal fuses		AC	5.17

5.16.2 Déroulement de l'essai pour les condensateurs à courant alternatif

L'essai doit être effectué sur un condensateur unitaire.

Quand cela est spécifié par le fabricant, un condensateur qui a satisfait à l'essai d'endurance peut être utilisé.

Le principe de l'essai est de provoquer des claquages d'éléments par une alimentation à courant continu de grande impédance interne et de contrôler ensuite le comportement du condensateur sous une tension alternative. Le claquage des condensateurs non auto-cicatrisants sans coupe-circuit internes peut être provoqué conformément aux procédures de 5.17.4. Le choix est laissé au fabricant. Le condensateur doit être placé dans une étuve à circulation d'air ayant une température égale à la température maximale de l'air ambiant correspondant à la température de fonctionnement du condensateur.

Lorsque toutes les parties du condensateur ont atteint la température du four, le déroulement de l'essai suivant doit être suivi avec le circuit donné à la Figure 1. Au lieu du coupe-circuit de la Figure 1, si le condensateur est protégé par un détecteur de surpression, un disjoncteur commandé par le détecteur de surpression est utilisé.

- a) Les commutateurs H et K étant respectivement dans les positions 1 et «a», la source de tension alternative N est réglée à une tension de $1,3 U_N$ et le courant du condensateur est noté.
- b) La source de tension continue T est réglée à la valeur de tension et du courant de court-circuit, déclarée par le fabricant; le commutateur H est alors mis sur la position 2.
- c) Le commutateur H est mis sur la position 3 et le commutateur K sur la position «b» afin d'appliquer au condensateur la tension d'essai continue qui est maintenue pour une période donnée, comme déclaré par le fabricant.
- d) Le commutateur K est alors remis sur la position «a» pour appliquer au condensateur la tension d'essai alternative pendant 5 min, le courant du condensateur étant de nouveau noté.

Les situations suivantes peuvent être obtenues:

- 1) L'ampèremètre I et le voltmètre U indiquent tous deux zéro: dans ce cas le coupe-circuit ou l'état du détecteur de surpression doit être contrôlé. S'il y a eu coupure, le coupe-circuit doit être remplacé. Ensuite, le condensateur est mis sous tension N et s'il se produit une nouvelle coupure ou si le détecteur de surpression a agi, l'essai est interrompu.
S'il n'y a pas eu de coupure ou si le détecteur de surpression n'a pas agi, on poursuit l'essai consistant à appliquer au condensateur une tension T et N tel qu'il est exigé aux points c) et d) en utilisant seulement le commutateur K.
- 2) Le courant indiqué par l'ampèremètre I est nul et le voltmètre U indique $1,3 U_N$.
Dans ce cas, l'essai est interrompu.
- 3) L'ampèremètre I indique un courant non nul. Dans ce cas, l'essai est poursuivi comme exigé aux points b), c) et d).

Si, après avoir répété l'essai plusieurs fois, la capacité reste non nulle ou supérieure à 10 % de la valeur initiale dans le cas de condensateurs auto-cicatrisants avec motif segmenté ou non segmenté, un nouvel échantillon peut être utilisé, et/ou la tension et la durée d'essai peuvent être augmentées, ou le condensateur doit être soumis à une surpression de fonctionnement externe jusqu'à l'activation du déconnecteur ou du détecteur de surpression. La valeur de cette pression doit être donnée par le fabricant.

Lorsque l'essai est interrompu, le condensateur est refroidi à la température ambiante et l'essai de tension entre les bornes et la cuve est effectué conformément à 5.5 et 5.6. Dans le cas du fonctionnement d'un détecteur de surpression, aucun essai de tension entre les bornes n'est requis. L'état du détecteur après le refroidissement à la température ambiante doit être noté.

5.16.2 Test sequence for a.c. capacitors

The test shall be carried out on a capacitor unit.

When specified by the manufacturer, a capacitor which has passed the endurance test may be used.

The principle of the test is to promote failures in the element(s) by a high internal impedance d.c. power supply, and subsequently to check the behaviour of the capacitor when an a.c. voltage is applied. The failure of non-self-healing capacitors without internal fuses may be promoted according to the procedures of 5.17.4. The choice is left to the manufacturer. The capacitor shall be mounted in a circulating air oven having a temperature equal to the maximum ambient air temperature of the operating temperature of the capacitor.

When all the capacitor parts have reached the temperature of the oven, the following test sequence shall be performed with the circuit given in Figure 1. Instead of the fuse in figure 1, if the capacitor is protected by the overpressure detector, a circuit breaker is used which is controlled by the overpressure detector.

- a) With the selector switches H and K in position 1 and "a" respectively, the a.c. voltage source N is set to $1,3 U_N$ and the capacitor current is recorded.
- b) The d.c. voltage source T is set at the voltage and short-circuit current value stated by the manufacturer; the switch H is then set to position 2.
- c) Switch H is set to position 3 and switch K to position "b" in order to apply the d.c. test voltage to the capacitor which is maintained for a given period, as stated by the manufacturer.
- d) Switch K is then set to position "a" again in order to apply the a.c. test voltage to the capacitor for a period of 5 min when the current is again recorded.

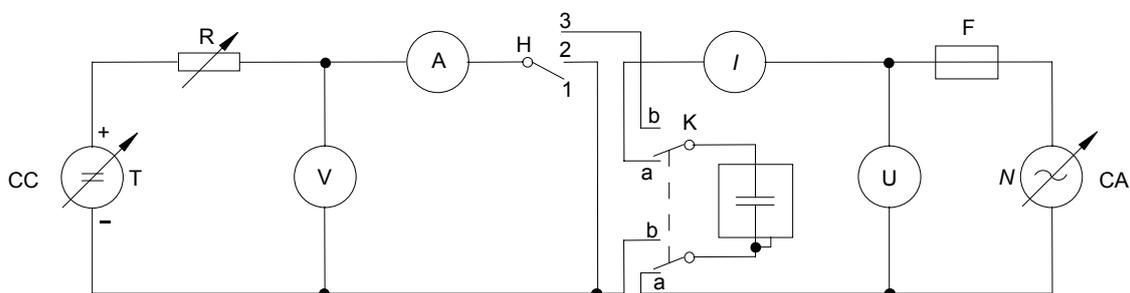
The following conditions may be obtained:

- 1) The ammeter I and the voltmeter U both indicate zero: in this case the fuse F or the status of the overpressure detector shall be checked. If the fuse F has blown, it shall be replaced. Then the voltage N is applied to the capacitor and if the fuse blows again or the overpressure detector has worked, the procedure is interrupted.
If the fuse F does not blow or the overpressure detector has not worked, the procedure consisting in applying to the capacitor T and N voltage as prescribed in items c) and d) continues using only the switch K.
- 2) The current indicated by the ammeter I is zero and the voltmeter U indicates $1,3 U_N$.
In this case the procedure is interrupted.
- 3) The current indicated by the ammeter I is higher than zero. In this case the procedure continues as per items b), c), and d).

If, after repeating this procedure several times, the remaining capacitance is higher than zero, or 10 % of the initial value in case of self-healing capacitors with segmented or special unsegmented design, another sample may be used, and/or test voltage and test time may be increased, or the unit has to be subjected to an externally operated overpressure until the disconnecter or the overpressure detector has worked. The value of this pressure shall be given by the manufacturer.

When the procedure is interrupted, the capacitor is cooled to ambient temperature and the voltage test between terminals and terminals and case is carried out according to 5.5 and 5.6. In case of operation of an overpressure detector, no voltage test terminal to terminal is required. The status of the detector after cooling down to ambient temperature shall be reported.

Il convient que le courant de court-circuit de la source de tension N aux bornes du condensateur soit supérieur à $5 I_{\max}$.



IEC 001/07

Figure 1 – Conditions de l'essai de destruction

Le courant assigné I du coupe-circuit ne doit pas être inférieur à $2 I_{\max}$.

Un coupe-circuit selon la CEI 60269-1 doit être utilisé.

NOTE 1 Si le condensateur unitaire est utilisé en parallèle avec d'autres unités, il convient que l'essai soit effectué en mettant une capacité correspondante en parallèle avec la source N .

NOTE 2 Si le condensateur unitaire est trop gros ou trop petit pour satisfaire aux paramètres de l'essai, il convient que l'essai soit exécuté suivant un accord entre l'utilisateur et le fabricant.

NOTE 3 Pour les condensateurs non protégés, le risque d'explosion est lié à la durée du courant de court-circuit.

L'utilisateur peut donner une information théorique, tandis que le fabricant peut déclarer I^2t , cette information pouvant raisonnablement aider le concepteur à estimer le risque d'explosion.

5.16.3 Déroulement de l'essai pour les condensateurs à courant continu

L'essai doit être effectué sur un condensateur unitaire. Quand cela est spécifié par le fabricant, un condensateur qui a satisfait à l'essai d'endurance peut être utilisé. Le principe de l'essai est de provoquer des claquages d'éléments par une alimentation à courant continu de grande impédance interne et de contrôler ensuite le comportement du condensateur sous une tension continue élevée avec une basse tension superposée à courant alternatif ou continu de faible impédance interne.

Le claquage des condensateurs non auto-cicatrisants avec coupe-circuit interne peut être provoqué conformément aux procédures de 5.17.4. Le choix est laissé au fabricant.

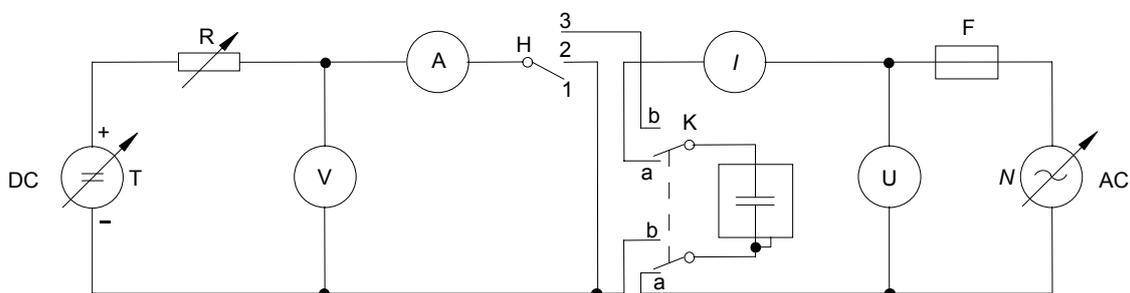
Le condensateur doit être placé dans une étuve à circulation d'air ayant une température égale à la température maximale de l'air ambiant correspondant à la température de fonctionnement du condensateur.

Lorsque toutes les parties du condensateur ont atteint la température de l'étuve, on doit procéder à l'essai dans l'ordre de déroulement suivant, selon le schéma indiqué sur la Figure 1: la source N est un générateur à courant continu avec une tension d'ondulation superposée (composante à courant alternatif).

Un exemple de générateur N est donné dans les Figure 2.

Le courant assigné du coupe-circuit ne doit pas être inférieur à $2 I_{\max}$. Un coupe-circuit selon la CEI 60269-1 doit être utilisé. Au lieu du coupe-circuit de la Figure 2, si le condensateur est protégé par un détecteur de surpression, un disjoncteur commandé par le détecteur de surpression est utilisé.

The short-circuit current of the N voltage source at the capacitor terminals should be higher than $5 I_{\max}$.



IEC 001/07

Figure 1 – Destruction test arrangement

The rated current I of the fuse shall be not less than $2 I_{\max}$.

Fuse according to IEC 60269-1 shall be used.

NOTE 1 If the capacitor unit is used in parallel connection with other units, the test should be performed by putting a corresponding capacitance in parallel with the N source.

NOTE 2 If the capacitor unit is too large or too small to comply with the test parameters, the test should be performed on agreement between the manufacturer and user.

NOTE 3 For unprotected capacitors, the risk of explosion is related to the duration of the short-circuit current.

The user can give theoretical information, while the manufacturer can declare the I^2t , this information can reasonably help the designer to estimate the risk of explosion.

5.16.3 Test sequence for d.c. capacitors

The test shall be carried out on a capacitor unit. When specified by the manufacturer, a capacitor which has passed the endurance test may be used. The principle of the test is to promote failures in the element(s) by a high internal impedance d.c. power supply, and subsequently to check the behaviour of the capacitor when high d.c. voltage with superposed a.c. or d.c. low voltage with low internal impedance is applied.

The failure of non-self-healing capacitors with internal fuses may be promoted according to the procedures of 5.17.4. The choice is left to the manufacturer.

The capacitor shall be mounted in a circulating air oven having a temperature equal to the maximum ambient air temperature for the operating temperature of the capacitor.

When all the capacitor parts have reached the temperature of the oven, the following test sequence shall be performed with the circuit given in Figure 1: the N source is a d.c. generator with a superposed ripple voltage (a.c. component).

An example of N generator is given in Figure 2.

The rated current of the fuse F shall be not less than $2 I_{\max}$. Fuse according to IEC 60269-1 shall be used. Instead of the fuse shown in Figure 2, if the capacitor is protected by an overpressure detector, a circuit breaker is used which is controlled by the overpressure detector.

- a) Les commutateurs H et K étant respectivement dans les positions 1 et «a», la source de tension N est réglée à une tension de $1,3 U_{\text{NDC}}$ et de $1,1 I_{\text{N}}$.
- b) La source de tension continue T est réglée à la valeur déclarée par le fabricant; le commutateur H est alors mis sur la position 2.
- c) Le commutateur H est mis sur la position 3 et le commutateur K sur la position «b» afin d'appliquer au condensateur l'essai T à courant continu qui est maintenu pour une période donnée, comme déclaré par le fabricant.
- d) Le commutateur K est alors remis sur la position «a» à nouveau pour appliquer au condensateur la tension d'essai superposée N pendant 5 min, le courant du condensateur étant de nouveau noté.

Les situations suivantes peuvent être obtenues:

- 1) L'ampèremètre I et le voltmètre U indiquent tous deux zéro.
 Dans ce cas le coupe-circuit ou l'état du détecteur de surpression doit être contrôlé. S'il y a eu coupure, le coupe-circuit doit être remplacé. Le condensateur est alors mis sous tension N et s'il se produit une nouvelle coupure ou si le détecteur de surpression a agi, l'essai est interrompu. S'il n'y a pas eu de coupure ou si le détecteur de surpression n'a pas agi, on poursuit l'essai consistant à appliquer au condensateur une tension T et N tel qu'il est exigé aux points c) et d) en utilisant seulement le commutateur K.
- 2) Le courant indiqué par l'ampèremètre I est nul et le voltmètre U indique $1,3 U_{\text{NDC}}$.
 Dans ce cas l'essai est interrompu et la capacité est contrôlée.
 Si la capacité n'est pas nulle, l'essai est poursuivi conformément aux points b), c) et d).
- 3) L'ampèremètre I indique un courant non nul.
 Dans ce cas, l'essai est poursuivi comme exigé aux points b), c) et d).

Si, après avoir répété l'essai plusieurs fois, la capacité reste non nulle ou supérieure à 10 % de la valeur initiale dans le cas de condensateurs auto-cicatrisants avec motif segmenté ou non segmenté, un nouvel échantillon peut être utilisé, et/ou la tension et la durée d'essai peuvent être augmentées, ou le condensateur doit être soumis à une surpression de fonctionnement externe jusqu'à l'activation du déconnecteur ou du détecteur de surpression. La valeur de cette pression doit être donnée par le fabricant.

Lorsque l'essai est interrompu, le condensateur est refroidi à la température ambiante et l'essai de tension entre les bornes et la cuve doit être effectué conformément à 5.5 et 5.6.

Dans le cas du fonctionnement d'un détecteur de surpression, aucun essai de tension entre les bornes ne doit être réalisé.

Si un dispositif selon la Figure 2 n'est pas disponible, une source N selon la Figure 3 peut être utilisée. Dans ce cas, un courant continu à courant élevé est généré par un pont de diode. Les générateurs à courant continu et alternatif doivent être ajustables.

Le point a) de 5.16.3 doit être modifié comme suit: «Les commutateurs H et K étant respectivement dans les positions 1 et «a», la source de tension N doit être réglée à une tension de $1,3 U_{\text{N}}$ ».

Il convient que le courant de court-circuit de la source de tension N aux bornes du condensateur soit supérieur à $5 I_{\text{max}}$.

- a) With the selector switches H and K in position 1 and "a", the voltage source N is set to $1,3 U_{\text{NDC}}$ and to $1,1 I_{\text{N}}$.
- b) The d.c. voltage source T is set at the value stated by the manufacturer; the switch H is then set to position 2.
- c) Switch H is set to position 3 and switch K to position "b" in order to apply the d.c. test T to the capacitor which is maintained for a given period, stated by the manufacturer.
- d) Switch K is then set to the position "a" again in order to apply the superimposed test voltage N to the capacitor for a period of 5 min while the current is recorded.

The following conditions may be obtained:

- 1) The ammeter I and the voltmeter U both indicate zero.

In this case the fuse or the status of the overpressure detector shall be checked. If the fuse F has blown it shall be replaced. The voltage N is then applied to the capacitor and if the fuse blows again or the overpressure detector has operated, the procedure is interrupted. If the fuse F does not blow or the overpressure detector has not operated, the procedure consisting in the application to the capacitor of T and N voltage as prescribed in items c) and d) is continued, using only the switch K.

- 2) The current indicated by the ammeter I is zero and the voltmeter U indicates $1,3 U_{\text{NDC}}$.

In this case the procedure is interrupted and the capacitance is checked.

If the capacitance is higher than zero, the procedure is continued as per items b), c) and d).

- 3) The current indicated by the ammeter I is higher than zero.

In this case the procedure continues as per items b), c) and d).

If, after repeating this procedure several times the remaining capacitance is higher than zero, or 10 % of the initial value in case of self-healing capacitors with segmented or special unsegmented design, another sample may be used, and/or test voltage and test time may be increased, or the unit shall be subjected to an externally operated overpressure until the disconnecter or the overpressure detector has operated. The value of this pressure shall be given by the manufacturer.

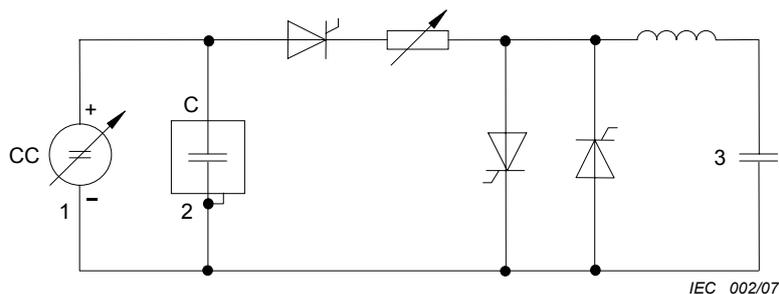
When the procedure is interrupted, the capacitor is cooled to the ambient temperature, and the voltage test between terminals and terminals and case shall be carried out according to 5.5 and 5.6.

In case of operation of an overpressure detector, no voltage test between terminals shall be performed.

If a device according to Figure 2 is not available, a N source according to Figure 3 can be used. In this case, a high d.c. current is generated by a diode bridge. The d.c. and a.c. generators shall be adjustable.

Item a) of 5.16.3 shall be modified as follows: "with the selector switches H and K in position 1 and "a" respectively, the voltage source N shall be set to $1,3 U_{\text{N}}$ ".

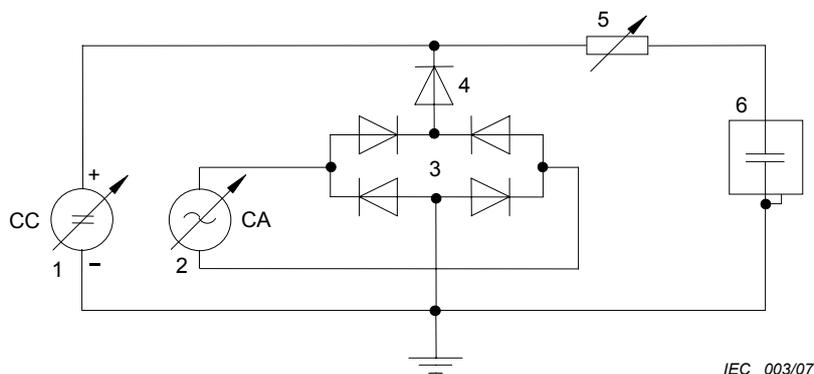
The short-circuit current of the N voltage source at the capacitor terminals should be higher than $5 I_{\text{max}}$.



Légende

- 1 générateur à courant continu haute tension, à courant élevé
- 2 spécimen à l'essai
- 3 onduleur, thyristors, inducteur

Figure 2 – Source à courant continu *N* – Type 1



Légende

- 1 générateur à courant continu haute tension, à courant faible (300 mA)
- 2 générateur à courant alternatif basse tension, à courant élevé
- 3 pont redresseur basse tension
- 4 redresseur de blocage HT
- 5 réglage du courant de court-circuit
- 6 spécimen à l'essai

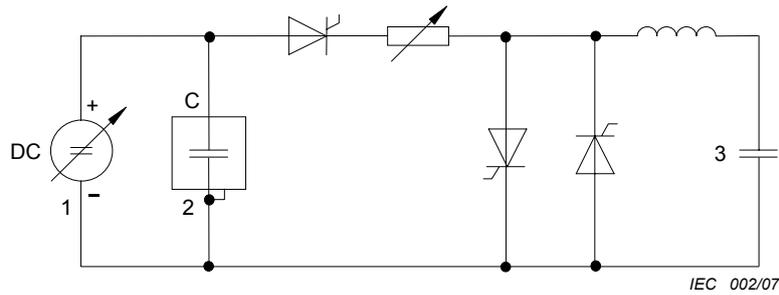
Figure 3 – Source à courant continu *N* – Type 2

NOTE 1 Si le condensateur unitaire est utilisé en parallèle avec d'autres unités, il convient que l'essai soit effectué en mettant une capacité correspondante en parallèle avec la source *N*.

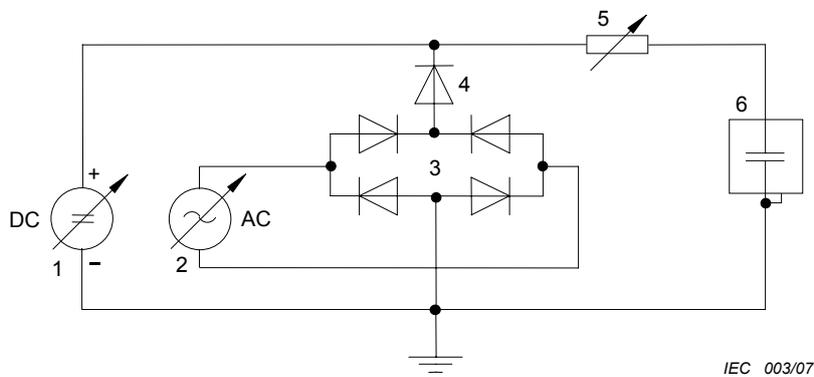
NOTE 2 Il convient que la tension à courant alternatif soit choisie de telle façon qu'elle permette une circulation du courant de court-circuit.

NOTE 3 Si le condensateur unitaire est trop gros ou trop petit pour satisfaire aux paramètres de l'essai, il convient que l'essai soit exécuté suivant un accord entre l'utilisateur et le fabricant.

Dans le cas de condensateurs auto-cicatrisants avec motif segmenté ou non segmenté, d'autres méthodes pour démontrer l'aptitude du condensateur à perdre plus de 90 % de sa capacité peuvent être envisagées selon un accord entre le fabricant et l'utilisateur.

**Key**

- 1 high-voltage, high-current d.c. generator
- 2 specimen under test
- 3 inverter device, thyristors, inductor

Figure 2 – N source d.c. – Type 1**Key**

- 1 high-voltage, low-current (300 mA) d.c. generator
- 2 low-voltage, high-current a.c. generator
- 3 low-voltage rectifier bridge
- 4 blocking HV rectifier
- 5 short-circuit current adjustment
- 6 specimen under test

Figure 3 – N source d.c. – Type 2

NOTE 1 If the capacitor unit is used in parallel connection with other units, the test should be performed by putting a corresponding capacitance in parallel with the *N* source.

NOTE 2 The a.c. voltage should be selected in such way as to allow a circulation of the short-circuit current.

NOTE 3 If the capacitor unit is too large or too small to comply with the test parameters, the test should be performed on agreement between the manufacturer and user.

In case of self-healing capacitors with segmented or special unsegmented design, other methods to demonstrate the ability of a capacitor to loose more than 90 % of its capacitance may be agreed between manufacturer and user.

5.17 Essai de déconnexion des coupe-circuit internes

5.17.1 Généralités

Cet essai s'applique aux condensateurs non auto-cicatrisants munis de coupe-circuit internes.

Le coupe-circuit est mis en série avec un ou des éléments qu'il doit isoler si le ou les éléments sont en défaut. Par conséquent, les plages de courant et de tension pour le coupe-circuit dépendent de la conception du condensateur et, dans certains cas, également de la batterie dans laquelle il est installé.

En général, le fonctionnement d'un coupe-circuit interne est déterminé par l'un ou les deux facteurs suivants:

- l'énergie de décharge des éléments ou des unités connectées en parallèle avec l'élément ou l'unité défaillante;
- le courant de défaut disponible.

NOTE Si l'unité est protégée par un coupe-circuit externe, l'essai est effectué avec un coupe-circuit externe préconisé par le fabricant de condensateurs.

5.17.2 Exigences pour la déconnexion

Le coupe-circuit doit pouvoir déconnecter l'élément défectueux lorsque le claquage des éléments se produit sous une tension entre les bornes de l'unité, à l'instant du défaut, comprise entre une valeur inférieure u_1 et une valeur supérieure u_2 .

Les valeurs recommandées de u_1 et u_2 sont les suivantes:

$$u_1 = 0,8 \sqrt{2} U_N$$

$$u_2 = \sqrt{2} U_t$$

où U_t est la tension d'essai selon le Tableau 1.

NOTE Les valeurs u_1 et u_2 ci-dessus sont basées sur la tension qui peut normalement exister entre les bornes des condensateurs à l'instant où l'élément claque. Il convient que l'utilisateur indique si les valeurs u_1 et u_2 diffèrent de celles définies ci-dessus.

5.17.3 Exigences concernant la tenue

Après le fonctionnement du coupe-circuit, l'ensemble de coupe-circuit doit supporter toute la tension de l'élément, plus la tension d'un quelconque déséquilibre dû au fonctionnement du coupe-circuit ainsi que toutes les surtensions transitoires de courte durée survenant normalement durant la vie du condensateur.

Les coupe-circuit internes durant la vie du condensateur doivent être capables de supporter

- en permanence, un courant unitaire maximal de $1,1 I_{max}$;
- la surintensité (\hat{I}_s) d'un condensateur unitaire;
- les courants de décharge dus au claquage des éléments;
- l'essai de décharge.

NOTE Le guide relatif aux coupe-circuit et aux déconnecteurs de protection est donné en 9.13.

5.17 Disconnecting test on internal fuses

5.17.1 General

This test applies to non-self-healing capacitors fitted with internal current fuses.

The fuse is connected in series with the element(s) which the fuse is intended to isolate if the element(s) becomes faulty. The range of currents and voltages for the fuse is therefore dependent on the capacitor design and, in some cases, also on the bank in which it is connected.

The operation of an internal fuse is generally determined by one or both of the following factors:

- the discharge energy from elements or units connected in parallel with the faulty element or unit;
- the available fault current.

NOTE If the unit is protected by an external fuse, the test is carried out with the external fuse suggested by the capacitor manufacturer.

5.17.2 Disconnecting requirements

The fuse shall enable the faulty element to be disconnected when electrical breakdown of elements occurs in a voltage range, in which u_1 is the lowest and u_2 the highest value of the voltage between the terminals of the unit at the instant of fault.

The recommended values for u_1 and u_2 are the following:

$$u_1 = 0,8 \sqrt{2} U_N$$

$$u_2 = \sqrt{2} U_t$$

where U_t is the test voltage according to Table 1.

NOTE The u_1 and u_2 values above are based on the voltage that may normally occur across the capacitor unit terminals at the instant of electrical breakdown of the element. The user should specify if the u_1 and u_2 values differ from the standard ones.

5.17.3 Withstand requirements

After operation, the fuse assembly shall withstand full element voltage, plus any unbalanced voltage due to fuse action, and any short-time transient overvoltage normally experienced during the life of the capacitor.

The internal fuses during the life of the capacitor shall be able to

- carry continuously a maximum unit current of $1,1 I_{max}$;
- withstand the unit surge current (\hat{I}_s);
- carry the discharge currents due to the breakdown of element(s);
- withstand the discharge test.

NOTE Guidance for fuse and disconnecter protection is given in 9.13.

5.17.4 Procédure d'essai

L'essai de déconnexion du coupe-circuit est effectué à la limite supérieure et à la limite inférieure de la tension. La tension continue d'essai la plus élevée u_2 (voir 5.17.2) est appliquée jusqu'à ce que au moins un coupe-circuit ait fonctionné. Immédiatement après, la tension est réduite à $0,8 U_N$ jusqu'à ce qu'un autre coupe-circuit fonctionne.

La tension aux bornes de l'unité doit être mesurée durant toute la durée de l'essai. Si les tensions immédiatement avant et immédiatement après le fonctionnement du coupe-circuit diffèrent de plus de 10 %, l'essai doit être répété, avec une capacité supplémentaire connectée en parallèle avec l'unité testée. L'essai peut être répété sur une nouvelle unité, à la demande du fabricant.

Les essais de coupe-circuit sont effectués soit sur un condensateur unitaire entier soit sur deux unités si celles-ci contiennent seulement un coupe-circuit.

Une des modalités d'essai a), b), c), d) ou une méthode de remplacement doit être utilisée. Le choix est laissé au fabricant.

Il est préférable d'utiliser une méthode où les essais peuvent être effectués sur une unité standard.

a) Perçage mécanique de l'élément

Le perçage mécanique de l'élément est réalisé au moyen d'une pointe enfoncée dans l'élément par un trou préalablement percé dans la cuve.

NOTE 1 Le perçage d'un seul élément ne peut pas être garanti.

NOTE 2 Pour éviter la formation d'un arc vers la cuve le long de la pointe, ou au travers du trou percé par la pointe, une pointe fabriquée en matériau isolant peut être utilisée et/ou le perçage peut être effectué sur le ou les éléments connectés à la cuve en permanence ou pendant l'essai.

b) Claquage électrique de l'élément (première méthode)

Quelques éléments dans l'unité destinée à l'essai sont munis, par exemple, d'une languette disposée entre les couches du diélectrique. Chaque languette est connectée à une borne distincte.

Pour provoquer le claquage d'un élément ainsi équipé, une surtension d'amplitude suffisante est appliquée entre cette languette et une des électrodes de l'élément modifié.

Le courant et/ou la tension du condensateur doit être enregistré(e) pendant l'essai.

c) Claquage électrique de l'élément (deuxième méthode)

Certains éléments dans l'unité destinée à l'essai sont munis d'un fil fusible court relié à deux languettes supplémentaires, insérées entre les couches du diélectrique, chaque languette étant connectée à une borne isolée séparée.

Pour provoquer le claquage d'un élément ainsi équipé, un autre condensateur chargé avec une énergie suffisante est déchargé à travers le fil fusible dans le but de le faire fonctionner.

Le courant et/ou la tension du condensateur doit être enregistré(e) pendant l'essai.

d) Claquage électrique de l'élément (troisième méthode)

Une petite partie d'un élément (ou de plusieurs éléments) d'une unité est enlevée pendant la fabrication et remplacée par du diélectrique de rigidité plus faible. Par exemple: 10 cm^2 à 20 cm^2 d'un diélectrique composé de film-papier-film sont enlevés et remplacés par deux couches minces de papier.

Au cours de l'essai effectué à la tension la plus élevée, un seul coupe-circuit supplémentaire (ou le dixième du total de ceux qui protègent des éléments directement raccordés en parallèle) connecté à un élément sain peut être endommagé.

5.17.4 Test procedure

The disconnecting test on fuses is carried out at the upper and at the lower voltage limits. The upper d.c. test voltage u_2 (see 5.17.2) is applied until at least one fuse has failed. Then, immediately, the voltage is reduced to $0,8 U_N$ until a further fuse fails.

The voltage across the unit shall be measured throughout the test. If the voltage immediately before and immediately after the fuse operates differ by more than 10 %, the test shall be repeated, with extra capacitance connected in parallel to the unit under test. This test may be repeated on a new unit at the manufacturer's discretion.

The tests of fuses are performed either on one complete capacitor unit or on two units, if there is only one fuse inside.

One of the following test procedures a), b), c), d) or an alternative method shall be used. The choice is left to the manufacturer.

It is preferred to use a method where the tests can be carried out on a standard unit.

a) Mechanical puncture of the element

Mechanical puncture of the element is made by a nail, which is forced into the element through a pre-drilled hole in the container.

NOTE 1 Puncture of only one element cannot be guaranteed.

NOTE 2 In order to limit the possibility of a flashover to the container along the nail, or through the hole caused by the nail, a "nail" made of insulating material may be used and/or the punctures may be performed in the element connected permanently, or during the test, to the container.

b) Electrical breakdown of the element (first method)

Some elements in the test unit are provided with, for example, a tab, inserted between the dielectric layers. Each tab is connected to a separate terminal.

To obtain breakdown of an element thus equipped, a surge voltage of sufficient amplitude is applied between the tab and one of the foils of such a modified element.

Capacitor current and/or voltage shall be recorded during the test.

c) Electrical breakdown of the element (second method)

Certain elements in the test unit are provided with a short fusible wire connected to two extra tabs and inserted between the dielectric layers, each tab being connected to a separate insulated terminal.

To obtain breakdown of an element equipped with this fusible wire, a separate capacitor charged to a sufficient energy is discharged into the wire in order to blow it.

Capacitor current and/or voltage shall be recorded during the test.

d) Electrical breakdown of the element (third method)

A small part of an element (or of several elements) in a unit is removed at the time of manufacture and replaced with a weaker dielectric. For example: 10 cm^2 to 20 cm^2 of a film-paper-film dielectric is cut out and replaced with two thin papers.

At the upper voltage limit, one additional fuse (or one-tenth of the fused elements directly in parallel) connected to a sound element(s) is allowed to be damaged.

La tension d'essai doit être maintenue pendant plusieurs secondes (minimum 10 s) après le claquage, pour avoir la certitude que le coupe-circuit a interrompu correctement le circuit sans l'aide de l'interrupteur de la source d'alimentation.

Dans certains cas particuliers, il peut être nécessaire de poursuivre les essais jusqu'à l'obtention de deux claquages (ou plus) d'éléments de condensateur. Dans de tels cas, il convient que le nombre de claquages à chaque tension limite soit fixé par accord entre le fabricant et l'utilisateur. Si le nombre de perforations est dépassé, les tensions établies en 5.17.7 peuvent avoir été augmentées.

NOTE 1 Il convient que des précautions soient prises, durant l'exécution de cet essai, contre la possibilité de l'explosion d'un condensateur unitaire.

NOTE 2 Il est recommandé de décharger tout les groupes d'éléments en série après chaque essai si le condensateur est relié en série avec des éléments internes.

5.17.5 Mesure de la capacité

Après l'essai, la capacité doit être mesurée afin de vérifier que le ou les coupe-circuit ont fonctionné.

Une méthode de mesure suffisamment sensible doit être utilisée pour déceler la variation de capacité provoquée par le fonctionnement d'un coupe-circuit.

5.17.6 Inspection visuelle

Après l'essai de déconnexion, aucune déformation significative de la cuve ne doit apparaître.

5.17.7 Essai de tension

L'unité doit supporter une tension d'essai pendant 10 s, sans fonctionnement supplémentaire de coupe-circuit. Il convient que cette tenue en tension d'essai soit normalement égale à la tension d'essai spécifiée dans le Tableau 1, sauf si un accord conforme aux conditions du point d) de 5.17.4 intervient entre le fabricant et l'utilisateur.

6 Surcharges

6.1 Tensions maximales admissibles

Les condensateurs unitaires doivent être aptes en service à supporter les niveaux de tensions et la durée conformes au Tableau 5 sans aucun claquage. Il convient de reconnaître que toute période significative de fonctionnement à des tensions telles que ci-dessus réduira la durée de vie du condensateur.

Tableau 5 – Tensions maximales admissibles

Surtension	Durée maximale dans une journée	Observation
1,1 U_N	30 % de la durée de charge	Régulation du système
1,15 U_N	30 min	Régulation du système
1,2 U_N	5 min	Régulation du système
1,3 U_N	1 min	Régulation du système

NOTE 1 Une surtension égale à 1,5 U_N durant 30 ms est permise 1 000 fois durant la vie du condensateur.

L'amplitude des surtensions qui peuvent être admissibles sans entraîner de réduction significative de la durée de vie du condensateur dépend de la durée de ces surtensions, du nombre d'applications et de la température du condensateur.

En outre, ces valeurs supposent donc que les surtensions peuvent apparaître quand la température interne du condensateur est inférieure à 0 °C, mais dans les limites de la température de catégorie.

NOTE 2 Il ne faut pas que la moyenne de la tension appliquée soit supérieure à la tension spécifiée.

The test voltage shall be maintained for several seconds (minimum 10 s) after a breakdown to ensure the fuse has disconnected correctly unaided by disconnection of the power supply.

In special cases, it may be necessary to extend the tests until two or more breakdowns of capacitor elements have occurred. The number of breakdowns at each voltage limit in such cases should be subject to agreement between the manufacturer and the user. If the number of breakdowns is exceeded, the voltages stated in 5.17.7 may have to be increased.

NOTE 1 Precautions should be taken when performing this test against the possible explosion of a capacitor unit.

NOTE 2 It is recommended to discharge all the series element groups after each test if the capacitor has internal element series connections.

5.17.5 Capacitance measurement

After the test, capacitance shall be measured to prove that the fuse(s) has (have) blown.

A measuring method shall be used that is sufficiently sensitive to detect the capacitance change caused by one blown fuse.

5.17.6 Visual checking

After the disconnecting test, no significant deformation of the container shall be apparent.

5.17.7 Voltage test

The unit shall withstand for 10 s, without further operation of fuses, a voltage test. This withstand test voltage should normally be equal to the test voltage specified in Table 1, unless otherwise agreed by the manufacturer and the user in accordance with the provisions of item d) of 5.17.4.

6 Overloads

6.1 Maximum permissible voltages

Capacitor units shall be suitable for operation at voltage levels and duration according to Table 5 without any failure. It should be recognised that any significant period of operation at voltages above the rated one will reduce overall life

Table 5 – Maximum permissible voltages

Overvoltage	Maximum duration within one day	Observation
1,1 U_N	30 % of on-load duration	System regulation
1,15 U_N	30 min	System regulation
1,2 U_N	5 min	System regulation
1,3 U_N	1 min	System regulation
<p>NOTE 1 An overvoltage equal to 1,5 U_N for 30 ms is permitted 1 000 times during the life of the capacitor.</p> <p>The amplitudes of the overvoltages that may be tolerated without significant reduction in the life-time of the capacitor depend on their duration, the number of application, and the capacitor temperature.</p> <p>In addition these values assume that the overvoltages may appear when the internal temperature of the capacitor is less than 0 °C but within the temperature category.</p> <p>NOTE 2 The average applied voltage must not be higher than the specified voltage.</p>		

7 Exigences de sécurité

7.1 Dispositif de décharge

L'usage de résistances de décharge n'est pas approprié dans certains condensateurs pour l'électronique de puissance. Lorsque l'utilisateur l'exige, chaque condensateur unitaire ou chaque batterie doit avoir un dispositif permettant la décharge de chaque condensateur en 10 min à 75 V ou moins à partir d'une tension initiale égale à U_N ou U_{NDC} .

Les condensateurs sans résistance de décharge et avec une énergie supérieure à 100 J doivent être protégés par un court-circuit entre les bornes et la cuve avant livraison.

Il ne doit y avoir aucun interrupteur, coupe-circuit à fusible, ni autre dispositif de commutation entre le condensateur et ce dispositif de décharge.

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

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

Les circuits de décharge doivent être dimensionnés de façon à supporter le courant de décharge du condensateur à partir de la valeur de crête de la surtension maximale.

7.2 Connexions de la cuve

Pour pouvoir fixer le potentiel de l'enveloppe métallique du condensateur et évacuer le courant de défaut en cas de claquage du condensateur au boîtier, ce dernier doit être muni d'une connexion capable d'écouler le courant de défaut, ou d'une partie métallique non corrodable et non peinte, appropriée à un système de raccordement.

7.3 Protection de l'environnement

Lorsque le condensateur est imprégné de produits qui ne doivent pas être dispersés dans l'environnement, des précautions doivent être prises à cet effet. Certains pays ont une législation à ce sujet.

L'utilisateur doit spécifier toute requête spéciale pour l'étiquetage qui est en vigueur dans le pays de l'installation (voir 8.1.2).

Les produits de la combustion doivent être acceptables en terme d'environnement. Des matériaux auto-extincteurs sont nécessaires pour les bornes (température d'essai 750 °C: voir la CEI 60695-2-11 ou CEI 60695-2-12).

7.4 Autres exigences de sécurité

L'utilisateur doit spécifier, lors de l'appel d'offres, toutes exigences spéciales résultant des règles de sécurité en vigueur dans le pays où le condensateur doit être installé.

7 Safety requirements

7.1 Discharge device

The use of discharge resistors is not suitable for certain power electronic capacitors. When required by the user, each capacitor unit or bank shall be provided with means for discharging each unit in 10 min to 75 V or less, from an initial voltage U_N or U_{NDC} .

Capacitors without discharge resistors and with energy above 100 J shall be protected by a short circuit between terminals and terminals to case before delivery.

There shall be no switch, fuse cut-out, or any other isolating device between the capacitor unit and this discharge device.

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

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

Discharge circuits shall have adequate current-carrying capacity to discharge the capacitor from the peak of the maximum overvoltage.

7.2 Case 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 case, the case shall be provided with a connection suitable to carry the fault current, or with an unpainted non-corrodible metallic region suitable for a connecting clamp.

7.3 Protection of the environment

When the capacitor is impregnated with materials that shall not be dispersed into the environment, precautions shall be taken. In some countries, there exist legal requirements in this respect.

The user shall specify any special requirements for labelling which apply to the country of installation (see 8.1.2).

Products of combustion shall be environmentally acceptable. Self extinguishing materials are necessary for the terminals (test temperature 750 °C: see IEC 60695-2-11 or IEC 60695-2-12).

7.4 Other safety requirements

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

8 Marquages

8.1 Marquage des unités

8.1.1 Plaque signalétique

Les informations suivantes doivent être données sur la plaque signalétique de chaque condensateur unitaire:

- Fabricant
- Numéro d'identification et date de fabrication. La date de fabrication peut faire partie du numéro d'identification ou être indiquée sous forme de code.
- Capacité (μF)
- Tolérance (%)
- U_{NDC} ou U_{N} (volts)
- U_i (volts, à courant alternatif) (si spécifié, voir 3.19)
- P_{max} (optionnel) (watts)
- f_2 (optionnel) (Hz)
- I_{max} (optionnel) (A)
- \hat{I}_s (s'il existe) (A)
- θ_{min} ($^{\circ}\text{C}$)
- θ_{max} ($^{\circ}\text{C}$)
- Couple de serrage maximum (Nm) (voir note 2)
- Type de fluide de refroidissement et température (seulement pour le refroidissement forcé – voir l'Article 4)
- Référence à la présente norme.

Les signes suivants peuvent être ajoutés, si besoin est:

- pour les dispositifs de décharge interne 
- pour les coupe-circuit ou disconnecteurs internes 
- pour les condensateurs auto-cicatrisants ou 
- type de protection: protégé/non protégé.

NOTE 1 Il convient que l'emplacement des marquages sur le condensateur unitaire soit défini par accord entre le fabricant et l'utilisateur.

NOTE 2 Pour les petites unités où il est pratiquement impossible d'indiquer toutes les rubriques, ci-dessus, sur la plaque signalétique, certaines données peuvent être écrites sur une notice.

NOTE 3 Des informations supplémentaires peuvent être ajoutées sur la plaque signalétique, ou sur une plaque d'avertissement supplémentaire, en accord entre le fabricant et l'utilisateur.

9 Lignes directrices pour l'installation et l'utilisation

9.1 Généralités

Les surcharges et les échauffements abrègent la vie du condensateur, et en conséquence, il convient que les conditions de fonctionnement (c'est-à-dire température, tension, courant et refroidissement) soient sévèrement contrôlées.

8 Markings

8.1 Marking of the units

8.1.1 Rating plate

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

- Manufacturer
- Identification number and manufacturing date. The date of manufacturing may be a part of identification number or be in code form.
- Capacitance (μF)
- Tolerance (%)
- U_{NDC} or U_{N} (volts)
- U_i (volts, a.c.) (if specified, see 3.19)
- P_{max} (optional) (watts)
- f_2 (optional) (Hz)
- I_{max} (optional) (A)
- \hat{I}_s (if any) (A)
- θ_{min} (°C)
- θ_{max} (°C)
- Maximum tightening torque (Nm) (see note 2)
- Type of cooling medium and temperature (only for forced cooling – see Clause 4)
- Reference to this standard.

The following signs shall be added if applicable:

- for internal discharge device 
- for internal fuse or disconnecter 
- for self-healing capacitors SH or 
- type of protection: protected / unprotected.

NOTE 1 The location of the markings on the capacitor unit should be defined on agreement between the manufacturer and the user.

NOTE 2 For small units where it is impracticable to indicate all the above items on the rating plate, certain items may be given in an instruction sheet.

NOTE 3 Additional data can be added to the rating plate, or additional warning plate, on agreement between the manufacturer and the user.

9 Guidance on installation and operation

9.1 General

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

En raison des différents types de condensateurs et des nombreux facteurs qui entrent en jeu, il n'est pas possible de couvrir par des règles simples tous les cas d'installation et d'utilisation.

Les indications données ci-après portent sur les points les plus importants qu'il y a lieu de considérer. En outre, les instructions du fabricant doivent être suivies.

Il y a sept applications majeures:

- a) protection contre les surtensions internes: «condensateurs de snubber» chargés avec des portions de tensions sinusoïdales; les deux polarités peuvent alterner, une composante continue peut apparaître;
- b) les condensateurs à filtres harmoniques en courant continu sont généralement chargés par une tension continue à laquelle est superposée une tension alternative non sinusoïdale;
- c) circuit de commutation; les condensateurs de commutation sont généralement chargés avec des tensions de forme trapézoïdale;
- d) protection contre les surtensions externes en courant alternatif;
- e) protection contre les surtensions externes en courant continu;
- f) filtres harmoniques internes en courant alternatif;
- g) stockage d'énergie en courant continu: condensateurs auxiliaires. Généralement alimentés par une tension continue et périodiquement chargés et déchargés avec un courant crête élevé.

9.2 Choix de la tension assignée

La tension assignée du condensateur doit être égale à la tension crête récurrente, non seulement à cause de la contrainte intrinsèque, mais à cause des hautes valeurs en dV/dt des équipements de l'électronique de puissance qui peuvent induire des décharges partielles et des pertes qui affectent la vie du condensateur.

La plupart des applications de l'électronique de puissance ont des charges variables. Par conséquent, il est nécessaire que le fabricant et l'utilisateur discutent en détail la tension assignée et toutes les contraintes en tension réelle.

Il convient que les condensateurs ne fonctionnent simultanément à la tension maximale admissible et à la température de fonctionnement maximale qu'en cas de circonstances critiques et alors seulement pendant une courte durée (voir Tableau 5).

NOTE Le fabricant peut donner un graphique des tensions applicables en fonction de la fréquence et de la température ambiante (θ_{amb}).

9.3 Température de fonctionnement

Il y a lieu de contrôler la température de fonctionnement du condensateur, car elle a une grande influence sur la vie de celui-ci.

Une température au-dessus de θ_{max} , accélère la dégradation électrochimique du diélectrique.

Une température au-dessous de θ_{min} , ou des changements très rapides de chaud à froid peuvent entraîner des décharges partielles dues à la dégradation du diélectrique.

9.3.1 Installation

Les condensateurs doivent être disposés de manière à permettre une bonne évacuation par convection, conduction et par rayonnement de la chaleur produite par les pertes. Les pertes générées par un équipement associé doivent être prises en compte.

Because of the different types of capacitor and the many factors involved, it is not possible to cover, using 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 instructions of the manufacturer shall be followed.

There are seven major applications:

- a) internal overvoltage protection: snubber capacitors, loaded with part of sinusoidal voltages; both voltages may alternate with a certain amount of superimposed direct voltage;
- b) d.c. harmonic filter capacitors generally loaded with a direct voltage superimposed with a non-sinusoidal alternating voltage;
- c) switching circuit: commutating capacitors, generally loaded with trapezoidal shaped voltages;
- d) external a.c. overvoltage protection;
- e) external d.c. overvoltage protection;
- f) internal a.c. harmonic filter;
- g) d.c. energy storage: auxiliary capacitors. Generally supplied with direct voltage and periodically charged and discharged with high peak current.

9.2 Choice of rated voltage

The rated voltage of the capacitor shall be equal to the recurrent peak voltage, not so much because of the intrinsic stress, but because the high values of dV/dt in power electronics may induce partial discharge and losses which affect the capacitor life.

Most of the applications in power electronics show varying loads. Therefore it is necessary that the manufacturer and the user discuss the rated voltage and the true voltage stresses extensively.

Only in case of emergency should capacitors be operated at maximum permissible voltage and maximum operating temperature simultaneously, and then only for short periods of time (see Table 5).

NOTE The manufacturer may give the diagram of applicable voltage as a function of frequency and ambient temperature (θ_{amb}).

9.3 Operating temperature

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

Temperature in excess of θ_{max} accelerates electrochemical degradation of the dielectric.

Temperature below θ_{min} or very rapid changes from hot to cold may initiate partial discharge degradation in the dielectric.

9.3.1 Installation

Capacitors shall be so placed that there is adequate dissipation by convection, conduction and radiation of the heat produced by the capacitor losses. The losses generated by associated equipment shall be taken into account.

Le refroidissement de l'enveloppe de fonctionnement et la disposition des condensateurs unitaires doivent fournir un refroidissement adéquat de chaque unité. Cela est 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.

Après l'installation, il est nécessaire de vérifier que la température du boîtier est plus basse que la température θ_{\max} dans les conditions maximales de service (tension, courant, et température de refroidissement).

Suivant l'efficacité du refroidissement et l'intensité et la durée du rayonnement, il peut s'avérer nécessaire de choisir l'une des précautions suivantes:

- protéger le condensateur du rayonnement;
- choisir un condensateur conçu pour une température de l'air ambiant plus élevée ou utiliser des condensateurs prévus pour une tension assignée supérieure à la valeur donnée à l'Article 4 et en 9.2;
- les condensateurs installés à une altitude supérieure à 1 000 m seront soumis à une diminution de la dissipation de chaleur; il convient d'en tenir compte pour la détermination de la puissance des unités.

9.3.2 Conditions inhabituelles de refroidissement

Dans certains cas exceptionnels, la température d'entrée peut être supérieure à 55 °C max et on doit utiliser des condensateurs spécialement conçus pour cette utilisation ou à tension assignée plus élevée.

9.4 Conditions spéciales de service

En plus de la température ambiante élevée, d'autres conditions d'utilisation défavorables sont liées à l'environnement. Lorsque l'utilisateur est au courant de telles conditions, le fabricant doit être informé quand les condensateurs sont commandés.

Il convient que cette information soit également donnée aux fournisseurs de tous les équipements associés pour l'installation du condensateur.

Les conditions les plus importantes sont les suivantes:

a) Fréquente apparition de périodes à forte humidité relative

Il peut être nécessaire d'utiliser des isolateurs de conception spéciale. L'attention est attirée sur la possibilité de shuntage des coupe-circuit externes par suite d'une condensation d'humidité à leur surface.

b) Moisissures à extension rapide

Les moisissures ne se développent pas sur les métaux, les matières céramiques et certains types de peinture et de laque. Lorsque des produits fongicides sont utilisés, leur efficacité ne dépasse pas quelques mois. Dans tous les cas, les moisissures peuvent se développer dans une installation, dans les endroits où la poussière, etc. peut se déposer.

c) Des atmosphères corrosives existent dans les zones industrielles et côtières

Il y a lieu de remarquer que l'influence de ces atmosphères peut être plus sévère dans les climats à température élevée que dans les climats tempérés. Une atmosphère très corrosive peut environner même les installations intérieures.

d) Pollution

Lorsque les condensateurs sont installés dans un emplacement très pollué, des précautions spéciales doivent être prises.

The cooling of the operating enclosure and the arrangement of the capacitor units shall provide adequate cooling of each unit. This is of importance for units mounted in rows, one above the other.

The temperature of capacitors subjected to radiation from the sun or from any high temperature surface will be increased.

After installation it is necessary to verify that the temperature of the case be lower than θ_{\max} with the maximum service conditions (voltage, current and cooling temperature).

Depending on the efficiency of the cooling and the intensity and duration of the radiation, it may be necessary to adopt one of the following precautions:

- protect the capacitor from radiation;
- choose a capacitor designed for higher service air temperature or employ capacitors with rated voltage higher than that laid down in Clause 4 and 9.2;
- capacitors installed at altitudes above 1 000 m will be subjected to decrease heat dissipation; this should be considered when determining the power of the units.

9.3.2 Unusual cooling conditions

In exceptional cases, the inlet temperature may be higher than 55 °C maximum and capacitors of special design or with a higher rated voltage shall be used.

9.4 Special service conditions

Apart from high ambient temperature, other adverse conditions of use are liable to be encountered. When the user is aware of such conditions, the manufacturer should be informed when the capacitors are ordered.

This information should also be given to the suppliers of all associated equipment for the capacitor installation.

The most important conditions are the following:

- a) Frequent occurrence of periods of high relative humidity
It may be necessary to use insulators of special design. Attention is drawn to the possibility of external fuses being shunted by a deposit of moisture on their surfaces.
- b) Rapid mould growth
Metals, ceramic materials and some paints and lacquers do not support mould growth. When fungicidal materials are used, they do not retain their poisoning property for more than several months; in any case, mould may develop in an installation on places where dust etc. can settle.
- c) Corrosive atmospheres are found in industrial and coastal areas
It should be noted that in climates of higher temperature the effects of such atmospheres may be more severe than in temperate climates. Highly corrosive atmospheres may be present even in indoor application.
- d) Pollution
When capacitors are mounted in a location with a high degree of pollution, special precautions shall be taken.

e) Altitude dépassant 1 000 m

Les condensateurs utilisés à des altitudes dépassant 1 000 m font l'objet de conditions spéciales. Le choix du type doit être effectué d'un commun accord entre l'utilisateur et le fabricant (voir 4.2).

9.5 Surtensions

Les facteurs de surtension sont spécifiés en 6.1.

Les facteurs de surtension indiqués peuvent être augmentés, après accord avec le fabricant, si le nombre de surtensions estimé est plus faible ou si les conditions de température sont moins sévères.

Il convient que les condensateurs qui peuvent être soumis à de fortes surtensions d'origine atmosphérique soient protégés de façon appropriée. S'il est fait usage de parafoudres, il convient que ceux-ci soient disposés aussi près que possible des condensateurs.

Les surtensions transitoires pendant les conditions anormales de service peuvent entraîner le choix d'un condensateur de tension assignée supérieure.

Lorsque les surtensions sont supérieures à celles qui sont autorisées dans le Tableau 5 (par exemple les condensateurs directement connectés à la ligne), un essai de tension supérieure peut être requis, en accord entre le fabricant et l'utilisateur.

9.6 Surcharges

Il convient que les condensateurs ne fonctionnent jamais à des courants supérieurs aux valeurs maximales spécifiées en 3.20, 3.21 et 3.22.

Des surcharges transitoires de hautes amplitudes et hautes fréquences peuvent apparaître lorsque les condensateurs sont commutés dans un circuit ou que l'équipement est commuté. Il est quelquefois nécessaire de réduire ces surcharges transitoires à des valeurs acceptables en fonction du condensateur et de l'équipement.

9.7 Appareils de commande et de protection

Les appareils de commande et de protection, et les raccordements, doivent pouvoir supporter les contraintes thermiques et électrodynamiques, engendrées par les surintensités transitoires de courant de grande amplitude et de fréquence élevée qui peuvent se produire au moment de la mise sous tension ou par un autre phénomène.

Si l'étude des contraintes thermiques et électrodynamiques risquait d'entraîner des exigences de dimensionnement excessives, il convient de prendre des précautions spéciales pour la protection contre les surintensités.

NOTE En particulier, il y a lieu que les coupe-circuit choisis aient une capacité thermique appropriée.

9.8 Choix de la ligne de fuite et de la distance d'isolement

9.8.1 Ligne de fuite

Les recommandations de la CEI 60664-1 doivent être appliquées. Il est recommandé que l'utilisateur spécifie lequel des niveaux de pollution doit s'appliquer, ou quelle ligne de fuite spécifique doit s'appliquer. Le Tableau 15 de la CEI 60947-1 donne les lignes de fuite spécifiques pour différents niveaux de pollution.

e) Altitude exceeding 1 000 m

Capacitors used at altitudes exceeding 1 000 m are subject to special conditions. The choice of the type shall be made by agreement between the user and the manufacturer (see 4.2).

9.5 Overvoltages

Overvoltage factors are specified in 6.1.

With the manufacturer's agreement, the overvoltage factor may be increased if the estimated number of overvoltages is lower, or if the temperature conditions are less severe.

Capacitors that are liable to be subjected to high lightning overvoltages should be adequately protected. If lightning arresters are used, they should be located as near as possible to the capacitors.

Transient overvoltages during unusual service conditions may enforce the choice of higher rated capacitors.

When overvoltages are higher than those permitted in Table 5 (i.e. capacitors directly connected to the line) a higher voltage test may be required, on agreement between the manufacturer and the user.

9.6 Overcurrents

Capacitors should never be operated with currents exceeding the maximum values of the parameters defined in 3.20, 3.21 and 3.22.

Transient overcurrents of high amplitude and frequency may occur when capacitors are switched into the circuit or the equipment is switched. It may be necessary to reduce these transient overcurrents to acceptable values in relation to the capacitor and to the equipment.

9.7 Switching and protective devices

Switching and protective devices and connections shall be capable of withstanding the electrodynamic and thermal stresses caused by the transient overcurrents of high amplitude and frequency that may occur when switching on or otherwise.

If consideration of electrodynamic and thermal stress would lead to excessive dimensions, special precautions for the purpose of protection against overcurrents should be taken.

NOTE Fuses in particular should be chosen with an adequate thermal capacity.

9.8 Choice of creepage distance and clearance

9.8.1 Creepage distance

The recommendations given in IEC 60664-1 shall apply. The user shall specify which one of the pollution levels, or specific creepage distance, is applicable. Table 15 of IEC 60947-1 gives specific creepage distances for different pollution levels.

9.8.2 Distances dans l'air

Des lignes directrices pour la sélection des distances d'isolement dans l'air sont données dans la CEI 60947-1. Le Tableau 13 de la CEI 60947-1 donne des distances d'isolement spécifiques pour des tensions de choc différentes.

9.9 Connexions

Les raccordements du condensateur peuvent dissiper de la chaleur issue de celui-ci. De la même manière, ils sont capables d'induire de la chaleur à l'intérieur du condensateur.

C'est pourquoi il est nécessaire de maintenir les connexions à une température inférieure à celle du condensateur lui-même.

Tout mauvais contact dans le circuit du condensateur peut provoquer des arcs entraînant des oscillations à haute fréquence qui peuvent entraîner des surchauffes et des surcharges dans le condensateur.

Une inspection régulière de tous les contacts de l'équipement du condensateur et des connexions du condensateur est donc recommandée.

9.10 Connexions en parallèle de condensateurs

Une attention spéciale est nécessaire lors de la conception de circuits comprenant des condensateurs connectés en parallèle, car il y a deux dangers possibles:

- a) la répartition des courants dépend de faibles différences de résistance et d'inductance dans les passages de courant, et par conséquent un des condensateurs peut être facilement surchargé;
- b) à cause des hautes fréquences rencontrées souvent dans l'électronique de puissance, les interconnexions doivent être généralement conçues pour de faibles inductances et de faibles résistances.

Par conséquent, lorsqu'un condensateur entre en défaut par court-circuit, toute l'énergie des condensateurs en parallèle se dissipera rapidement au point de claquage.

Habituellement, il est impossible de déconnecter les unités par un coupe-circuit de limitation de courant.

Des précautions spéciales doivent être prises en compte dans ce cas.

9.11 Connexions en série de condensateurs

Pour les condensateurs à courant continu, à cause des variations dans les résistances d'isolement des unités, il convient que la division correcte des tensions entre les différentes unités soit assurée par des diviseurs de tension résistifs pour des raisons de sécurité. La durée de vie de la résistance ne doit pas être plus courte que la durée de vie de l'équipement.

NOTE Une coupure dans une résistance entraîne une surcharge du condensateur affecté.

L'utilisation de courant alternatif ou de courant continu intermittent avec de longues périodes à zéro ne nécessite pas de diviseurs de tensions particuliers car les dispositifs de décharge interne déchargent toute charge résiduelle.

La tension d'isolement des unités doit être donnée en fonction des mises en série.

9.8.2 Air clearances

Guidelines for selection of air clearance distance are found in IEC 60947-1. Table 13 of IEC 60947-1 gives specific clearance distances for different impulse voltages.

9.9 Connections

The current leads into the capacitor are capable of dissipating heat from the capacitor. Equally they are capable of transferring heat generated in outer connections into the capacitor.

Therefore it is necessary to keep the connections leading to the capacitors always cooler than the capacitor itself.

Any bad contacts in capacitor circuits may give rise to arcing, causing high-frequency oscillations that may overheat and overstress the capacitors.

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

9.10 Parallel connections of capacitors

Special care is necessary when designing circuits with capacitors connected in parallel, because there are two possible dangers:

- a) the current splitting depends on slight differences in resistance and inductance in the current paths, so that one of the capacitors may be easily overloaded;
- b) because of the high frequencies often encountered in power electronics, interconnections should usually be designed for low inductance and resistance.

As a consequence, when one capacitor fails by a short circuit, the complete energy of the parallel capacitors will be rapidly dissipated at the point of breakdown.

Usually, it is impossible to disconnect the units by a current limiting fuse.

Special precautions have to be taken in this case.

9.11 Series connections of capacitors

In d.c. capacitors, because of variations in the insulation resistance of units, the correct voltage sharing between units should be ensured by resistive voltage dividers for safety reasons. The lifetime of the resistor must not be shorter than the lifetime of the equipment.

NOTE Interruption in a resistor leads to overcharging of the affected capacitor.

AC voltages and intermittent d.c. application having long OFF periods need no special dividers, as the integral discharge devices will discharge any residual charge.

The insulation voltage of the units shall be appropriate for the series arrangement.

9.12 Pertes magnétiques et courants de Foucault

Les forts champs magnétiques dans les conducteurs de l'électronique de puissance peuvent induire une magnétisation alternative des cuves magnétiques et des courants de Foucault dans toutes parties métalliques, et, par conséquent, produire de la chaleur.

Il est donc nécessaire de situer les condensateurs à une distance suffisante de tous les conducteurs à fort courant et d'éviter autant que possible l'utilisation de matériaux magnétiques.

9.13 Lignes directrices sur la protection par coupe-circuit et par déconnecteur des condensateurs

Le coupe-circuit est connecté en série avec l'élément qu'il est destiné à isoler, si l'élément devient défaillant. Après le claquage d'un élément, le coupe-circuit correspondant fond et isole l'élément du reste du condensateur, ce qui permet à l'unité de rester en service. La fusion d'un ou de plusieurs coupe-circuit provoque des changements de tension dans la batterie, quand des connexions séries sont utilisées.

La tension aux bornes de l'unité ou des unités saines ne doit pas dépasser la valeur donnée en 5.17.

Selon la connexion interne des unités, la fusion d'un ou de plusieurs coupe-circuit peut aussi provoquer un changement de la tension dans l'unité.

Les éléments restants du groupe série peuvent subir une augmentation de la tension de service et le fabricant doit, sur demande, donner des informations sur l'élévation de tension provoquée par la fusion d'un coupe-circuit.

En raison des propriétés des condensateurs auto-cicatrisants, les claquages ne sont pas dangereux et n'augmentent pas le courant d'une manière significative. Mais, dans le cas d'une augmentation de pression (par exemple provoquée par une instabilité thermique, qui peut se produire en fin de vie du condensateur ou dans quelques cas, par un nombre excessif de claquages de condensateurs auto-cicatrisants dus à des surcharges extrêmes), le condensateur auto-cicatrisant pour électronique de puissance doit être protégé par un déconnecteur de surpression ou par un détecteur de surpression.

Ces dispositifs ne sont pas destinés à protéger contre les courts-circuits internes.

9.14 Lignes directrices pour les condensateurs non protégés

Pour les condensateurs pour électronique de puissance, l'utilisateur doit s'assurer par une installation qualifiée, qu'aucun danger n'apparaisse suite à un claquage d'un condensateur. Ces exigences s'appliquent en particulier aux condensateurs non protégés.

9.12 Magnetic losses and eddy currents

The strong magnetic fields of conductors in power electronics may induce alternating magnetization of magnetic cases and eddy currents in any metal part and thereby produce heat.

It is therefore necessary to situate capacitors at a safe distance from heavy current conductors and to avoid the use as far as possible of magnetic materials.

9.13 Guidance for internal fuse and disconnecter protection in capacitors

The fuse is connected in series with the element that the fuse is designated to isolate, if the element becomes faulty. After the breakdown of an element the fuse connected to it will blow and isolate it from the remaining part of the capacitor, which allows the unit to continue in service. The blowing of one or more fuses will cause voltage changes within the bank when series connections are used.

The voltage across sound unit(s) shall not exceed the value given in 5.17.

Depending on the internal connection of the units, the blowing of one or more fuses may also cause a change of voltage within the unit.

The remaining elements in a series group will have an increased working voltage and the manufacturer shall, on request, give details of the voltage rise caused by blown fuses.

Because of the self-healing properties of the capacitors, breakdowns are not dangerous and do not increase the current significantly. But, in the event of rising pressure (e.g. caused by thermal instability, which may occur at the end of the capacitor life or, in some cases, by an excessive number of self-healing breakdowns, caused by extreme overloads) the self-healing power electronics capacitor shall be protected by an overpressure disconnecter or overpressure detector.

These devices are not intended to protect against internal short circuits.

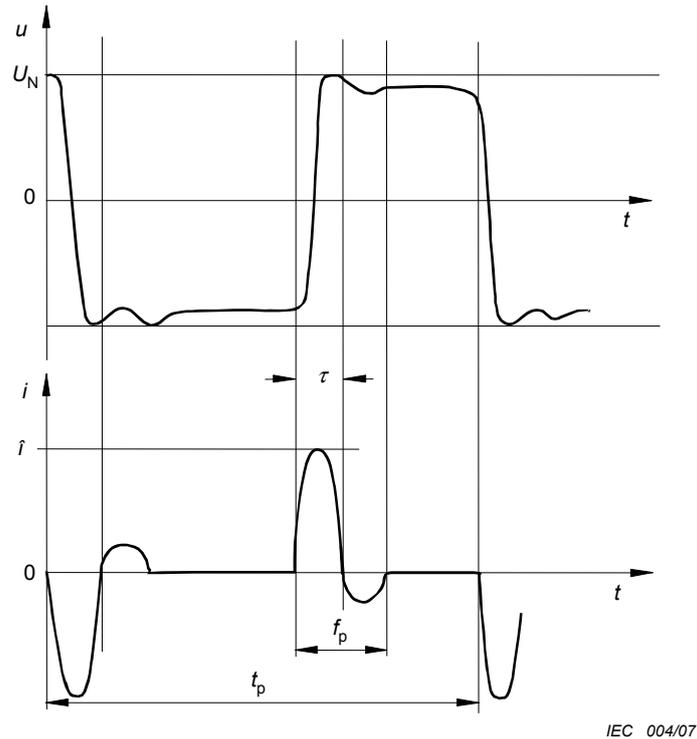
9.14 Guidance for unprotected capacitors

For power electronics capacitors, the user has to assure by qualified installation, that no danger appears due to a failing capacitor. This requirement applies in particular to unprotected capacitors.

Annexe A
(informative)

Formes d'onde

Pour les condensateurs de l'électronique de puissance, les définitions de forme d'onde sont expliquées à travers un exemple de tension trapézoïdale.



$$f_p = \frac{1}{t_p} \quad \tau = \pi \times \sqrt{L \times C}$$

Légende

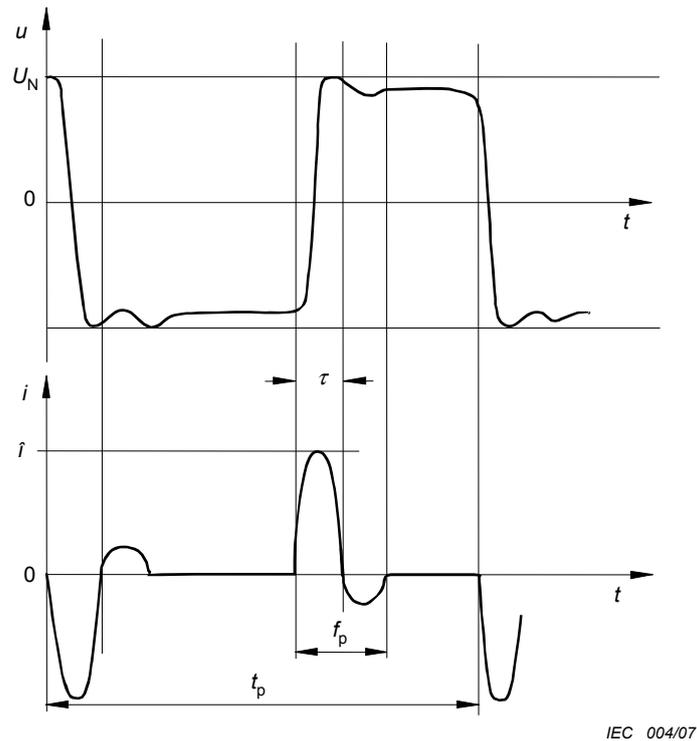
- τ largeur de l'impulsion de courant du condensateur
- t_p période des impulsions
- f_p fréquence des impulsions
- U_N tension crête récurrente
- I courant crête
- L inductance équivalente série du condensateur
- C capacité du condensateur

Figure A.1a – Forme d'onde en commutation

Annex A (informative)

Waveforms

For power electronic capacitors waveform definitions are explained through the example of a trapezoidal voltage.

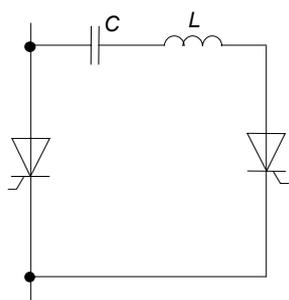


$$f_p = \frac{1}{t_p} \quad \tau = \pi \times \sqrt{L \times C}$$

Key

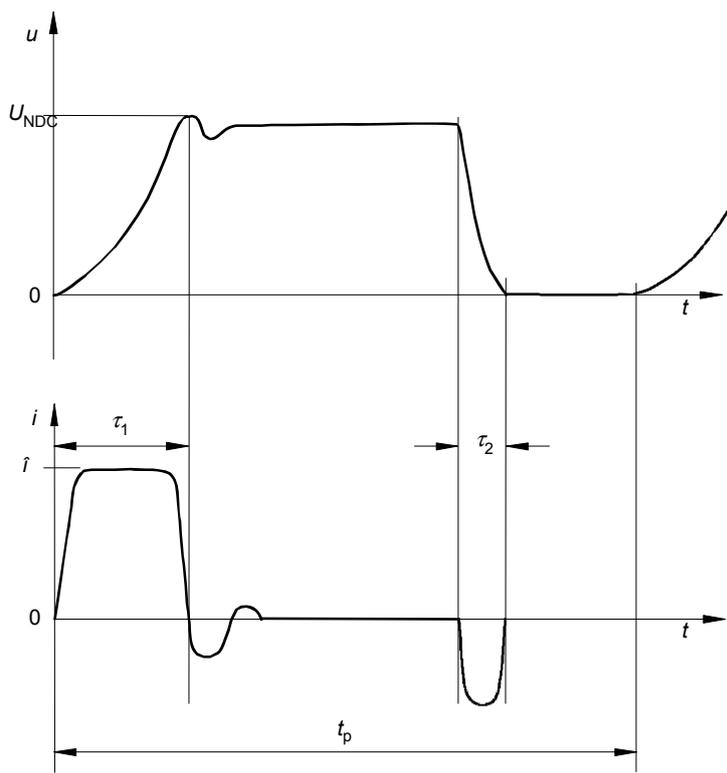
- τ capacitor current pulse width
- t_p system pulse duration
- f_p system pulse frequency
- U_N peak recurrent voltage
- \hat{i} peak current
- L inductance of the inductor connected in series with the capacitor
- C capacitor capacitance

Figure A.1a – Commutating waveform



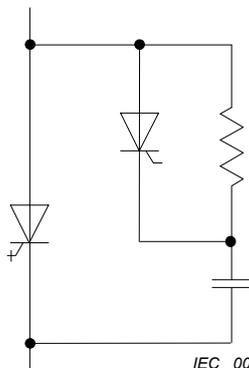
IEC 005/07

Figure A.1b – Exemple de circuit de commutation



IEC 006/07

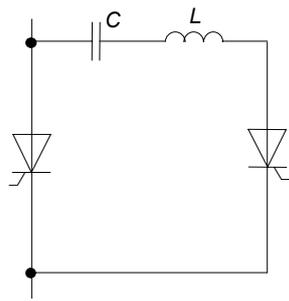
Figure A.1c – Forme d'onde pour condensateur d'amortissement pour thyristors blocables



IEC 007/07

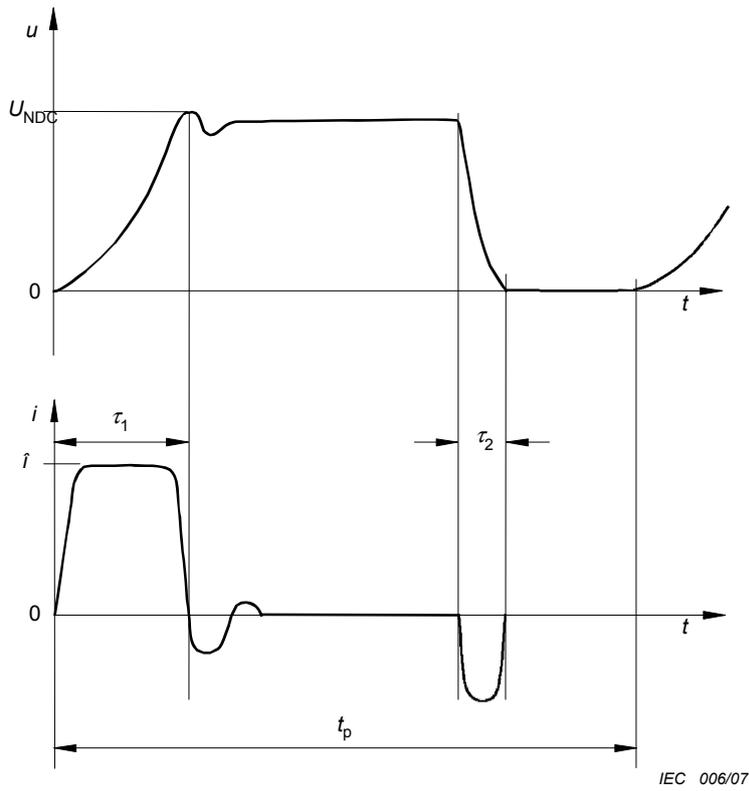
Figure A.1d – Exemple de circuit d'amortissement

Figure A.1 – Exemple de largeur de l'impulsion de courant



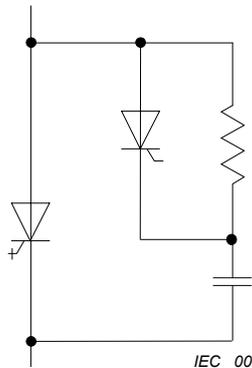
IEC 005/07

Figure A.1b – Commutating circuit example



IEC 006/07

Figure A.1c – Damping capacitor for gate turn-off thyristors waveform



IEC 007/07

Figure A.1d – Damping circuit example

Figure A.1 – Example of waveforms and their circuits

Annexe B
(normative)

Limites de fonctionnement des condensateurs en tension sinusoïdale en fonction de la fréquence et à la température maximale (θ_{\max})

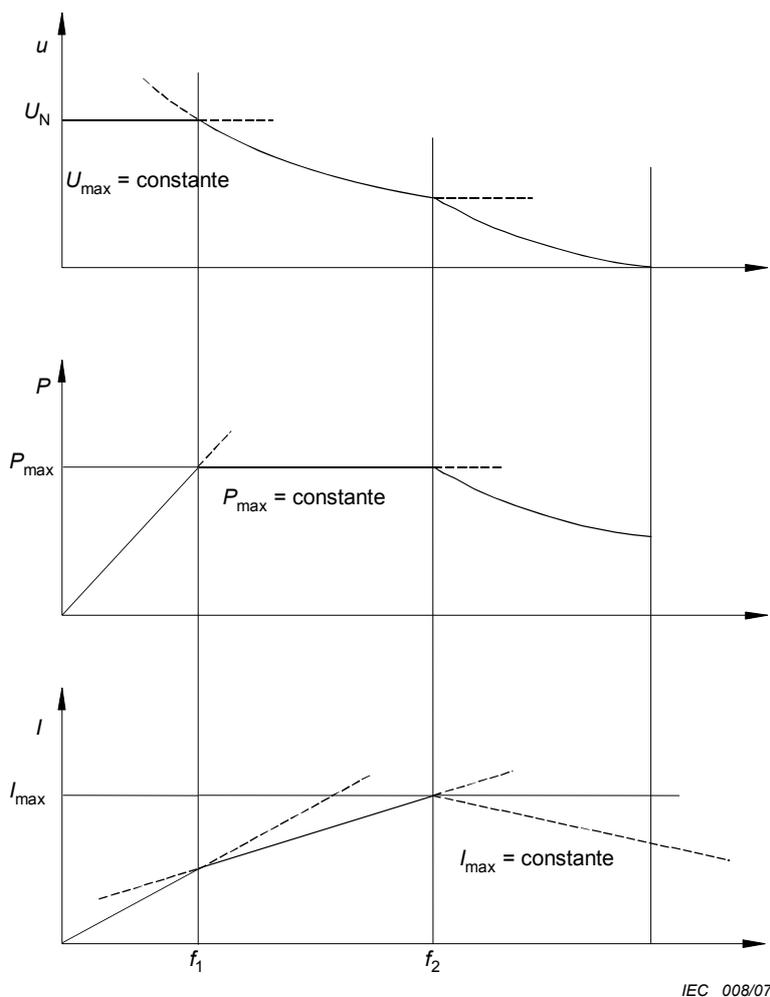


Figure B.1 – Conditions d'alimentation

La tension maximale est en général une fonction de l'épaisseur du diélectrique (a), de la rigidité intrinsèque (E_D) et de la température (θ)

$$U_{\max} = f(E_D, a, \theta)$$

Pour les fréquences $f \leq f_1$, ce qui suit s'applique :

$$U_{\max} = U_N$$

f_1 est la fréquence à laquelle les pertes du condensateur sont maximales:

$$P_{\max} = \frac{U_N^2}{2} \omega \times C \tan \delta_1 \quad \omega = 2\pi f_1$$

Annex B
(normative)

**Operational limits of capacitors with sinusoidal voltages
as a function of frequency and at maximum temperature (θ_{max})**

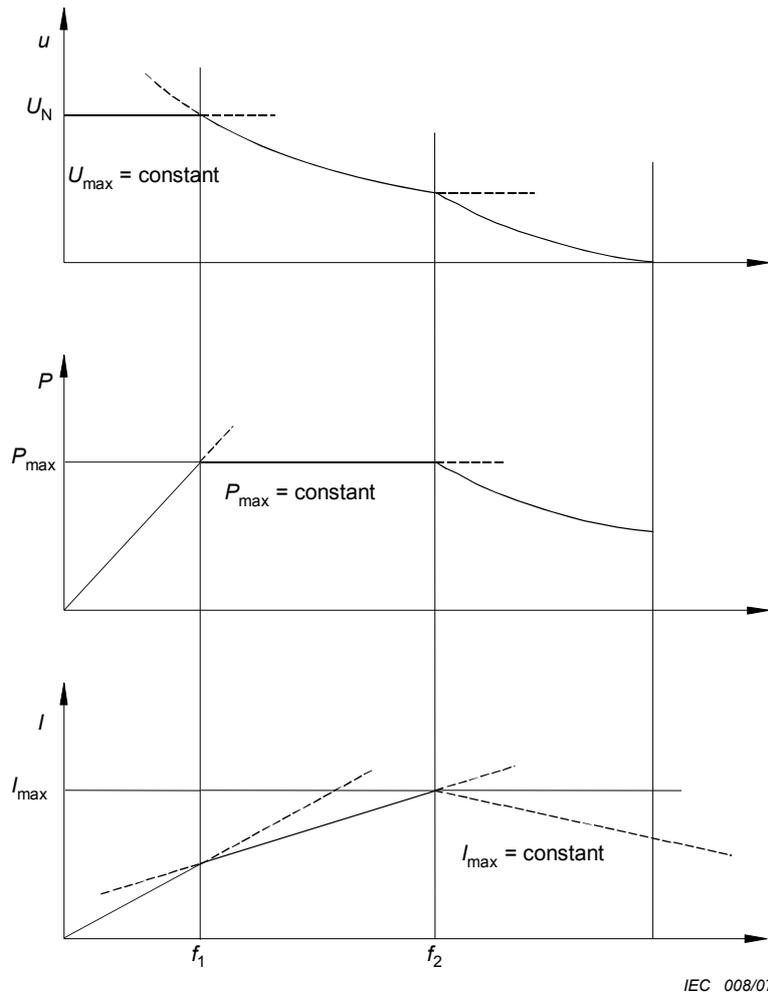


Figure B.1 – Supply conditions

The maximum voltage is in general a function of dielectric thickness (a), intrinsic field strength (E_D) and temperature (θ)

$$U_{max} = f(E_D, a, \theta)$$

For the frequency range $f \leq f_1$, the following is valid:

$$U_{max} = U_N$$

f_1 is the frequency at which the power loss of the capacitor is maximum:

$$P_{max} = \frac{U_N^2}{2} \omega \times C \tan \delta_1 \quad \omega = 2\pi f_1$$

f_2 est la fréquence à laquelle le courant maximal (I_{\max}) produit les pertes maximales (P_{\max}) dans le condensateur.

Pour les fréquences comprises entre f_1 et f_2 :

$$P_{\max} = \text{constante}$$

et f_2 est la fréquence à laquelle le courant efficace atteint son maximum:

$$I = I_{\max}$$

Au-delà de la fréquence maximale, le courant maximal doit être réduit à cause des effets de peau, etc.

Les valeurs caractéristiques des condensateurs sont les suivantes:

U_{\max}	tension maximale
P_{\max}	perte maximale
$\tan \delta_1$	tangente de l'angle de perte à la fréquence f_1
$\tan \delta_2$	tangente de l'angle de perte à la fréquence f_2
f_2	fréquence maximale pour la puissance totale des pertes et pour le courant maximal
I_{\max}	valeur maximale du courant efficace

NOTE Les conditions suggérées pour l'essai de stabilité thermique sont les suivantes:

$$1,21 P_{\max} = \frac{U^2}{2} \times \omega_2 \times C \times \tan \delta_2 = 1,21 \times \frac{I_{\max}^2}{\omega_2 \times C} \times \tan \delta_2 \quad \omega_2 = 2\pi f_2$$

f_2 is the frequency at which the maximum current (I_{\max}) produces the maximum power loss (P_{\max}) in the capacitor.

For the frequency range f_1 to f_2 :

$$P_{\max} = \text{constant}$$

and f_2 is the frequency at which the effective current reaches its maximum:

$$I = I_{\max}$$

Above the maximum frequency the maximum current shall be reduced due to skin effect, etc.

The characteristic values of the capacitors are the following:

U_{\max}	maximum voltage
P_{\max}	maximum power loss
$\tan \delta_1$	capacitor loss tangent at the frequency f_1
$\tan \delta_2$	capacitor loss tangent at the frequency f_2
f_2	maximum frequency for full power loss and maximum current
I_{\max}	maximum current r.m.s. value

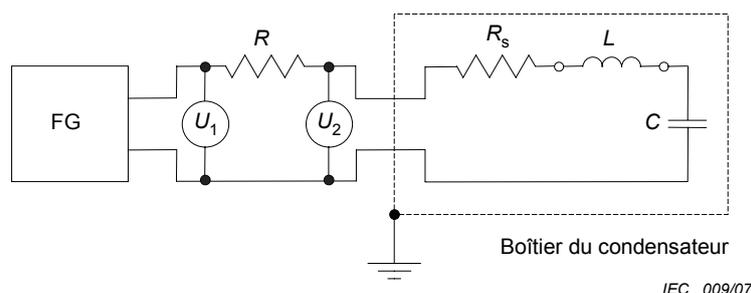
NOTE The suggested thermal stability test conditions are the following:

$$1,21 P_{\max} = \frac{U^2}{2} \times \omega_2 \times C \times \tan \delta_2 = 1,21 \times \frac{I_{\max}^2}{\omega_2 \times C} \times \tan \delta_2 \quad \omega_2 = 2\pi f_2$$

Annexe C (normative)

Méthodes de mesure de la fréquence de résonance – Exemples

C.1 Méthode 1



où

FG est le générateur à fréquence variable;

R est la résistance de charge non inductive directement connectée aux bornes du condensateur à contrôler;

R_s est la résistance équivalente série du condensateur;

L est l'inductance équivalente série du condensateur;

C est la capacité du condensateur;

U_1 U_2 sont les voltmètres électroniques.

Figure C.1 – Circuit de mesure

En faisant varier la fréquence, et en conservant U_1 constant, il est possible de tracer une courbe qui montre la relation entre la tension aux bornes du condensateur et la fréquence.

La valeur minimale de U_2 correspond à la fréquence de résonance (f_r).

Les connexions doivent être aussi courtes que possible.

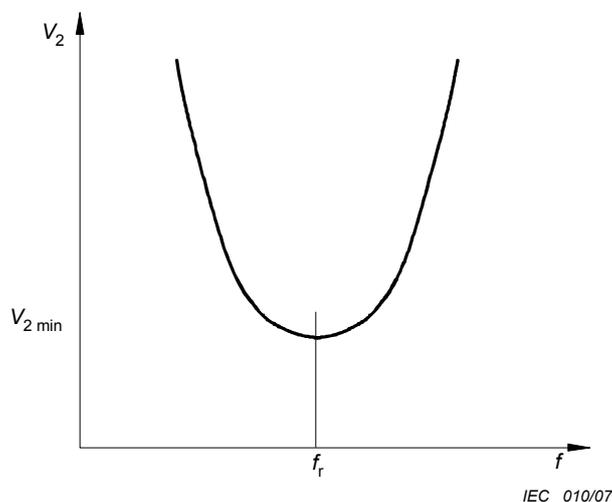
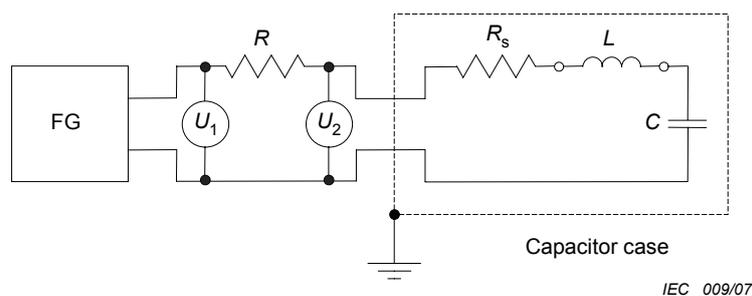


Figure C.2 – Relation entre la tension aux bornes du condensateur et la fréquence

Annex C (normative)

Resonance frequency measuring methods – Examples

C.1 Method 1



where

FG is the variable frequency generator;

R is the non-inductive load resistance directly connected to the tested capacitor terminals;

R_s is the capacitor equivalent series resistance;

L is the capacitor equivalent series inductance;

C is the capacitor capacitance;

U_1 U_2 are the electronic voltmeters.

Figure C.1 – Measuring circuit

By changing a frequency and keeping U_1 constant, it is possible to plot a graph which shows the relation between the voltage across the capacitor and the supply frequency.

The minimum value of U_2 corresponds to the resonance frequency (f_r).

The connections shall be as short as possible.

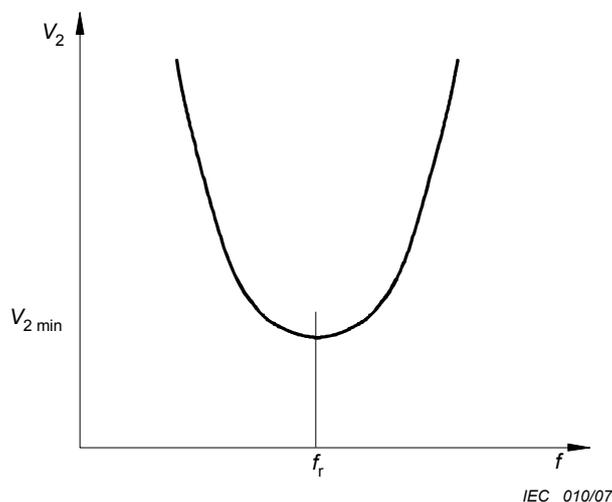


Figure C.2 – Relation between the voltage across the capacitor and the supply frequency

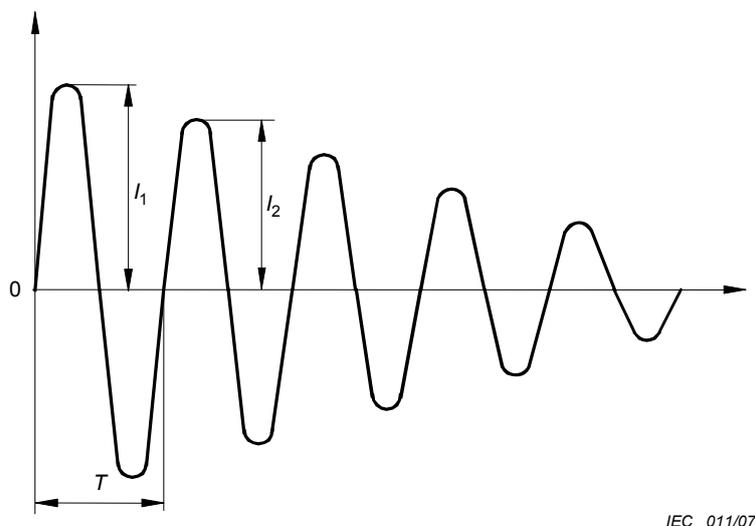
C.2 Méthode 2

L'unité doit être chargée par une tension continue, puis déchargée à travers un éclateur situé directement aux bornes du condensateur.

La forme d'onde du courant de décharge est enregistrée par un oscilloscope.

f_r est évalué par le comptage du nombre d'intersections avec l'axe des temps.

La forme de l'onde de décharge est une fonction de la résistance série équivalente et de l'inductance parasite.



NOTE Avec la seconde méthode, la fréquence de décharge est mesurée. Elle est égale à la fréquence de résonance propre si le facteur d'amortissement est faible et si l'inductance externe des connexions est négligeable en comparaison de celle des connexions internes.

Dans tous les cas, le facteur d'amortissement peut être pris en compte pour calculer l'inductance propre.

Figure C.3 – Forme d'onde du courant de décharge

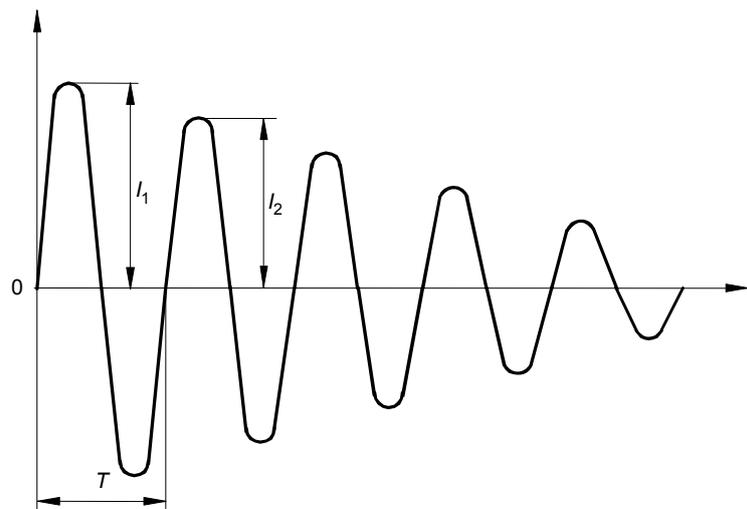
C.2 Method 2

The unit shall be charged by means of d.c. and then discharged through a gap situated directly at the capacitor terminals.

The discharge current wave shape is recorded by an oscilloscope.

f_r is evaluated by computation of the number of intersections of the time axis.

The shape of the discharge waveform is a function of the equivalent series resistance and the stray inductance.



IEC 011/07

NOTE With the second method, the discharge frequency is measured. This is equal to self resonance frequency if the damping factor is low and if the external inductance of the connections is negligible in comparison with that of internal connections.

In any case the damping factor can be taken into account to calculate the self-inductance.

Figure C.3 – Discharge current wave shape

Bibliographie

CEI 60050(436):1990, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 436: Condensateurs de puissance*

CEI 60077-1:1999, *Applications ferroviaires – Equipements électriques du matériel roulant – Partie 1: Conditions générales de service et règles générales*

CEI 60077-2:1999, *Applications ferroviaires – Equipements électriques du matériel roulant – Partie 2: Composants électrotechniques – Règles générales*

CEI 60146-1-1:1991, *Convertisseurs à semi-conducteurs – Spécifications communes et convertisseurs commutés par le réseau – Partie 1-1: Spécifications des clauses techniques de base*

CEI 61287-1:2005, *Applications ferroviaires – Convertisseurs de puissance embarqués sur le matériel roulant – Partie 1: Caractéristiques et méthodes d'essais*

CEI 60110-1:1998, *Condensateurs de puissance pour les installations de génération de chaleur par induction – Partie 1: Généralités*

CEI 60110-2:2000, *Condensateurs de puissance pour les installations de génération de chaleur par induction – Partie 2: Essai de vieillissement, essai de destruction et prescriptions pour l'essai de déconnexion des fusibles internes*

CEI 60143 (toutes les parties), *Condensateurs série destinés à être installés sur des réseaux*

CEI 60252-1:2001, *Condensateurs des moteurs à courant alternatif – Partie 1: Généralités – Caractéristiques fonctionnelles, essais et valeurs assignées – Règles de sécurité – Guide d'installation et d'utilisation*

CEI 60252-2:2003, *Condensateurs des moteurs à courant alternatif – Partie 2: Condensateurs de démarrage de moteurs*

CEI 60358:1990, *Condensateurs de couplage et diviseurs capacitifs*

CEI 60384-14 :2005 *Fixed capacitors for use in electronic equipment – Part 14: Sectional specification: Fixed capacitors for electromagnetic interference suppression and connection to the supply mains* (disponible actuellement seulement en anglais)

CEI 60831-1:1996, *Condensateurs shunt de puissance autorégénérateurs pour réseaux à courant alternatif de tension assignée inférieure ou égale à 1 000 V – Partie 1: Généralités – Caractéristiques fonctionnelles, essais et valeurs assignées – Règles de sécurité – Guide d'installation et d'exploitation*

CEI 60831-2:1995, *Condensateurs shunt de puissance autorégénérateurs pour réseaux à courant alternatif de tension assignée inférieure ou égale à 1 000 V – Partie 2: Essais de vieillissement, d'autorégénération et de destruction*

CEI 60871-1:2005, *Condensateurs shunt pour réseaux à courant alternatif de tension assignée supérieure à 1 000 V – Partie 1: Généralités*

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

Bibliography

IEC 60050(436):1990, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 436: Power capacitors*

IEC 60077-1:1999, *Railway applications – Electric equipment for rolling stock – Part 1: General service conditions and general rules*

IEC 60077-2:1999, *Railway applications – Electric equipment for rolling stock – Part 2: Electrotechnic*

IEC 60146-1-1:1991, *Semiconductor convertors – General requirements and line commutated convertors – Part 1-1: Specification of basic requirements*

IEC 61287-1:2005, *Railway applications – Power convertors installed on board rolling stock – Part 1: Characteristics and test methods*

IEC 60110-1:1998, *Power capacitors for induction heating installations – Part 1: General*

IEC 60110-2, 2000, *Power capacitors for induction heating installations – Part 2: Ageing test, destruction test and requirements for disconnecting internal fuses*

IEC 60143 (all parts), *Series capacitors for power systems*

IEC 60252-1:2001, *AC motor capacitors – Part 1: Performance – Testing and rating – Safety requirements – Guide for installation and operation*

IEC 60252-2:2003, *AC motor capacitors – Part 2: Motor start capacitors*

IEC 60358:1990, *Coupling capacitors and capacitor dividers*

IEC 60384-14:2005, *Fixed capacitors for use in electronic equipment – Part 14: Sectional specification: Fixed capacitors for electromagnetic interference suppression and connection to the supply mains*

IEC 60831-1:1996, *Shunt power capacitors of the self-healing type for a.c. systems having a rated voltage up to and including 1 000 V – Part 1: General – Performance, testing and rating – Safety requirements – Guide for installation and operation*

IEC 60831-2:1995, *Shunt power capacitors of the self-healing type for a.c. systems having a rated voltage up to and including 1 000 V – Part 2: Ageing test, self-healing test and destruction test*

IEC 60871-1:2005, *Shunt capacitors for a.c. power systems having a rated voltage above 1 000 V – Part 1: General*

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

CEI 60931-1:1996, *Condensateurs shunt de puissance non autorégénérateurs pour réseaux à courant alternatif de tension assignée inférieure ou égale à 1 000 V – Partie 1: Généralités – Caractéristiques fonctionnelles, essais et valeurs assignées – Règles de sécurité – Guide d'installation et d'exploitation*

CEI 60931-2:1995, *Condensateurs shunt de puissance non autorégénérateurs pour réseaux à courant alternatif de tension assignée inférieure ou égale à 1 000 V – Partie 2: Essais de vieillissement et de destruction*

CEI 61048:2006, *Appareils auxiliaires pour lampes – Condensateurs destinés à être utilisés dans les circuits de lampes tubulaires à fluorescence et autres lampes à décharge – Exigences générales et de sécurité*

CEI 61049:1991, *Condensateurs destinés à être utilisés dans les circuits de lampes tubulaires à fluorescence et autres lampes à décharge – Prescriptions de performance*

CEI 61270-1:1996, *Condensateurs pour les fours à micro-ondes – Partie 1: Généralités*

CEI 61881:1999, *Applications ferroviaires – Matériel roulant – Condensateurs pour électronique de puissance*



IEC 60931-1:1996, *Shunt power capacitors of the non-self-healing type for a.c. systems having a rated voltage up to and including 1 000 V – Part 1: General – Performance testing and rating – Safety requirements – Guide for installation and operation*

IEC 60931-2:1995, *Shunt power capacitors of the non-self-healing type for a.c. systems having a rated voltage up to and including 1 000 V – Part 2: Ageing test and destruction test*

IEC 61048:2006, *Auxiliaries for lamps – Capacitors for use in tubular fluorescent and other discharge lamp circuits – General and safety requirements*

IEC 61049:1991, *Capacitors for use in tubular, fluorescent and other discharge lamp circuits – Performance requirements*

IEC 61270-1:1996, *Capacitors for microwave ovens – Part 1: General*

IEC 61881:1999, *Railway applications – Rolling stock equipment – Capacitors for power electronics*

ISBN 2-8318-8965-0



9 782831 889658

ICS 31.060.70
