

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



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

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



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2014 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, 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 either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester. If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, 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'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00
info@iec.ch
www.iec.ch

About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigenda or an amendment might have been published.

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

The stand-alone application for consulting the entire bibliographical information on IEC International Standards, Technical Specifications, Technical Reports and other documents. Available for PC, Mac OS, Android Tablets and iPad.

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

The advanced search enables to find IEC publications by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...). It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details all new publications released. Available online and also once a month by email.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 30 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 14 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

More than 55 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

IEC Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: csc@iec.ch.

A propos de l'IEC

La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des Normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications IEC

Le contenu technique des publications IEC est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

Application autonome pour consulter tous les renseignements bibliographiques sur les Normes internationales, Spécifications techniques, Rapports techniques et autres documents de l'IEC. Disponible pour PC, Mac OS, tablettes Android et iPad.

Recherche de publications IEC - www.iec.ch/searchpub

La recherche avancée permet de trouver des publications IEC en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Restez informé sur les nouvelles publications IEC. Just Published détaille les nouvelles publications parues. Disponible en ligne et aussi une fois par mois par email.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 30 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 14 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

Plus de 55 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: csc@iec.ch.



IEC 60871-1

Edition 4.0 2014-05

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



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

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

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

XA

ICS 29.240.99; 31.060.70

ISBN 978-2-8322-1580-7

**Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.
Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.**

CONTENTS

FOREWORD.....	6
1 Scope.....	8
2 Normative references	9
3 Terms and definitions	9
4 Service conditions	12
4.1 Normal service conditions	12
4.2 Unusual service conditions	13
5 Quality requirements and tests	13
5.1 General.....	13
5.2 Test conditions	13
6 Classification of tests.....	13
6.1 General.....	13
6.2 Routine tests.....	13
6.3 Type tests	14
6.4 Acceptance tests	14
6.5 Endurance test (special test).....	14
7 Capacitance measurement (routine test).....	14
7.1 Measuring procedure	14
7.2 Capacitance tolerances.....	15
8 Measurement of the tangent of the loss angle ($\tan \delta$) of the capacitor (routine test).....	15
8.1 Measuring procedure	15
8.2 Loss requirements	16
8.3 Losses in external fuses	16
9 Voltage test between terminals (routine test)	16
9.1 General.....	16
9.2 AC test	16
9.3 DC test	16
10 AC voltage test between terminals and container (routine test).....	16
11 Test of internal discharge device (routine test)	17
12 Sealing test (routine test)	17
13 Thermal stability test (type test).....	17
13.1 General.....	17
13.2 Measuring procedure	17
14 Measurement of the tangent of the loss angle ($\tan \delta$) of the capacitor at elevated temperature (type test)	18
14.1 Measuring procedure	18
14.2 Requirements	18
15 Voltage tests between terminals and container (type tests).....	19
15.1 AC voltage test between terminals and container.....	19
15.2 Lightning impulse test between terminals and container.....	19
16 Overvoltage test (type test)	20
16.1 General.....	20
16.2 Conditioning of the sample before the test	20
16.3 Test procedure.....	20

16.4	Acceptance criteria	21
16.5	Validity of test	21
16.5.1	General	21
16.5.2	Element design	21
16.5.3	Test unit design	21
16.5.4	Waveform of overvoltage	21
17	Short-circuit discharge test (type test)	22
18	Insulation levels	22
18.1	Standard insulation values	22
18.2	General requirements	23
18.2.1	General	23
18.2.2	Adjacent insulating components and equipment	23
18.2.3	Capacitors insulated from ground	23
18.2.4	Capacitors with neutral connected to ground	23
18.3	Test between terminals and container of capacitor units	24
18.4	Capacitors in single-phase systems	24
19	Overloads – Maximum permissible voltage	27
19.1	Long duration voltages	27
19.2	Switching overvoltages	27
20	Overloads – Maximum permissible current	27
21	Safety requirements for discharge devices	28
22	Safety requirements for container connections	28
23	Safety requirements for protection of the environment	28
24	Other safety requirements	28
25	Markings of the capacitor unit	29
25.1	Rating plate	29
25.2	Standardized connection symbols	29
25.3	Warning plate	29
26	Markings of the capacitor bank	30
26.1	Instruction sheet or rating plate	30
26.2	Warning plate	30
27	Guide for installation and operation	30
27.1	General	30
27.2	Choice of the rated voltage	30
27.3	Operating temperature	31
27.3.1	General	31
27.3.2	Installation	31
27.3.3	High ambient air temperature	32
27.4	Special service conditions	32
27.5	Overvoltages	32
27.5.1	General	32
27.5.2	Restriking of switches	33
27.5.3	Lightning	33
27.5.4	Motor self-excitation	33
27.5.5	Star-delta starting	33
27.5.6	Capacitor unit selection	33
27.6	Overload currents	33

27.6.1	Continuous overcurrents	33
27.6.2	Transient overcurrents	34
27.7	Switching and protective devices	34
27.7.1	Withstand requirements	34
27.7.2	Restrike-free circuit-breakers.....	35
27.7.3	Relay settings.....	35
27.8	Choice of insulation levels	36
27.8.1	General	36
27.8.2	Altitudes exceeding 1 000 m	36
27.8.3	Influence of the capacitor itself	36
27.8.4	Overhead ground wires.....	38
27.9	Choice of creepage distances and air clearance	38
27.9.1	Creepage distance.....	38
27.9.2	Air clearances.....	39
27.10	Capacitors connected to systems with audio-frequency remote control	41
Annex A (normative)	Precautions to be taken to avoid pollution of the environment by polychlorinated biphenyls.....	42
Annex B (normative)	Additional definitions, requirements and tests for power filter capacitors	43
Annex C (normative)	Test requirements and application guide for external fuses and units to be externally fused	45
C.1	General.....	45
C.2	Terms and definitions.....	45
C.3	Performance requirements	45
C.4	Tests	45
C.4.1	Tests on fuses	45
C.4.2	Type tests on capacitor containers	45
C.5	Guide for coordination of fuse protection.....	46
C.5.1	General	46
C.5.2	Protection sequence	46
C.6	Choice of fuses	46
C.6.1	General	46
C.6.2	Non current-limiting fuses	47
C.6.3	Current-limiting fuses.....	47
C.7	Information needed by the user of the fuses.....	47
Annex D (informative)	Formulae for capacitors and installations	48
D.1	Computation of the output of three-phase capacitors from three single-phase capacitance measurements.....	48
D.2	Resonant frequency.....	48
D.3	Voltage increase	48
D.4	Inrush transient current.....	49
D.4.1	Switching in of single capacitor bank	49
D.4.2	Switching on of a bank in parallel with energized bank(s)	49
D.5	Discharge resistance in single-phase unit	49
D.6	Discharge time to 10 % of rated voltage.....	49
Annex E (informative)	Capacitor bank fusing and unit arrangement.....	51
E.1	General.....	51
E.2	Internally fused capacitor bank	51
E.3	Externally fused capacitor bank	51

E.4 Fuseless capacitor bank	51
Bibliography.....	54
Figure 1 – Time and amplitude limits for an overvoltage period	22
Figure 2 – Bank isolated from ground	37
Figure 3 – Bank isolated from ground (containers connected to ground)	37
Figure 4 – Bank connected to ground.....	38
Figure 5 – Air clearance versus AC withstand	41
Figure E.1 – Typical connections between capacitor units.....	52
Figure E.2 – Typical connections between elements within a capacitor unit	53
Table 1 – Letter symbols for upper limit of temperature range	12
Table 2 – Ambient air temperature for the thermal stability test.....	18
Table 3 – Standard insulation levels for range I ($1 \text{ kV} < U_m < 245 \text{ kV}$)	25
Table 4 – Standard insulation levels for range II ($U_m > 245 \text{ kV}$)	26
Table 5 – Admissible voltage levels in service	27
Table 6 – Insulation requirements	36
Table 7 – Specific creepage distances	38
Table 8 – Correlation between standard lightning impulse withstand voltages and minimum air clearances (Table A.1 from IEC 60071-2:1996).....	40

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

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

Part 1: General

FOREWORD

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

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

This fourth edition cancels and replaces the third edition published in 2005. This edition constitutes a technical revision.

This edition includes the following significant technical changes with respect to the previous edition:

- a) the overvoltage cycling test has been moved to this standard from the IEC 60871-2;
- b) the ranges of the standardized values of the highest voltage for equipment have been modified;
- c) for installations installed on altitudes above 1 000 m a correction factor to all insulation requirements has been introduced;
- d) new standard insulation tables have been defined;

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

FDIS	Report on voting
33/559/FDIS	33/564/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.

A list of all parts in the IEC 60871 series, published under the general title *Shunt capacitors for a.c. power systems having a rated voltage above 1 000 V*, can be found on the IEC website.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the stability 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.

IMPORTANT – The 'colour inside' logo on the cover page of this publication indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this document using a colour printer.

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

Part 1: General

1 Scope

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

2 Normative references

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

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

IEC 60071-1:2006, *Insulation co-ordination – Part 1: Definitions, principles and rules*

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

IEC 60815 (all parts), *Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions*

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

3 Terms and definitions

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

3.1

capacitor element

element

device consisting essentially of two electrodes separated by a dielectric

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-01-03]

3.2

capacitor unit

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

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-01-04]

3.3

capacitor bank

bank

number of capacitor units connected so as to act together

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-01-06]

3.4

capacitor

two-terminal device characterized essentially by its capacitance

Note 1 to entry: The term "capacitor" is used when it is not necessary to specify whether a capacitor unit or capacitor bank is meant.

[SOURCE: IEC 60050-151:2001, 151-13-28]

3.5

capacitor installation

one or more capacitor banks and their accessories

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-01-07]

3.6

discharge device of a capacitor

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

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-03-15, modified by replacement of “intended to” by “capable of” and of “to a given value” by “practically to zero”]

3.7

internal fuse of a capacitor

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

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-03-16]

3.8

line terminal

terminal intended for connection to a line conductor of a network

Note 1 to entry: In polyphase capacitors, a terminal intended to be connected to the neutral conductor is not considered to be a line terminal.

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-03-01, modified by addition of Note 1]

3.9

rated capacitance of a capacitor

C_N

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

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-01-12, modified by addition of “ C_N ”]

3.10

rated output of a capacitor

Q_N

reactive power for which the capacitor has been designed

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-01-16, modified by addition of “ Q_N ”]

3.11

rated voltage of a capacitor

U_N

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

Note 1 to entry: In the case of capacitors consisting of one or more separate circuits (for example single-phase units intended for use in polyphase connection, or polyphase units with separate circuits), U_N refers to the rated voltage of each circuit.

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

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-01-15, modified by addition of “ U_N ” and Note 1]

3.12

rated frequency of a capacitor

f_N

frequency for which the capacitor has been designed

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-01-14, modified by addition of " f_N "]

3.13

rated current of a capacitor

I_N

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

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-01-13, modified by addition of " I_N "]

3.14

capacitor losses

active power dissipated in the capacitor

Note 1 to entry: All loss-producing components should be included, for example:

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

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

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-04-10, modified by addition of Note 1]

3.15

tangent of the loss angle (of a capacitor)

$\tan \delta$

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

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-04-11]

3.16

maximum permissible a.c. voltage of a capacitor

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

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-04-07]

3.17

maximum permissible a.c. current of a capacitor

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

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-04-09]

3.18

ambient air temperature

temperature of the air at the proposed location of the capacitor

3.19

cooling air temperature

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

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

3.20**steady-state condition**

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

3.21**residual voltage**

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

4 Service conditions**4.1 Normal service conditions**

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

a) Residual voltage at energization

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

b) Altitude

If the altitude exceeds 1 000 m above sea level a correction factor shall be applied to all external insulation requirements as stipulated in Clause 18.

c) Ambient air temperature categories

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

The lowest ambient air temperature at which the capacitor may be operated should be chosen from the five preferred values +5 °C, –5 °C, –25 °C, –40 °C, –50 °C.

NOTE With the agreement of the manufacturer, the capacitor can be used at a lower temperature than the limits above, provided that energization takes place at a temperature at or above these limits (see 27.3.1).

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

Table 1 – Letter symbols for upper limit of temperature range

Ambient temperature °C			
Symbol	Maximum	Highest mean over any period of	
		24 h	1 year
A	40	30	20
B	45	35	25
C	50	40	30
D	55	45	35

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

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

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

4.2 Unusual service conditions

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

5 Quality requirements and tests

5.1 General

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

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

NOTE The year of issue (version number) of referred standards is given in test reports.

5.2 Test conditions

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

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

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

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

6 Classification of tests

6.1 General

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

6.2 Routine tests

- a) Capacitance measurement (see Clause 7).
- b) Measurement of the tangent of the loss angle ($\tan \delta$) of the capacitor (see Clause 8).
- c) Voltage test between terminals (see Clause 9).
- d) AC voltage test between terminals and container (see Clause 10).
- e) Test of internal discharge device (see Clause 11).
- f) Sealing test (see Clause 12).
- g) Discharge test on internal fuses (see 5.1.1 of IEC 60871-4:1996).

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

6.3 Type tests

- a) Thermal stability test (see Clause 13).
- b) Measurement of the tangent of the loss angle ($\tan \delta$) of the capacitor at elevated temperature (see Clause 14).
- c) AC voltage test between terminals and container (see 15.1).
- d) Lightning impulse voltage test between terminals and container (see 15.2).
- e) Overvoltage test (see Clause 16).
- f) Short-circuit discharge test (see Clause 17).
- g) Disconnecting test on internal fuses (see 5.3 of IEC 60871-4:1996).
- h) Test of an external fuse in combination with a capacitor (see Annex C).

Type tests are carried out in order to ascertain that, as regards design, size, materials and manufacture, the capacitor complies with the characteristics and operational requirements specified in this standard. Type tests are mainly intended to verify the design and they are not a tool to reveal quality variations in serial production

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

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

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

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

6.4 Acceptance tests

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

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

6.5 Endurance test (special test)

The endurance test is an ageing test on the dielectric design and composition. It will ascertain that the progression of deterioration resulting from increased voltage stress at elevated temperature does not cause untimely failure of the dielectric. The test covers a range of capacitor designs (see IEC/TS 60871-2).

7 Capacitance measurement (routine test)

7.1 Measuring procedure

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

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

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

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

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

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

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

7.2 Capacitance tolerances

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

–5 % to +10 % for capacitor units,

0 % to +10 % for banks.

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

In three-phase units and banks, the ratio of maximum to minimum values of capacitance measured between any two line terminals shall not exceed 1,05.

NOTE 1 For filters symmetric tolerances are normally used, see Annex B.

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

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

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

8.1 Measuring procedure

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

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

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

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

8.2 Loss requirements

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

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

8.3 Losses in external fuses

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

9 Voltage test between terminals (routine test)

9.1 General

Every capacitor shall be subjected for 10 s to either the test of 9.2 or that of 9.3. In the absence of an agreement, the choice is left to the manufacturer. During the test, neither puncture nor flashover shall occur.

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

NOTE 1 For polyphase capacitors, the test voltage is adjusted to give the appropriate voltage across each element.

NOTE 2 Units having internal element fuses, and within the capacitance tolerances in spite of one or more operated element fuses, can only be delivered after agreement between purchaser and manufacturer.

9.2 AC test

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

$$U_t = 2,0 U_N$$

9.3 DC test

The test voltage shall be as follows:

$$U_t = 4,0 U_N$$

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

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

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

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

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

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

During the test, neither puncture nor flashover shall occur.

11 Test of internal discharge device (routine test)

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

The choice of the method is left to the manufacturer.

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

12 Sealing test (routine test)

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

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

13 Thermal stability test (type test)

13.1 General

This test is intended to

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

13.2 Measuring procedure

The capacitor unit subjected to the test shall be placed between two other units of the same rating which shall be energized at the same voltage as the test capacitor. Alternatively, two dummy capacitors each containing resistors may be used. The dissipation in the resistors shall be adjusted to a value such that the case temperature of the dummy capacitors near the top opposing faces are equal to or greater than those of the test capacitor. The separation between the units shall be equal to or less than the normal spacing. The assembly shall be placed in a heated enclosure with no forced ventilation and in the most unfavourable thermal position according to the manufacturer's instructions for mounting on site. The ambient air temperature shall be maintained at or above the appropriate temperature shown in Table 2. It shall be checked by means of a thermometer having a thermal time constant of approximately 1 h. This thermometer shall be shielded so that it is exposed to the minimum possible thermal radiation from the three energized samples.

Table 2 – Ambient air temperature for the thermal stability test

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

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

During the last 6 h the temperature of the container near the top shall be measured at least four times. Throughout this period of 6 h, the temperature rise shall not increase by more than 1 K. Should a greater change be observed, the test shall be continued until the above requirement is satisfied for four consecutive measurements during a subsequent 6 h period. In case the thermal stability condition is not reached in 72 h, the test shall be stopped and the capacitor shall be declared to have failed in this test.

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

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

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

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

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

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

14.1 Measuring procedure

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

14.2 Requirements

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

15 Voltage tests between terminals and container (type tests)

15.1 AC voltage test between terminals and container

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

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

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

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

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

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

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

During the test, neither puncture nor flashover shall occur.

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

15.2 Lightning impulse test between terminals and container

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

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

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

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

The capacitor is considered to have passed the test if

- no puncture has occurred,

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

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

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

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

16 Overvoltage test (type test)

16.1 General

The overvoltage test is a test on the capacitor unit dielectric design and composition, and on the manufacturing process of this dielectric when assembled into a capacitor unit.

The test sample shall be manufactured by using standard production material and processing procedures. The test sample shall pass the applicable routine tests in 6.2. The test sample ratings shall be no less than 100 kvar.

The test conditions specified below are requirements valid for power-factor correction applications according to Clause 1, with the general service voltage conditions outlined in this standard. For other applications where overvoltages related to rated voltage are better known and controlled, other test voltages can be agreed upon between purchasers and suppliers. This can be applicable when extra safety margins are taken into account in the design calculations or when means for dielectric overvoltage protection with arresters or equipments for synchronized switching are used. The repeated overvoltage as stipulated in sub clause 16.3 b) should not be lower than 1,9 U_N .

16.2 Conditioning of the sample before the test

The test sample shall be conditioned for no less than 12 h at no less than its rated voltage. After the test, the capacitance of the test sample shall be measured at its rated voltage. The ambient temperature for the conditioning test shall be +15 °C to +35 °C.

16.3 Test procedure

- a) Place test sample in cold chamber for no less than 12 h at a temperature equal to or lower than the lowest temperature category for which the capacitor is designed.

NOTE 1 The test temperature level has a significant impact on the severity of the test. The low temperature ambient is either specified by the purchaser or to be agreed upon between the purchaser and the supplier.

- b) Remove and place test sample in still air at an ambient of +15 °C to +35 °C. Within 5 min after test sample is removed from the cold chamber, the test unit shall be subjected to 1,1 U_N . Within 5 min after the voltage application, an overvoltage of 2,25 U_N shall be applied without any voltage interruption for a duration of 15 cycles after which 1,1 times U_N voltage is maintained again without any voltage interruption. After an interval of 1,5 min to 2 min at 1,1 U_N , the overvoltage 2,25 U_N will again be applied and the process repeated until a total of 60 applications are completed for 1 day. (For more details about test voltage characteristics, see 16.5.4) .
- c) Repeat steps a) and b) above for 4 more days. The combined application of overvoltage 2,25 U_N shall be 300 total.

- d) Within 1 h of completion of step c) above, proceed to apply $1,4 U_N$ for total 96 h. The test ambient temperature shall be at $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $+35\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- e) Measurement of capacitance shall be repeated at rated voltage.

NOTE 2 For users who are concerned more on subjecting the test sample to continuous overvoltage switching for an extended period to verify its dielectric withstand capability, it might be agreed upon between purchaser and supplier to increase the number of applications of $2,25 U_N$ overvoltage per day. The number of days is then reduced accordingly to complete the total of 300 applications.

16.4 Acceptance criteria

The acceptance criteria are that no break down shall occur based on the capacitance measurement. If breakdown should occur, two more samples shall be tested and both samples shall have no breakdown.

16.5 Validity of test

16.5.1 General

Each overvoltage test will also cover other capacitor designs, which are allowed to differ from the tested design within the following stated limits.

16.5.2 Element design

An element design is considered to be comparable with the elements in the units to be manufactured if the following requirements are satisfied:

- a) the tested elements shall have the same or fewer number of layers of solid materials in the dielectric and be impregnated with the same fluid. The basic type of solid material shall be the same;
- b) both, the rated element voltage and the electrical stress level of the tested element shall be equal or higher;
- c) the aluminium foil (electrode) edge design shall be the same;
- d) element connections shall be of the same type, for example soldering, crimping, etc.

16.5.3 Test unit design

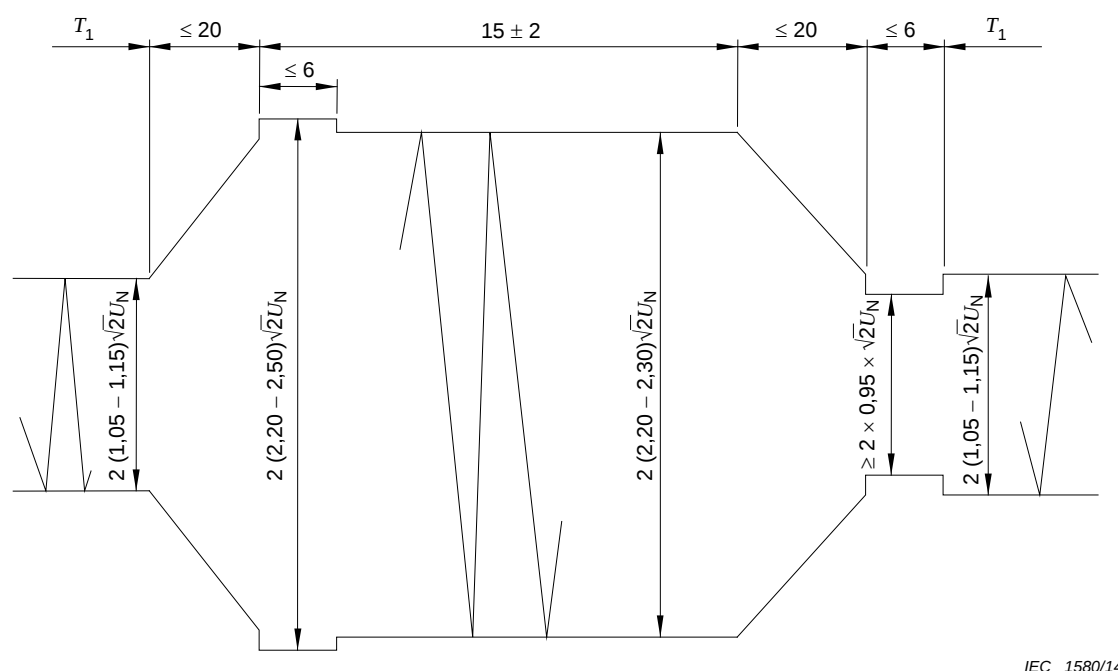
A test unit is considered to be comparable to the units to be manufactured if the following requirements are satisfied:

- a) test elements meeting the requirements of 16.5.2 shall be similarly assembled, have equal or thinner inter-element insulation, and be equally pressed within the manufacturing tolerance, as compared with the units to be manufactured;
- b) at least 4 of these test elements shall be connected to give not less than 100 kvar output at rated voltage. All connected elements shall be placed adjacent to each other and at least one inter-element insulation shall be assembled (at least two series groups of elements);
- c) a container to the manufacturer's standard design shall be used which height is not less than 20 % of the height of the unit to be manufactured. The depth and width of the container shall not be less than 50 % of the width and depth of the unit to be manufactured;
- d) the drying and impregnation process shall be identical with the normal production process.

16.5.4 Waveform of overvoltage

The test voltage shall have a frequency of 50 Hz or 60 Hz and the overvoltage shall be applied without any interruption of the steady voltage of $1,05 U_N$ to $1,15 U_N$.

The amplitude limits for the constant voltage and overvoltage are given in Figure 1.



NOTE Time durations, other than T_1 , are expressed in numbers of cycles of the test frequency.

T_1 is the interval of 1,5 min to 2 min between two consecutive overvoltage periods.

Figure 1 – Time and amplitude limits for an overvoltage period

17 Short-circuit discharge test (type test)

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

The test voltage shall be $2,5 U_N$.

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

NOTE 1 The purpose of the discharge test is to reveal any weak design of the internal connections.

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

18 Insulation levels

18.1 Standard insulation values

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

The standardized values of the highest voltage for equipment are divided in two ranges:

- **range I:** Above 1 kV to 245 kV included (Table 3). This range covers both transmission and distribution systems. The different operational aspects, therefore, shall be taken into account in the selection of the rated insulation level of the equipment.
- **range II:** Above 245 kV (Table 4). This range covers mainly transmission systems.

For most of the rated voltages, several rated insulation levels exist to allow for application of different performance criteria or overvoltage patterns. The choice should be made considering the degree of exposure to fast-front and slow-front overvoltages, the type of neutral earthing of the system and the type of overvoltage limiting devices (see IEC 60071-2).

18.2 General requirements

18.2.1 General

The general rules below shall apply for the capacitor, which could be either a single unit or a capacitor bank installation

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

For installations installed on altitudes above 1 000 m the following correction factor shall be multiplied to all insulation requirements defining external insulation performance such as a.c. wet and lightning impulse test voltage. It ensures that the insulation withstand at high altitude is achieved despite the equipment is tested at lower altitudes.

Correction factor:

$$k = e^{\frac{H-1000}{8150}}$$

18.2.2 Adjacent insulating components and equipment

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

18.2.3 Capacitors insulated from ground

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

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

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

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

18.2.4 Capacitors with neutral connected to ground

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

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

18.3 Test between terminals and container of capacitor units

Routine and type tests are required in Clauses 10, 15 and 16 to verify the requirements on bushings and terminal-to-container insulation according to 18.2.3 and 18.2.4.

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

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

where

U_t is the power-frequency test voltage;

U_N is the rated voltage of the capacitor;

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

18.4 Capacitors in single-phase systems

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

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

Table 3 – Standard insulation levels for range I ($1 \text{ kV} < U_m < 245 \text{ kV}$)

Highest voltage for equipment (U_m) kV (r.m.s. value)	Standard rated short-duration power-frequency withstand voltage kV (r.m.s. value)	Standard rated lightning impulse withstand voltage kV (peak value)
3,6	10	20 40
7,2	20	40 60
12	28	60 75 95
17,5 ^a	38	75 95
24	50	95 125 145
36	70	145 170
52 ^a	95	250
72,5	140	325
100 ^b	(150)	(380)
	185	450
123	(185)	(450)
	230	550
145	(185)	(450)
	230	550
	275	650
170 ^a	(230)	(550)
	275	650
	325	750
245	(275)	(650)
	(325)	(750)
	360	850
	395	950
	460	1 050
NOTE If values in brackets are considered insufficient to prove that the required phase-to-phase withstand voltages are met, additional phase-to-phase withstand voltage tests are needed.		
^a These U_m are non-preferred values in IEC 60038 and thus no most frequently combinations standardized in apparatus standards are given.		
^b This U_m value is not mentioned in IEC 60038 but it has been introduced in range I in some apparatus standards.		

Table 3 is extracted from IEC 60071-1:2006, Table 2.

Table 4 – Standard insulation levels for range II ($U_m > 245$ kV)

Highest voltage for equipment (<i>U_m</i>) kV (r.m.s. value)	Standard rated switching impulse withstand voltage			Standard rated lightning impulse withstand voltage ^b kV (peak value)
	Longitudinal insulation ^a kV (peak value)	Phase-to-earth kV (peak value)	Phase-to-phase (ratio to the phase-to-earth peak value)	
300 ^c	750	750	1,50	850
				950
	750	850	1,50	950
				1 050
362	850	850	1,50	950
				1 050
	850	950	1,50	1 050
				1 175
420	850	850	1,60	1 050
				1 175
	950	950	1,50	1 175
				1 300
	950	1 050	1,50	1 300
				1 425
550	950	950	1,70	1 175
				1 300
	950	1 050	1,60	1 300
				1 425
	950 1 050	1 175	1,50	1 425
				1 550
800	1 175	1 300	1,70	1 675
				1 800
	1 175	1 425	1,70	1 800
				1 950
	1 175 1 300	1 550	1,60	1 950
				2 100
NOTE The introduction of <i>U_m</i> above 800 kV is under consideration, and 1 050 kV, 1 100 kV and 1 200 kV are listed as <i>U_m</i> in IEC 60038:2009.				
^a Value of the impulse component of the relevant combined test while the peak value of the power-frequency component of opposite polarity is <i>U_m</i> × √2 / √3.				
^b These values apply as for phase-to-earth and phase-to-phase insulation as well; for longitudinal insulation they apply as the standard rated lightning impulse component of the combined standard rated withstand voltage, while the peak value of the power-frequency component of opposite polarity is 0,7 × <i>U_m</i> × √2 / √3.				
^c This <i>U_m</i> is a non preferred value in IEC 60038.				

Table 4 is extracted from IEC 60071-1:2006, Table 3.

19 Overloads – Maximum permissible voltage

19.1 Long duration voltages

Capacitor units shall be suitable for operation at voltage levels according to Table 5 (see 27.2 and 27.5.1).

Table 5 – Admissible voltage levels in service

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

The amplitudes of the overvoltages that may be tolerated without significant deterioration of the capacitor depend on their duration, their total number and the capacitor temperature (see 27.2). It is assumed that the overvoltages given in Table 5 and having a value higher than 1,15 U_N do not occur more than 200 times in the capacitor's life.

19.2 Switching overvoltages

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

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

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

20 Overloads – Maximum permissible current

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

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

21 Safety requirements for discharge devices

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

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

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

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

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

NOTE 1 In certain countries, smaller discharge times and voltages are required. In this event, the purchaser informs the manufacturer.

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

NOTE 2 An electrical fault in a unit protected by a fuse, or a flashover across part of the bank, can produce local residual charges inside the bank which cannot be discharged within the specified time by means of a discharge device connected between the terminals of the bank.

NOTE 3 A formula for the calculation of the discharge resistance is given in Annex D.

22 Safety requirements for container connections

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

In case of a complete short circuit failure of a capacitor the short circuit current might exceed the fault current capability. Possible impact on personnel safety should always be carefully considered. The limitations of various protective means as fuses, current limiters, enclosures etc., shall be thoroughly taken into account. The risk of fire and subsequent smoke explosions should be specially considered for indoor or other enclosed assembly designs.

23 Safety requirements for protection of the environment

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

24 Other safety requirements

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

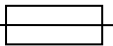
25 Markings of the capacitor unit

25.1 Rating plate

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

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

The insulation level shall be marked by means of two numbers separated by a stroke, the first number giving the r.m.s. value of the power-frequency test voltage, in kilovolts, and the second number giving the peak value of the impulse test voltage, in kilovolts (for example 28/75) (see Clause 18). For units not tested according to 15.2 the insulation level marking shall be omitted;

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

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

25.2 Standardized connection symbols

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

D	or		= delta
Y	or		= star
YN	or		= star, neutral brought out
III	or		= three sections without internal interconnections

25.3 Warning plate

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

Regarding capacitors with polychlorobiphenyl impregnant, see Annex A.

26 Markings of the capacitor bank

26.1 Instruction sheet or rating plate

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

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

26.2 Warning plate

Subclause 25.3 is also valid for the bank.

27 Guide for installation and operation

27.1 General

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

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

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

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

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

27.2 Choice of the rated voltage

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

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

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

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

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

- shunt-connected capacitors may cause a voltage increase in the network where they are located (see Annex D). This voltage increase may be greater due to the presence of harmonics. Capacitors are therefore liable to operate at a higher voltage than that measured before connecting the capacitors;
- the voltage at the capacitor terminals may be particularly high at times of light load (see Annex D)

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

NOTE See Clause 19 concerning maximum permissible voltage.

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

27.3 Operating temperature

27.3.1 General

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

When the capacitor dielectric reaches a temperature below the lower limit of its category, there may be the danger of initiating partial discharges in the dielectric. This is of particular importance at switching operations.

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

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

27.3.2 Installation

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

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

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

Capacitors installed at high altitudes (more than 1 000 m) will be subject to decreased convective heat dissipation, which should be considered when determining the output of the units. The ambient temperature, however, is usually lower at such an altitude (see also 27.8.2).

27.3.3 High ambient air temperature

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

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

27.4 Special service conditions

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

- **high relative humidity:** it may be necessary to use insulators of special design. Attention is drawn to the possibility of external fuses being shunted by a deposit of moisture on their surfaces;
- **rapid mould growth:** metals, ceramic materials and some paints and lacquers do not support mould growth. When fungicidal materials are used, they do not retain their poisoning property for more than several months. In any case, mould may develop in an installation on places where dust, etc. can settle;
- **corrosive atmospheres:** such atmospheres are found in industrial and coastal areas. It should be noted that in climates of higher temperature the effects may be more severe than in temperate climates. Highly corrosive atmospheres may also be present in indoor applications;
- **pollution:** when capacitors are mounted in a location with a high degree of pollution, special precautions should be taken (see 27.9.1);
- **altitudes exceeding 1 000 m:** capacitors used at altitudes exceeding 1 000 m are subject to special conditions. Guidelines for correction of insulation requirements are given in 18.2.
- **earthquake areas:** in some areas there is a higher probability of earthquakes, which may affect the mechanical design of the capacitors and/or banks to be installed in such areas. The purchaser shall specify acceleration amplitude and damping values.

27.5 Overvoltages

27.5.1 General

Clause 19 specifies overvoltage factors.

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

27.5.2 Restriking of switches

High overvoltage transients may be encountered when capacitors are disconnected by switching devices which allow restriking. Care should be taken to select switching devices which operate without causing excessive overvoltage.

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

27.5.3 Lightning

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

27.5.4 Motor self-excitation

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

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

27.5.5 Star-delta starting

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

27.5.6 Capacitor unit selection

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

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

27.6 Overload currents

27.6.1 Continuous overcurrents

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

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

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

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

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

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

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

27.6.2 Transient overcurrents

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

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

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

In case of a complete short circuit failure the fault current might exceed the specified transient overcurrent capability. Possible impact on personnel safety should always be carefully considered (see also Clause 22).

27.7 Switching and protective devices

27.7.1 Withstand requirements

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

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

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

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

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

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

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

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

27.7.2 Restrike-free circuit-breakers

Circuit-breakers suitable for capacitor switching should be used. For example, the device should be such that restriking during breaking operations, which may result in excessive overvoltages, cannot occur (see also 27.5.2).

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

27.7.3 Relay settings

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

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

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

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

27.8 Choice of insulation levels

27.8.1 General

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

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

Regarding choice of creepage distances, see 27.9.

27.8.2 Altitudes exceeding 1 000 m

Standard insulation levels might be too low for use at altitudes higher than 1 000 m (see 4.1). Corrections factors to apply is given in 18.2.

27.8.3 Influence of the capacitor itself

The voltage withstand values in Table 3 to Table 4 are in accordance with IEC 60071 series, and are chosen to give sufficient margin to transient overvoltages for objects having low capacitance values.

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

In Clause 18 different insulation requirements for different insulation paths and connection alternatives have been considered according to Table 6. The different connections are sketched in Figure 2, Figure 3 and Figure 4.

Table 6 – Insulation requirements

Type	Insulation requirement	Subclause
A1	Full insulation a.c./LIWL ^a	18.2.2
A2	Full insulation a.c./LIWL ^a	18.2.3, 1st paragraph
A3	Full insulation a.c./LIWL ^a	18.2.3, 2nd paragraph
B1	Only a.c., 2,15 p.u.	18.2.3, 4th paragraph 18.2.4, 2nd paragraph
B2	Only a.c., 2,5 p.u.	18.2.3, 3rd paragraph 18.2.4, 1st paragraph
^a Lightning impulse withstand level.		

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

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

The a.c. requirement only is specified for insulation which is in parallel with and in close physical proximity to the capacitor dielectric. This is applicable to bushings, terminal-to

container insulation and inter-rack insulation. For insulation located some distance from the capacitor, the full insulation requirement according to type A1 shall always apply.

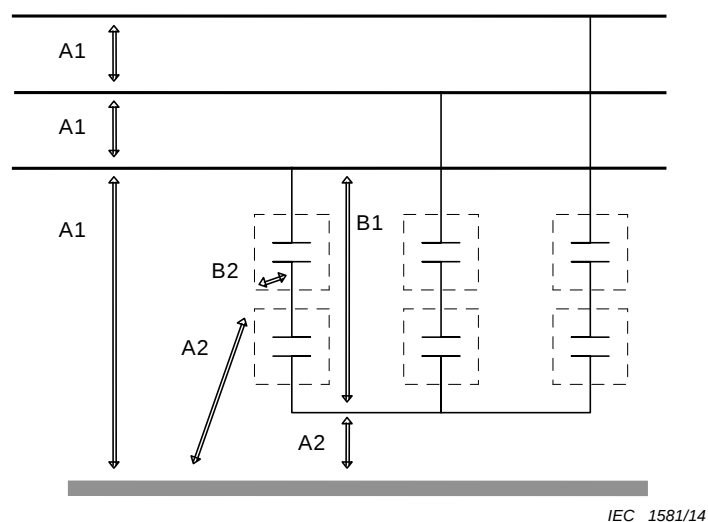
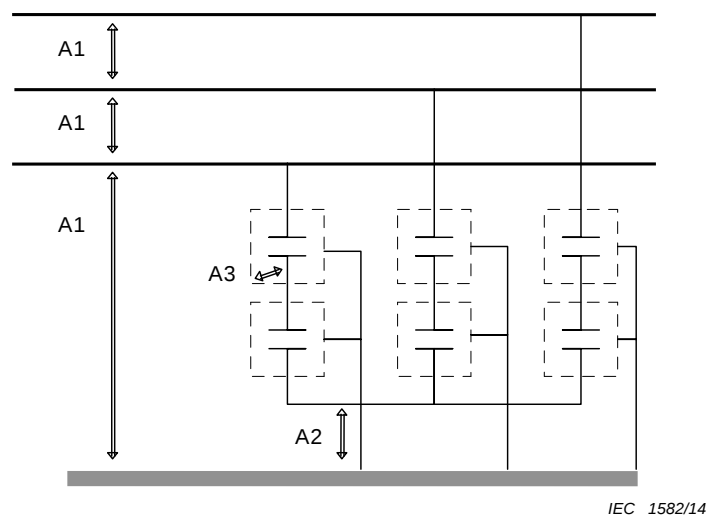


Figure 2 – Bank isolated from ground



**Figure 3 – Bank isolated from ground
(containers connected to ground)**

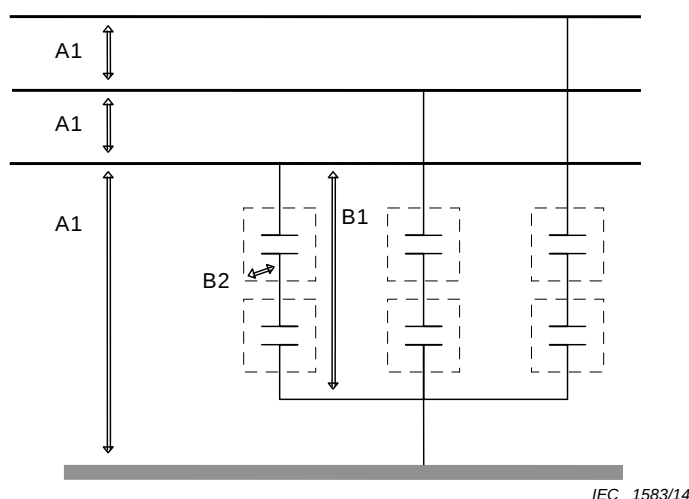


Figure 4 – Bank connected to ground

27.8.4 Overhead ground wires

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

27.9 Choice of creepage distances and air clearance

27.9.1 Creepage distance

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

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

If not otherwise specified values are recommended to be selected from Table 7, which is based on data given in IEC 60815-2 (ceramic and glass insulators) and IEC 60815-3 (polymer insulators).

Table 7 – Specific creepage distances

Site pollution severity class (SPS)	Pollution severity	Unified specific creepage distance (USCD), mm/kV
a	Very light	22
b	Light	28
c	Medium	35
d	Heavy	44
e	Very heavy	54

27.9.2 Air clearances

Guidelines for selection of air clearance distance are found in Annex A of IEC 60071-2:1996. The requirements are based on lightning or switching impulse voltages and are applicable when full insulation according to Clause 18 and 27.8 is required. Minimum clearances have been determined for different electrode configurations. Generally, unless justified by the supplier, the clearance should be based on rod-structure clearances.

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

Table 8, taken from IEC 60071-2, should be used for for phase-to-phase and phase-to-earth insulation for which lightning impulse voltage withstand is defined.

For selection of air clearance across insulation paths where only AC voltage withstand requirement apply (see Clause 18 and 27.8) the recommendations in Annex G of IEC 60071-2:1996 should be used. Minimum air clearance versus AC-withstand according to Figure 5.

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

Table 8 – Correlation between standard lightning impulse withstand voltages and minimum air clearances (Table A.1 from IEC 60071-2:1996)

Standard lightning impulse withstand voltage kV	Minimum clearance mm	
	Rod structure	Conductor structure
20	60	
40	60	
60	90	
75	120	
95	160	
125	220	
145	270	
170	320	
250	480	
325	630	
450	900	
550	1 100	
650	1 300	
750	1 500	
850	1 700	1 600
950	1 900	1 700
1 050	2 100	1 900
1 175	2 350	2 200
1 300	2 600	2 400
1 325	2 850	2 600
1 550	3 100	2 900
1 675	3 350	3 100
1 800	3 600	3 300
1 950	3 900	3 600
2 100	4 200	3 900
NOTE The standard lightning impulse is applicable to phase-to-phase and phase-to-earth insulation. For phase-to-earth insulation, the minimum clearance for conductor structures and rod structures is applicable. For phase-to-phase insulation, the minimum clearance for rod structures is applicable.		

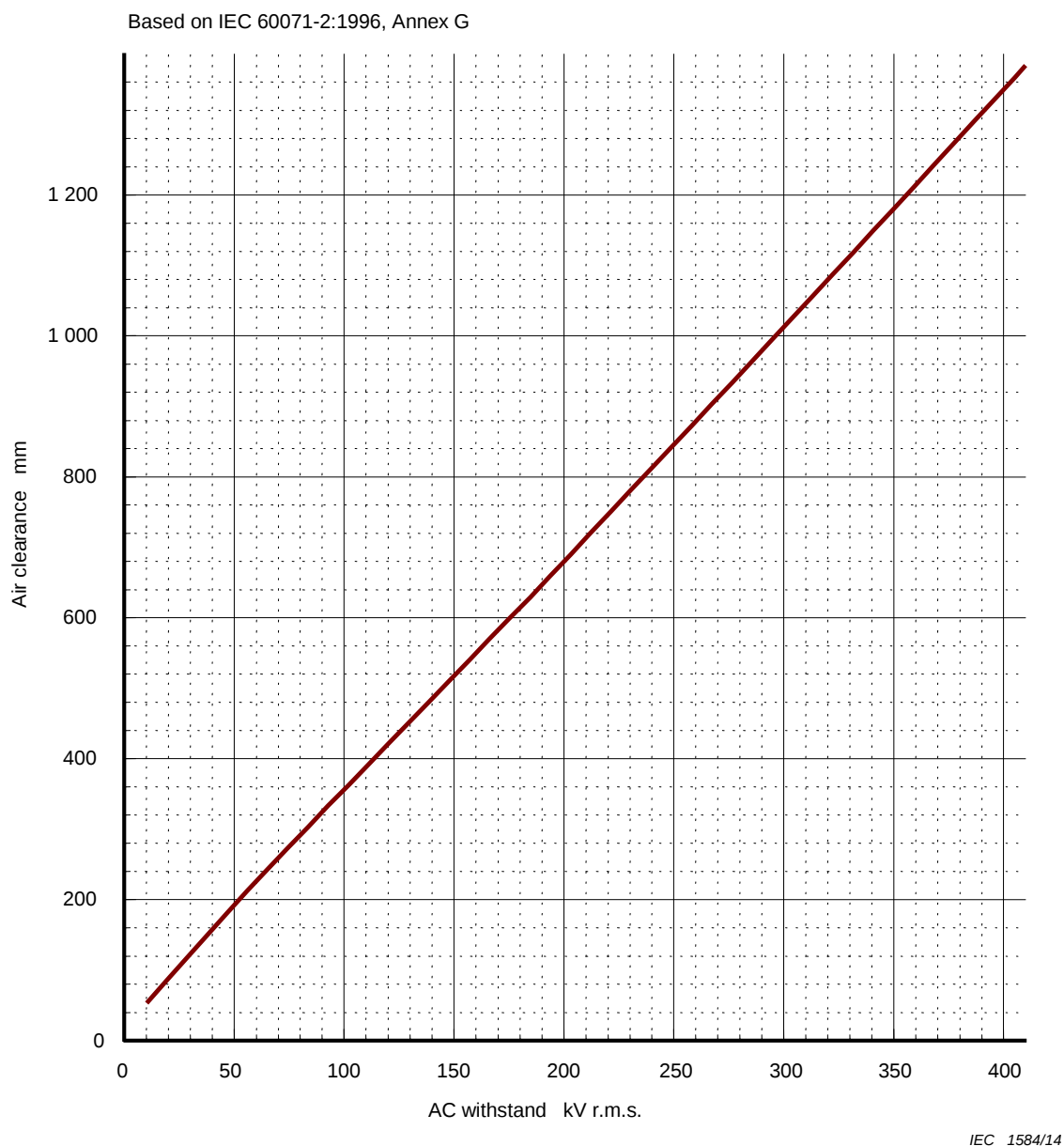


Figure 5 – Air clearance versus AC withstand

27.10 Capacitors connected to systems with audio-frequency remote control

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

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

Annex A

(normative)

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

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

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

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

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

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

Annex B (normative)

Additional definitions, requirements and tests for power filter capacitors

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

Add the following definition to Clause 3:

3.22

band-pass and high-pass filter capacitor

filter capacitor

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

Addition to 3.10:

Note 1 to entry: For filter capacitors, the rated output is the arithmetic sum of outputs generated at the fundamental frequency and at the harmonics frequencies.

Addition to 3.11:

Note 2 to entry: In the case of filter capacitors, U_N is defined as the arithmetic sum of the r.m.s. voltages arising from the fundamental voltage and the harmonic voltage, or as the voltage calculated from rated output (see addition to 3.10) and capacitor reactance at rated frequency, whichever value is the greater.

Addition to 3.13:

Note 1 to entry: For filter capacitors the rated current is defined as the square root of the sum of the squared values of the rated currents at the fundamental and harmonic frequencies. Accessories such as busbars shall be designed to operate satisfactorily at this current and at overcurrents (see Clause 20).

Addition to 7.2:

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

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

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

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

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

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

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

Addition to 9.2:

For filter capacitors:

$$U_t = 2,0 U_1 + 1,5 U_H$$

where

U_1 is the fundamental frequency r.m.s. voltage after installation;

U_H is the arithmetic sum of the r.m.s. values of the harmonic voltages after installation.

Addition to 9.3:

For filter capacitors:

$$U_t = 4,0 U_1 + 3 U_H$$

Addition to 13.2:

NOTE If, for filter capacitors, $1,44 Q_N$ is lower than the output determined by $1,1 U_N$ and C_N at fundamental frequency, this latter test voltage is used in the thermal stability test.

Addition to Clause 18:

For filter capacitors, U_m refers to fundamental frequency voltage at the terminals of the filter circuit after installation.

However, if the arithmetic sum of the r.m.s. values of the harmonic voltages U_H is greater than 0,5 times the fundamental frequency voltage U_1 (i.e. $U_H > 0,5 U_1$), the insulation level of a capacitor shall be chosen according to the highest voltage for equipment in the network U_m increased by 0,5 U_H .

The insulation level and creepage distance shall be chosen from the standard levels. Subclause 27.2 should also be taken into consideration.

Addition to Clause 20:

For filter capacitors, the maximum permissible current shall be agreed between manufacturer and purchaser.

Addition to 25.1 and 26.1:

For filter capacitors, the tuned harmonic frequency shall be marked, preferably after rated frequency.

For example:

50 Hz + 250 Hz	(narrow band-pass filter)
50 Hz + 550/650 Hz	(broad band-pass filter)
50 Hz + ≥ 750 Hz	(high-pass filter)

Annex C

(normative)

Test requirements and application guide for external fuses and units to be externally fused

C.1 General

This annex applies to external fuses used with high-voltage shunt capacitors. The fuses shall be in accordance with IEC 60549.

The object of this annex is

- a) to specify rules regarding testing and performances of external fuses,
- b) to provide a guide for the application of external fuses.

C.2 Terms and definitions

For the purposes of this annex, the terms and definitions given in the IEC 60549, as well as the following, apply.

C.2.1

external fuse

fuse connected outside the capacitor unit(s) and mounted electrically in series with one unit or one group of parallel units

C.3 Performance requirements

The performance requirements of the fuse shall be in accordance with IEC 60549.

The fuse shall be able to carry the number of inrush current surges due to switching, during the life of the capacitor. The peak value of the inrush current shall not exceed 100 times the rated (r.m.s.) current (see 27.6.2).

NOTE 1 If the service conditions permit, the words “during the life of the capacitor” can be replaced by “until the next regular maintenance inspection”.

The fuse(s) connected to undamaged unit(s) shall be able to carry the discharge currents due to the breakdown of other unit(s) and the currents due to short-circuits external to the unit(s).

NOTE 2 There are a large number of ratings of capacitors that can be used with a particular fuse and a large number of types and ratings of fuses which can be used with a particular capacitor; therefore, a type test has not been specified for the combination of a fuse with a capacitor. However, for an application where the capacitor/fuse combination has been specified, a discharge type test based on the application conditions can be carried out by agreement between manufacturer and purchaser.

C.4 Tests

C.4.1 Tests on fuses

See IEC 60549.

C.4.2 Type tests on capacitor containers

Under consideration.

C.5 Guide for coordination of fuse protection

C.5.1 General

Each fuse is connected in series with one unit or one group of units which the fuse is intended to isolate if the unit or one of the units in the group becomes faulty.

Depending on the bank arrangement and the internal connections of the unit, the current through the faulty unit due to its failure, together with the current due to the discharge of stored energy in units connected in parallel with the faulty unit, cannot be sufficient to operate the fuse until several of the series connected elements of the faulty unit have failed. In order to ensure that the fuse will operate and isolate a completely failed unit, the fuse should be rated such that it will operate when subjected solely to the resulting power-frequency overcurrent which would flow in the short-circuited unit.

The operation of one or more fuses will cause a change of voltage distribution within the bank. The voltage across the sound unit(s) should not exceed the value given in Clause 19, nor exist for longer than the corresponding duration given in Clause 19. Unless arrangements are made for the disconnection of the bank to achieve this requirement, all the units in the bank should be rated appropriately for the more severe duty arising from the disconnection of units due to operated fuses (see also Clause 21, Note 3).

For units with series-connected elements, the breakdown of an element causes voltage distribution changes within the bank and within the unit to occur before fuse operation.

These voltage changes should be considered with respect to the electrical protection of the bank.

C.5.2 Protection sequence

The various protective devices of a capacitor bank should operate in a specified order.

Normally the first stage is the operation of the unit (group) fuse. The second stage is the relay protection of the bank (for example overcurrent or unbalance protection). The third stage is the network or equipment protection.

NOTE 1 Depending on the size of the bank, the design of the relay protection, etc., all three stages are not necessarily used in all capacitor banks.

NOTE 2 In large banks, an alarm stage can also be used.

NOTE 3 Unless the fuse always operates as a result of discharge energy within the voltage range of $0,9 \sqrt{2} \times U_N$ to $2 \sqrt{2} \times U_N$, the manufacturer provides time/current characteristics and tolerances for the fuse.

NOTE 4 In some cases, the unbalance protection is more sensitive than the fuses, implying fuse operation only, for example, for flashover across the bushing or complete breakdown of the dielectric of the unit.

In such a case, the unbalance protection is the first stage protection and the fuse(s) act as a back-up protection.

C.6 Choice of fuses

C.6.1 General

In selecting fuses, consideration should be given to minimizing the probability of case rupture in the event of a capacitor unit failure by making use of the best available data and guidelines. The data and the guidelines employed shall be agreed upon by the purchaser and manufacturer.

This requirement refers to power-frequency overcurrent as well as to stored energy in parallel with the failed unit.

In the selection of fuses, consideration should be given to the electrical and thermal conditions imposed on them should they be in circuit during the type tests of Clauses 13 and 17.

C.6.2 Non current-limiting fuses

These are usually of the expulsion type, with renewable fuse links.

They have little or no current-limiting action on either working frequency current or stored energy discharge.

The total energy stored in the capacitor in parallel with the failed capacitor should be less than the fuse can discharge without exploding, and less than the energy required to burst the failed capacitor (see C.6.1).

This type of fuse may be used where the working frequency overcurrents which can be supplied to the faulty unit are sufficiently low.

C.6.3 Current-limiting fuses

This type of fuse limits working frequency overcurrents to less than the prospective value and reduces the current to zero before the normal working frequency current zero.

A properly designed current-limiting fuse will discharge only a portion of the stored energy available to the failed capacitor.

The amount let through by the fuse should be less than that required to burst a failed capacitor (see C.6.1).

These fuses should be used when either the working frequency overcurrents or maximum stored energy in parallel with a possible failed unit is high enough to cause bursting of an expulsion fuse or a failed capacitor. Properly designed current-limiting fuses impose no upper limit on the parallel stored energy available to a failed capacitor.

C.7 Information needed by the user of the fuses

To be able to choose the right fuse for each application, it may be necessary to refer to some or all of the information given in IEC 60549.

Annex D (informative)

Formulae for capacitors and installations

D.1 Computation of the output of three-phase capacitors from three single-phase capacitance measurements

The capacitance measured between any two line terminals of a three-phase capacitor of either delta or star connection are denoted as C_a , C_b , and C_c . If the symmetry requirements laid down in 7.2 are fulfilled, the output Q of the capacitor can be computed from the equation:

$$Q = \frac{2}{3}(C_a + C_b + C_c)U_N^2 \times 10^{-6}$$

where

C_a , C_b , and C_c are expressed in microfarads;

U_N is expressed in kilovolts;

Q is expressed in megavars.

D.2 Resonant frequency

A capacitor may be in resonance with a harmonic, in accordance with the following equation in which r is an integer:

$$r = \sqrt{\frac{S}{Q}}$$

where

S is the short-circuit power (MVA) at the point where the capacitor is to be connected;

Q is expressed in megavars;

r is the harmonic number, that is the ratio between the resonant harmonic frequency (Hz) and the network frequency (Hz).

D.3 Voltage increase

Connection of a shunt capacitor will cause the following permanent voltage increase:

$$\frac{\Delta U}{U} \approx \frac{Q}{S}$$

where

ΔU is the voltage increase;

U is the voltage before connection of the capacitor;

S is the short-circuit power (MVA) at the point where the capacitor is to be connected;

Q is expressed in megavars.

D.4 Inrush transient current

D.4.1 Switching in of single capacitor bank

$$\hat{I}_S \approx I_N \sqrt{\frac{2S}{Q}}$$

where

$\hat{I}_S$ is the crest of inrush bank current, expressed in amperes;

I_N is the rated capacitor (r.m.s.) bank current expressed in amperes;

S is the short-circuit power (MVA) at the point where the capacitor is to be connected;

Q is expressed in megavars.

D.4.2 Switching on of a bank in parallel with energized bank(s)

$$\hat{I}_S = \frac{U\sqrt{2}}{\sqrt{X_C X_L}} \text{ where } X_C = 3U^2 \left(\frac{1}{Q_1} + \frac{1}{Q_2} \right) \times 10^{-6}$$

where

$\hat{I}_S$ is the crest of inrush bank current, expressed in amperes;

U is the phase-to-ground voltage, expressed in volts;

X_C is the series-connected capacitive reactance per phase, expressed in ohms;

X_L is the inductive reactance per phase between the banks, expressed in ohms;

Q_1 is the output of the bank to be switched in, expressed in megavars;

Q_2 is the sum of the output of the already energized bank(s), expressed in megavars.

D.5 Discharge resistance in single-phase unit

$$R \leq \frac{t}{C \ln (U_N \sqrt{2}/U_R)}$$

where

t is the time for discharge from $U_N \sqrt{2}$ to U_R , expressed in seconds;

R is the discharge resistance, expressed in megohms;

C is the capacitance, expressed in microfarads;

U_N is the rated voltage of unit, expressed in volts;

U_R is the permissible residual voltage, expressed in volts;

(see Clause 21 for limits of t and U_R).

D.6 Discharge time to 10 % of rated voltage

$$t_1 = 2,65 RC = \frac{2,65t}{\ln(U_N \sqrt{2}/U_R)}$$

where

t is the time for discharge from $U_N \sqrt{2}$ to U_R , expressed in seconds;

U_N is the rated voltage of unit, expressed in volts;

U_R is the permissible residual voltage, expressed in volts;

t_1 is the discharge time expressed in seconds to 10 % of rated voltage.

If the limits of Clause 21 are strictly observed, then:

$$t_1 = \frac{1\,590}{\ln(U_N/53)}$$

Annex E (informative)

Capacitor bank fusing and unit arrangement

E.1 General

Three different types of fusing and unit arrangement are applied on shunt capacitor banks. This annex outlines these types and the associated arrangement of the capacitor units. Refer to Figures E.1 and E.2.

E.2 Internally fused capacitor bank

The typical arrangement used within an internally fused capacitor unit involves groups of fused elements connected in parallel. These groups are then connected in series to realize the rating for the unit. The units are connected in series and parallel as necessary to meet the overall ratings of the bank. A number of different arrangements are possible. One bank phase may be split into two or more parallel parts to allow capacitor current unbalance detection.

The failure of a capacitor element results in discharge current from the parallel elements through the associated internal fuse and blowing of the fuse. This results in increased voltage on the parallel elements within the unit and a much smaller increase in the voltage across the associated unit. The magnitudes of these voltage increases are highly dependent on the number of elements in parallel in the manufacture's design.

Element failure is most likely to occur when the voltage across the bank is high. As required by IEC 60871-4, internal fuses are designed to operate correctly for voltages that are greater than $0,9 \times U_N$ and up to and including $2,5 \times U_N$. The additional current and voltage resulting from the blowing of some fuses should be taken into account in the design.

The capacitor units may have one or two insulated terminals.

E.3 Externally fused capacitor bank

The typical arrangement used with externally fused capacitors involves the connection of groups of fused capacitors in parallel as necessary to meet the current rating of the bank. These groups are connected in series to realize the voltage and power ratings of the bank. One bank phase may be split into two or more parallel parts to allow capacitor current unbalance detection.

The failure of a capacitor unit results in increased current in the external fuse and blowing of the fuse. This results in increased voltage on the parallel units. The magnitude of this voltage increase is dependent on number of units in parallel in the manufacture's design.

Annex C and IEC 60549 contains more specific requirements and guidelines for proper application of external fuses.

The capacitor units typically have one insulated terminal.

E.4 Fuseless capacitor bank

The typical arrangement used with fuseless capacitors involves strings of series connected capacitor units. The number of units connected in series is as required to achieve the

necessary voltage capability. These strings of capacitors are connected in parallel as necessary to realize the current and power ratings of the bank.

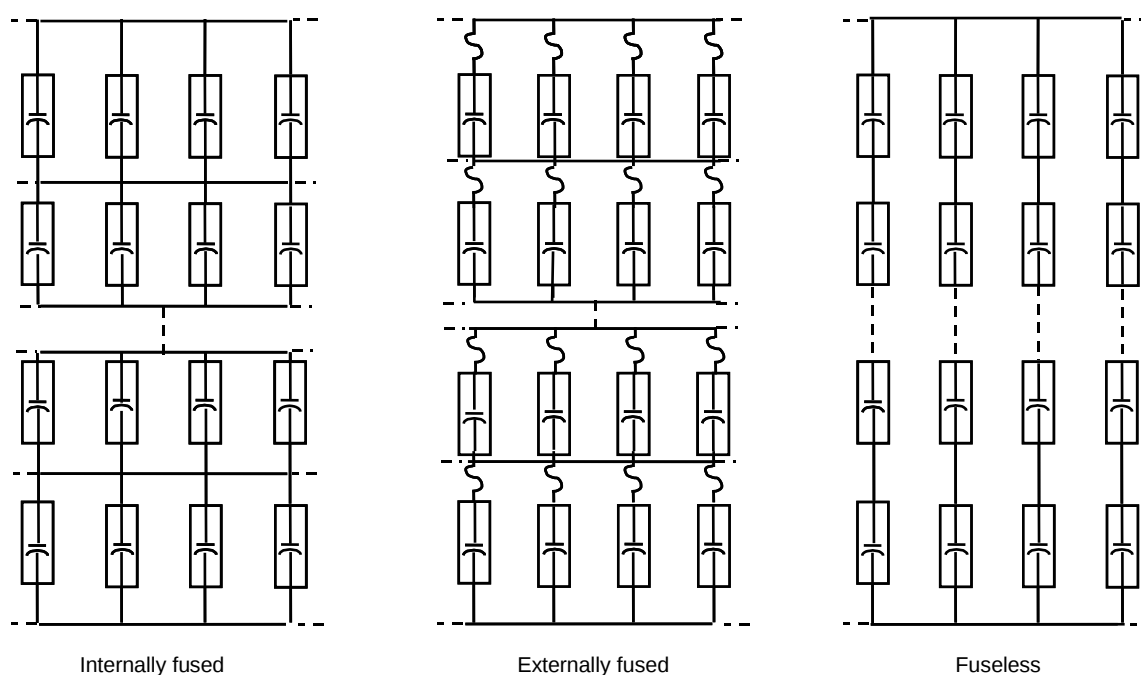
One bank phase may be split into two or more parallel groups of strings to allow capacitor current unbalance detection.

The failure of a capacitor element results in a short-circuit of the associated series section of that capacitor unit. This results in an increase in current through and increased voltage on the remaining elements within that capacitor unit and the other capacitor units in the associated string. The degree of this increase is dependent on the total number of elements in series in the string. The discharge energy and current increase are both small since there are typically no capacitor units connected directly in parallel. The capacitor unit with the shorted element remains in continuous operation. Capacitors units used in fuseless applications should have an all-film dielectric system. A failure in an element made with this dielectric system results in a welded short-circuit with very low resistance. This was not the case with the older dielectric systems that included paper.

Since there is no disconnection of the failed element, and no immediate disconnection of the affected units as well, the ability for any vital internal insulation part to withstand the discharged energy shall be carefully considered. Failures that could affect the insulation to can might be specifically critical.

The capacitor units are usually designed with two insulated bushings.

Number of units may vary with application and with fusing type. Capacitor unbalance current transformers are not shown.



IEC 1585/14

Figure E.1 – Typical connections between capacitor units

The number of elements within a unit and the number of elements in series and parallel will vary with the requirements of the application and the design practice of the manufacturer.

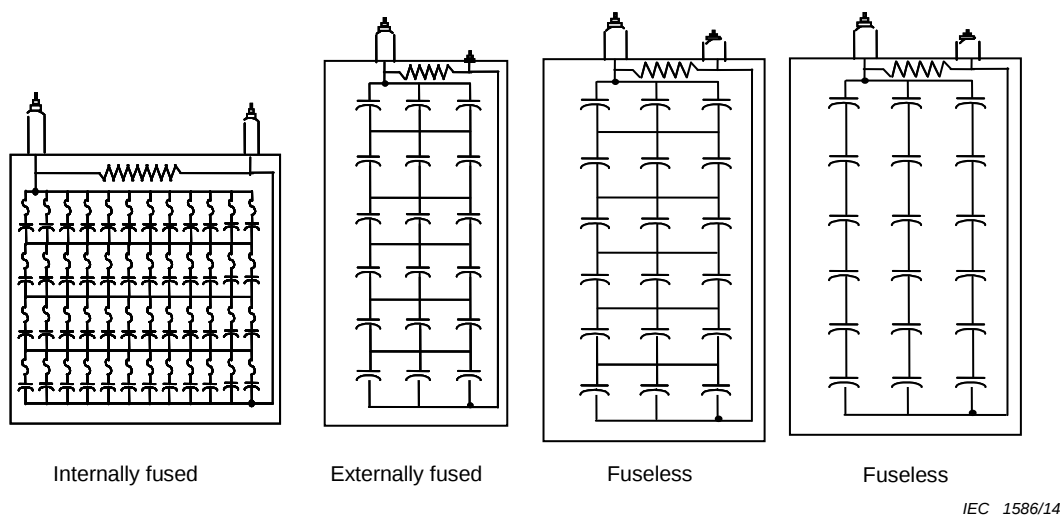


Figure E.2 – Typical connections between elements within a capacitor unit

Bibliography

IEC 60038:2009, *IEC standard voltages*

IEC 60050-151:2001, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 151: Electrical and magnetic devices*

IEC 60050-436:1990, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 436: Power capacitors*

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

IEC 60099 (all parts), *Surge arresters*

IEC 60110-1, *Power capacitors for induction heating installations – Part 1: General*

IEC 60143 (all parts), *Series capacitors for power systems*

IEC 60252 (all parts), *AC motor capacitors*

IEC 60273, *Characteristic of indoor and outdoor post insulators for systems with nominal voltages greater than 1 000 V*

IEC 60358, *Coupling capacitors and capacitor dividers*

IEC/TS 60815-2, *Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions – Part 2: Ceramic and glass insulators for a.c. systems*

IEC/TS 60815-3, *Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions – Part 3: Polymer insulators for a.c. systems*

IEC 60831 (all parts), *Shunt power capacitors of the self-healing type for a.c. systems having a rated voltage up to and including 1 000 V*

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

IEC 60871-3, *Shunt capacitors for a.c. power systems having a rated voltage above 1 000 V – Part 3: Protection of shunt capacitors and shunt capacitor banks*

IEC 60931 (all parts), *Shunt power capacitors of the non-self-healing type for a.c. systems having a rated voltage up to and including 1000 V*

IEC/TR 60996, *Method for verifying accuracy of tan delta measurements applicable to capacitors*

IEC 61048, *Auxiliaries for lamps – Capacitors for use in tubular fluorescent and other discharge lamp circuits - General and safety requirements*

IEC 61049, *Capacitors for use in tubular fluorescent and other discharge lamp circuits. Performance requirements*

IEC 61071, *Capacitors for power electronics*

IEC 61270-1, *Capacitors for microwave ovens – Part 1: General*

IEC 61642, *Industrial a.c. networks affected by harmonics – Application of filters and shunt capacitors*

IEEE 18, *IEEE Standard for Shunt Power Capacitors*

IEEE 1036, *Guide for Application of Shunt Power Capacitors*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	60
1 Domaine d'application	62
2 Références normatives	63
3 Termes et définitions	63
4 Conditions de service	66
4.1 Conditions de service normales	66
4.2 Conditions de service inhabituelles	67
5 Exigences relatives à la qualité et aux essais	67
5.1 Généralités	67
5.2 Conditions d'essai	67
6 Classification des essais	68
6.1 Généralités	68
6.2 Essais individuels	68
6.3 Essais de type	68
6.4 Essais d'acceptation	69
6.5 Essai d'endurance (essai spécial)	69
7 Mesure de la capacité (essai individuel)	69
7.1 Modalités de la mesure	69
7.2 Tolérances sur la capacité	69
8 Mesure de la tangente de l'angle de pertes ($\tan \delta$) du condensateur (essai individuel)	70
8.1 Modalités de la mesure	70
8.2 Exigences relatives aux pertes	70
8.3 Pertes dans les fusibles externes	70
9 Essai diélectrique entre bornes (essai individuel)	70
9.1 Généralités	70
9.2 Essai en courant alternatif	71
9.3 Essai en courant continu	71
10 Essai diélectrique en courant alternatif entre bornes et cuve (essai individuel)	71
11 Essai du dispositif interne de décharge (essai individuel)	71
12 Essai d'étanchéité (essai individuel)	71
13 Essai de stabilité thermique (essai de type)	72
13.1 Généralités	72
13.2 Modalités de la mesure	72
14 Mesure de la tangente de l'angle de pertes ($\tan \delta$) du condensateur à température élevée (essai de type)	73
14.1 Modalités de la mesure	73
14.2 Exigences	73
15 Essais diélectriques entre bornes et cuve (essais de type)	73
15.1 Essai diélectrique en courant alternatif entre bornes et cuve	73
15.2 Essai au choc de foudre entre bornes et cuve	74
16 Essai de surtension (essai de type)	74
16.1 Généralités	74
16.2 Conditionnement de l'échantillon avant l'essai	75
16.3 Modalités de l'essai	75

16.4	Critères d'acceptation.....	75
16.5	Validité de l'essai	75
16.5.1	Généralités	75
16.5.2	Conception d'éléments.....	76
16.5.3	Modèle d'unité d'essai.....	76
16.5.4	Forme d'onde de surtension.....	76
17	Essai de décharge en court-circuit (essai de type).....	77
18	Niveaux d'isolement.....	77
18.1	Valeurs d'isolement normalisées	77
18.2	Exigences générales	78
18.2.1	Généralités	78
18.2.2	Composants isolants adjacents et équipement	78
18.2.3	Condensateurs isolés de la terre	78
18.2.4	Condensateurs avec neutre connecté à la terre	79
18.3	Essai entre bornes et cuve des condensateurs unitaires	79
18.4	Condensateurs sur des réseaux monophasés.....	79
19	Surcharges – Tension maximale admissible	82
19.1	Tensions de longue durée	82
19.2	Surtensions de manœuvre.....	82
20	Surcharges – Courant maximal admissible	82
21	Exigences de sécurité pour des dispositifs de décharge	83
22	Exigences de sécurité pour des connexions à l'enveloppe	83
23	Exigences de sécurité pour la protection de l'environnement	83
24	Autres exigences de sécurité	84
25	Marquages des condensateurs unitaires.....	84
25.1	Plaque signalétique	84
25.2	Symboles de connexion normalisés	84
25.3	Plaque d'avertissement	85
26	Marquages des batteries de condensateurs.....	85
26.1	Notice d'instructions ou plaque signalétique.....	85
26.2	Plaque d'avertissement	85
27	Guide d'installation et d'exploitation.....	85
27.1	Généralités	85
27.2	Choix de la tension assignée	86
27.3	Température de service.....	86
27.3.1	Généralités	86
27.3.2	Conditions d'installation	87
27.3.3	Température élevée de l'air ambiant	87
27.4	Conditions spéciales de service.....	87
27.5	Surtensions.....	88
27.5.1	Généralités	88
27.5.2	Réamorçage des appareils de commutation	88
27.5.3	Foudre.....	88
27.5.4	Auto-excitation des moteurs.....	88
27.5.5	Démarrage en couplage étoile-triangle	89
27.5.6	Choix des condensateurs unitaires	89
27.6	Courants de surcharge	89
27.6.1	Surintensités permanentes.....	89

27.6.2	Surintensités transitoires.....	89
27.7	Appareils de coupure et de protection.....	90
27.7.1	Exigences de tenue.....	90
27.7.2	Disjoncteurs sans réamorçage	91
27.7.3	Réglage des relais	91
27.8	Choix des niveaux d'isolement.....	91
27.8.1	Généralités	91
27.8.2	Altitudes dépassant 1 000 m	91
27.8.3	Influence propre du condensateur	91
27.8.4	Lignes aériennes avec câbles de garde	94
27.9	Choix des lignes de fuite et distances dans l'air	94
27.9.1	Lignes de fuite	94
27.9.2	Distances dans l'air.....	94
27.10	Condensateurs raccordés à des réseaux pourvus de télécommande à fréquence acoustique	97
Annexe A (normative) Précautions à prendre pour éviter la pollution de l'environnement par les polychlorobiphényles		98
Annexe B (normative) Définitions, exigences et essais supplémentaires concernant les condensateurs de filtrage en courants forts		99
Annexe C (normative) Exigences d'essai et guide d'application pour fusibles externes et unités à protéger par fusible externe.....		102
C.1	Généralités	102
C.2	Termes et définitions.....	102
C.3	Exigences relatives au fonctionnement.....	102
C.4	Essais.....	102
C.4.1	Essai des fusibles	102
C.4.2	Essais de type sur les cuves des condensateurs	102
C.5	Guide de coordination de la protection par fusibles	103
C.5.1	Généralités	103
C.5.2	Séquence de protection	103
C.6	Choix des fusibles.....	104
C.6.1	Généralités	104
C.6.2	Fusibles autres qu'à limitation de courant.....	104
C.6.3	Fusibles à limitation de courant	104
C.7	Informations nécessaires à l'utilisateur de fusibles.....	104
Annexe D (informative) Formules pour les condensateurs et les installations		105
D.1	Calcul de la puissance des condensateurs triphasés à partir de trois mesures de capacités monophasées	105
D.2	Fréquence de résonance	105
D.3	Elévation de tension.....	105
D.4	Courant d'appel transitoire.....	106
D.4.1	Mise sous tension d'une seule batterie de condensateurs.....	106
D.4.2	Mise en parallèle d'une batterie avec une ou plusieurs batteries sous tension.....	106
D.5	Résistance de décharge des unités monophasées.....	106
D.6	Durée de décharge à 10 % de la tension assignée.....	106
Annexe E (informative) Protection des batteries de condensateurs par fusibles et disposition des unités		108
E.1	Généralités	108
E.2	Batterie de condensateurs avec fusibles internes.....	108

E.3	Batterie de condensateurs avec fusibles externes.....	108
E.4	Batterie de condensateurs sans fusible.....	109
Bibliographie		111
Figure 1 – Limites de temps et d'amplitude d'une période de surtension		77
Figure 2 – Batterie isolée de la terre		93
Figure 3 – Batterie isolée de la terre (cuves mises à la terre).....		93
Figure 4 – Batterie mise à la terre		93
Figure 5 – Distance dans l'air en fonction de la tenue en courant alternatif.....		97
Figure E.1 – Connexions typiques entre condensateurs unitaires		110
Figure E.2 – Connexions typiques entre éléments au sein d'un condensateur unitaire		110
Tableau 1 – Symboles littéraux de la limite supérieure de la plage de températures		67
Tableau 2 – Température de l'air ambiant pour l'essai de stabilité thermique		72
Tableau 3 – Niveaux d'isolement normalisés pour la plage I ($1 \text{ kV} < U_m < 245 \text{ kV}$).....		80
Tableau 4 – Niveaux d'isolement normalisés pour la plage II ($U_m > 245 \text{ kV}$)		81
Tableau 5 – Niveaux de tension admissibles en service		82
Tableau 6 – Exigences d'isolement.....		92
Tableau 7 – Lignes de fuite spécifiques		94
Tableau 8 – Corrélation entre les tensions de tenue au choc de foudre normalisées et les distances dans l'air minimales (Tableau A.1 de l'IEC 60071-2:1996).....		96

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

Partie 1: Généralités

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC 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, l'IEC – 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 l'IEC"). 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 l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC 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 l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC 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 l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 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 l'IEC, 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 l'IEC, 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 l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, 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 l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale IEC 60871-1 a été établie par le comité d'études 33 de l'IEC: Condensateurs de puissance et leurs applications.

Cette quatrième édition annule et remplace la troisième édition parue en 2005. Cette édition constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente:

- a) l'essai de tenue aux surtensions a été supprimé de l'IEC 60871-2 et intégré dans la présente norme;
- b) les plages des valeurs normalisées de la tension la plus élevée pour le matériel ont été modifiées;

- c) pour les installations situées à des altitudes supérieures à 1 000 m, un facteur de correction à toutes les exigences d'isolation a été introduit;
- d) de nouveaux tableaux d'isolement normalisé ont été définis.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
33/559/FDIS	33/564/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/IEC, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 60871, publiées sous le titre général *Condensateurs shunt pour réseaux à courant alternatif de tension assignée supérieure à 1 000 V*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC 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.

IMPORTANT – Le logo "*colour inside*" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante couleur.

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

Partie 1: Généralités

1 Domaine d'application

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

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

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

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

La présente norme n'est pas applicable aux condensateurs à film métallisé de type auto-régénérateur.

Les condensateurs suivants sont exclus de la présente partie de l'IEC 60871:

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

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

La présente partie de l'IEC 60871 a pour objet:

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

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. 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).

IEC 60060-1, *Technique des essais à haute tension – Partie 1: Définitions et exigences générales*

IEC 60071-1:2006, *Coordination de l'isolement – Partie 1: Définitions, principes et règles*

IEC 60549, *Coupe-circuit à fusibles haute tension destinés à la protection externe des condensateurs shunt*

IEC 60815 (toutes les parties), *Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions* (disponible en anglais seulement)

IEC 60871-4:1996, *Condensateurs shunt destinés à être installés sur des réseaux à courant alternatif de tension assignée supérieure à 1 000 V – Partie 4: Fusibles internes*

3 Termes et définitions

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

3.1

élément

élément de condensateur

dispositif constitué essentiellement par deux électrodes séparées par un diélectrique

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-01-03]

3.2

condensateur unitaire

unité (de condensateur)

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

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-01-04]

3.3

batterie de condensateurs

batterie

ensemble de condensateurs unitaires raccordés de façon à agir conjointement

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-01-06]

3.4

condensateur

bipôle caractérisé essentiellement par la grandeur capacité

Note 1 à l'article: Le terme «condensateur» est employé lorsqu'il n'est pas nécessaire de préciser s'il s'agit d'un condensateur unitaire ou d'une batterie de condensateurs.

[SOURCE: IEC 60050-151:2001, 151-13-28]

3.5

installation de condensateurs

une ou plusieurs batteries de condensateurs et leurs accessoires

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-01-07]

3.6

dispositif de décharge d'un condensateur

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

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-03-15, modifiée par le remplacement de "destiné à" par "capable de" et de "à une valeur donnée" par "pratiquement à zéro"]

3.7

fusible (coupe-circuit) interne d'un condensateur

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

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-03-16]

3.8

borne de ligne

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

Note 1 à l'article: Dans les condensateurs polyphasés, la borne devant être connectée au conducteur neutre n'est pas considérée comme une borne de ligne.

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-03-01, modifiée par l'addition de la Note 1]

3.9

capacité assignée d'un condensateur

C_N

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

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-01-12, modifiée par l'addition de " C_N "]

3.10

puissance assignée d'un condensateur

Q_N

puissance réactive pour laquelle le condensateur a été conçu

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-01-16, modifiée par l'addition de " Q_N "]

3.11

tension assignée d'un condensateur

U_N

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

Note 1 à l'article: Dans le cas de condensateurs constitués d'un ou de plusieurs circuits distincts (par exemple unités monophasées destinées à être utilisées en montage polyphasé, ou unités polyphasées avec circuits séparés), U_N se rapporte à la tension assignée de chaque circuit.

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

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-01-15, modifiée par l'addition de " U_N " et de la Note 1]

3.12**fréquence assignée d'un condensateur** **f_N**

fréquence pour laquelle le condensateur a été conçu

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-01-14, modifiée par l'addition de " f_N "]**3.13****courant assigné d'un condensateur** **I_N**

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

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-01-13, modifiée par l'addition de " I_N "]**3.14****pertes d'un condensateur**

puissance active dissipée dans le condensateur

Note 1 à l'article: Il convient de tenir compte de tous les composants qui engendrent ces pertes, par exemple:

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

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

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-04-10, modifiée par l'addition de la Note 1]

3.15**tangente de l'angle de perte (d'un condensateur)** **$\tan \delta$**

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

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-04-11]

3.16**tension alternative maximale admissible d'un condensateur**

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

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-04-07]

3.17**courant alternatif maximal admissible d'un condensateur**

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

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-04-09]

3.18**température de l'air ambiant**

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

3.19**température de l'air de refroidissement**

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

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

3.20**état stable**

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

3.21**tension résiduelle**

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

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

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

a) Tension résiduelle à la mise sous tension

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

b) Altitude

Si l'altitude dépasse 1 000 m au-dessus du niveau de la mer, un facteur de correction doit être appliqué à toutes les exigences d'isolement externe, telles que stipulées à l'Article 18.

c) Catégories de température de l'air ambiant

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

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

NOTE Avec l'accord du fabricant, le condensateur peut être utilisé à une température plus basse que celle des limites ci-dessus, à condition que la mise sous tension se fasse à une température égale ou supérieure à l'une des valeurs indiquées (voir 27.3.1).

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

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

Température de l'air ambiant °C			
Symbole	Maximum	Moyenne la plus élevée sur toute période de	
		24 h	1 an
A	40	30	20
B	45	35	25
C	50	40	30
D	55	45	35

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

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

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

4.2 Conditions de service inhabituelles

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

5 Exigences relatives à la qualité et aux essais

5.1 Généralités

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

Les supports isolants, les interrupteurs, les transformateurs de mesure, les fusibles externes, etc. doivent être conformes aux normes particulières de l'IEC.

NOTE Dans les rapports d'essai l'année de publication (numéro de version) des normes référencées est ajoutée.

5.2 Conditions d'essai

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

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

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

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

6 Classification des essais

6.1 Généralités

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

6.2 Essais individuels

- a) Mesure de la capacité (voir Article 7).
- b) Mesure de la tangente de l'angle de pertes ($\tan \delta$) du condensateur (voir Article 8).
- c) Essai diélectrique entre bornes (voir Article 9).
- d) Essai diélectrique en courant alternatif entre bornes et cuve (voir Article 10).
- e) Essai du dispositif interne de décharge (voir Article 11).
- f) Essai d'étanchéité (voir Article 12).
- g) Essai de décharge des fusibles internes (voir 5.1.1 de l'IEC 60871-4:1996).

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

6.3 Essais de type

- a) Essai de stabilité thermique (voir Article 13).
- b) Mesure de la tangente de l'angle de pertes ($\tan \delta$) du condensateur à température élevée (voir Article 14).
- c) Essai diélectrique en courant alternatif entre bornes et cuve (voir 15.1).
- d) Essai au choc de foudre entre bornes et cuve (voir 15.2).
- e) Essai de surtension (voir Article 16).
- f) Essai de décharge en court-circuit (voir Article 17).
- g) Essai de déconnexion des fusibles internes (voir 5.3 de l'IEC 60871-4:1996).
- h) Essai de fusible externe monté sur un condensateur (voir Annexe C).

Les essais de type sont exécutés afin de s'assurer, du point de vue de la conception, des dimensions, des matériaux et de la réalisation, que le condensateur est conforme aux caractéristiques et aux exigences fonctionnelles spécifiées dans la présente norme. Les essais de type sont principalement destinés à vérifier la conception, ils ne constituent pas un outil permettant de détecter les variations de la qualité de la production en série.

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

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

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

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

6.4 Essais d'acceptation

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

Le nombre d'échantillons pouvant être soumis à ces types d'essais doit, comme les critères d'acceptation, faire l'objet d'un accord entre le fabricant et l'acheteur et doit être mentionné dans le contrat.

6.5 Essai d'endurance (essai spécial)

L'essai d'endurance est un essai de vieillissement qui porte sur la conception et la composition du diélectrique. Il garantit que l'évolution des dégradations dues à l'augmentation des contraintes de tension à température élevée ne provoque pas une défaillance prématurée du diélectrique. L'essai couvre une gamme de condensateurs de différentes conceptions (voir l'IEC/TS 60871-2).

7 Mesure de la capacité (essai individuel)

7.1 Modalités de la mesure

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

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

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

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

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

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

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

7.2 Tolérances sur la capacité

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

- 5 % à +10 % pour les condensateurs unitaires,
- 0 % à +10 % pour les batteries.

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

Pour les unités et les batteries triphasées, le rapport entre les valeurs maximale et minimale de la capacité mesurée entre deux bornes de ligne quelconques ne doit pas dépasser 1,05.

NOTE 1 Pour les filtres, des tolérances symétriques sont généralement utilisées, voir l'Annexe B.

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

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

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

8.1 Modalités de la mesure

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

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

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

NOTE 3 Le dispositif de mesure est étalonné conformément aux dispositions de l'IEC 60996 ou à l'aide d'une autre méthode conduisant à une précision identique ou meilleure.

8.2 Exigences relatives aux pertes

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

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

8.3 Pertes dans les fusibles externes

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

9 Essai diélectrique entre bornes (essai individuel)

9.1 Généralités

Chaque condensateur doit être soumis pendant 10 s aux conditions de l'essai de 9.2 ou à celles de 9.3. En l'absence d'un accord, le choix est laissé au fabricant. Au cours de l'essai, il ne doit se produire ni perforation, ni contournement.

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

NOTE 1 Avec les condensateurs polyphasés, la tension d'essai est réglée pour avoir la tension appropriée aux bornes de chaque élément.

NOTE 2 Les unités munies de fusibles internes et qui demeurent dans les tolérances de capacité malgré l'ouverture d'un ou de plusieurs de ces fusibles, ne peuvent être livrées qu'après accord entre le fabricant et l'acheteur.

9.2 Essai en courant alternatif

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

$$U_t = 2,0 U_N$$

9.3 Essai en courant continu

La tension d'essai doit avoir la valeur:

$$U_t = 4,0 U_N$$

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

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

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

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

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

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

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

11 Essai du dispositif interne de décharge (essai individuel)

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

Le choix de la méthode est laissé au fabricant.

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

12 Essai d'étanchéité (essai individuel)

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

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

13 Essai de stabilité thermique (essai de type)

13.1 Généralités

Cet essai est destiné à

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

13.2 Modalités de la mesure

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

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

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

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

Pendant les dernières 6 h, la température de la cuve doit être mesurée au moins quatre fois près du dessus de la cuve. Pendant ces 6 h, l'élévation de température ne doit pas dépasser 1 K. Si l'on observe une variation plus importante, l'essai doit être prolongé pour permettre de satisfaire à l'exigence des quatre mesures consécutives de température pendant une autre durée de 6 h. Si la stabilité thermique n'est pas obtenue en 72 h, l'essai doit être arrêté et le condensateur doit être déclaré comme n'ayant pas satisfait à cet essai.

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

On doit tenir compte des deux facteurs suivants pour interpréter les résultats des mesures:

- la répétabilité des mesures;

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

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

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

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

14.1 Modalités de la mesure

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

14.2 Exigences

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

15 Essais diélectriques entre bornes et cuve (essais de type)

15.1 Essai diélectrique en courant alternatif entre bornes et cuve

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

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

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

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

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

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

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

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

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

15.2 Essai au choc de foudre entre bornes et cuve

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

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

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

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

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

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

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

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

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

16 Essai de surtension (essai de type)

16.1 Généralités

L'essai de surtension est un essai qui porte sur la conception et la composition du diélectrique d'un condensateur unitaire ainsi que sur le procédé de fabrication de ce diélectrique, une fois que ce dernier est assemblé pour former un condensateur unitaire.

L'échantillon d'essai doit être fabriqué en utilisant les matériaux de production standards et en appliquant les procédures de fabrication standards. L'échantillon d'essai doit satisfaire aux essais individuels applicables spécifiés en 6.2. Les puissances assignées de l'échantillon d'essai ne doivent pas être inférieures à 100 kvar.

Les conditions d'essai spécifiées ci-dessus sont des exigences valables pour les applications de correction du facteur de puissance selon l'Article 1, avec les conditions générales de

tension de service spécifiées dans la présente norme. Pour d'autres applications pour lesquelles les surtensions relatives à la tension assignée sont connues et contrôlées de manière plus précise, d'autres tensions d'essai peuvent être convenues entre les acheteurs et les fournisseurs. Ceci peut s'appliquer lorsque des marges de sécurité supplémentaires sont prises en compte lors de la conception ou lorsqu'on utilise des dispositifs de protection contre les surtensions diélectriques comme des parafoudres ou appareils de coupure synchronisée. Il convient que la surtension répétée telle que spécifiée en 16.3 b) ne soit pas inférieure à $1,9 U_N$.

16.2 Conditionnement de l'échantillon avant l'essai

L'échantillon d'essai doit être conditionné pendant au moins 12 h à une tension de valeur au moins égale à sa tension assignée. À l'issue de l'essai, la capacité de l'échantillon d'essai doit être mesurée à sa tension assignée. La température ambiante pour l'essai de conditionnement doit être comprise entre +15 °C et +35 °C.

16.3 Modalités de l'essai

- a) Placer l'échantillon d'essai dans une enceinte de refroidissement pendant au moins 12 h à une température inférieure ou égale à la catégorie de température la plus basse pour laquelle le condensateur est conçu.

NOTE 1 Le niveau de la température d'essai a une influence significative sur la sévérité de l'essai. Le niveau de la température la plus basse est spécifiée par l'acheteur ou à convenir entre l'acheteur et le fournisseur.

- b) Retirer et placer l'échantillon d'essai en air calme à une température ambiante comprise entre +15 °C et +35 °C. Dans les 5 min qui suivent le retrait de l'échantillon d'essai de l'enceinte de refroidissement, l'unité en essai doit être soumise à une tension égale à $1,1 U_N$. Dans les 5 min qui suivent l'application de la tension, une surtension de $2,25 U_N$ doit être appliquée sans aucune interruption de tension pendant une durée de 15 cycles, à la suite de laquelle une tension égale à $1,1$ fois U_N est de nouveau appliquée et maintenue sans aucune interruption de tension. À l'issue d'un intervalle de temps compris entre 1,5 min et 2 min à $1,1 U_N$, la surtension de $2,25 U_N$ est de nouveau appliquée et le processus est répété jusqu'à la réalisation d'un total de 60 applications réalisées pendant 1 journée. (Pour de plus amples informations sur les caractéristiques de la tension d'essai, voir 16.5.4).
- c) Répéter les étapes a) et b) ci-dessus pendant 4 jours supplémentaires. L'application combinée de la surtension de $2,25 U_N$ doit être réalisée 300 fois au total.
- d) Dans l'heure qui suit la réalisation de l'étape c) ci-dessus, poursuivre l'application de $1,4 U_N$ pendant un total de 96 h. La température ambiante d'essai doit être comprise entre +15 °C et +35 °C.
- e) La mesure de la capacité doit être répétée à la tension assignée.

NOTE 2 Pour les utilisateurs désireux de soumettre l'échantillon d'essai à des manœuvres de commutation de surtension continues pendant une plus longue période pour vérifier sa capacité de tenue diélectrique, il peut être convenu entre l'acheteur et le fournisseur d'augmenter le nombre d'applications de la surtension de $2,25 U_N$ par jour. Le nombre de jours est ensuite réduit en conséquence pour réaliser le total des 300 applications.

16.4 Critères d'acceptation

Les critères d'acceptation stipulent qu'aucun claquage ne doit se produire lors des mesures de la capacité. En cas de claquage, deux autres échantillons doivent être soumis à essai et aucun des deux échantillons ne doit présenter de claquage.

16.5 Validité de l'essai

16.5.1 Généralités

Chaque essai de surtension couvre également d'autres modèles de condensateurs dont il est admis qu'ils diffèrent du modèle soumis à essai dans les limites spécifiées suivantes.

16.5.2 Conception d'éléments

Une conception d'élément est considérée comparable aux éléments constitutifs des unités à fabriquer si les exigences suivantes sont satisfaites:

- a) les éléments soumis à essai doivent comporter comme diélectrique un nombre égal ou inférieur de couches de matériaux solides et être imprégnés avec le même fluide. Les matériaux solides doivent être de même nature;
- b) la tension assignée de l'élément et le niveau de contrainte électrique de l'élément soumis à essai doivent être de valeur égale ou supérieure;
- c) le bord de feuille d'aluminium (électrode) doit être identique;
- d) les connexions des éléments doivent être du même type, par exemple brasage, sertissage, etc.

16.5.3 Modèle d'unité d'essai

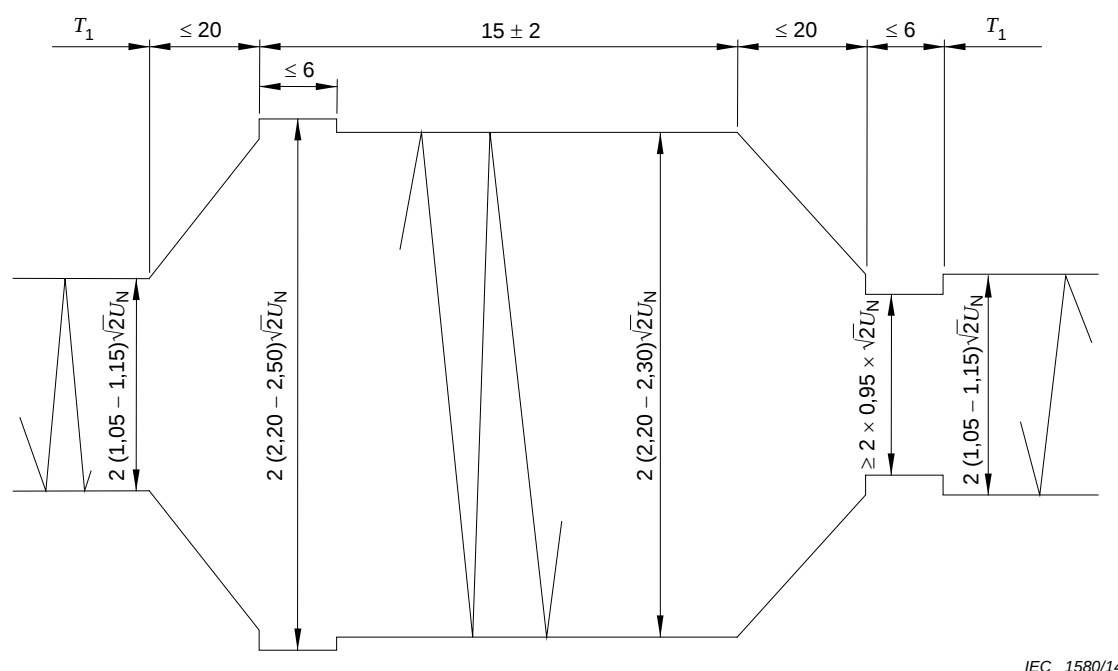
Une unité d'essai est considérée comme comparable aux unités à fabriquer si les exigences suivantes sont satisfaites:

- a) les éléments d'essai satisfaisant aux exigences de 16.5.2 doivent être assemblés de manière similaire, disposer d'un isolement entre éléments d'épaisseur égale ou plus mince et être comprimés de manière uniforme dans les limites de tolérance de fabrication, par rapport aux unités à fabriquer;
- b) au moins 4 de ces éléments d'essai doivent être connectés pour obtenir une puissance non inférieure à 100 kvar à la tension assignée. Tous les éléments connectés doivent être disposés les uns à côté des autres et au moins un isolement entre éléments doit être installé (au moins deux groupes d'éléments série);
- c) une cuve du modèle normalisé du fabricant doit être utilisée dont la hauteur n'est pas inférieure à 20 % de la hauteur de l'unité à fabriquer. La profondeur et la largeur de la cuve ne doivent pas être inférieures à 50 % de la largeur et de la profondeur de l'unité à fabriquer;
- d) le procédé de séchage et d'imprégnation doit être identique au procédé normal de production.

16.5.4 Forme d'onde de surtension

La tension d'essai doit avoir une fréquence de 50 Hz ou 60 Hz et la surtension doit être appliquée sans aucune interruption de la tension permanente comprise entre $1,05 U_N$ et $1,15 U_N$.

Les limites d'amplitude de la tension constante et de la surtension sont indiquées à la Figure 1.



NOTE Les durées, autres que T_1 , sont exprimées en nombres de cycles de la fréquence d'essai.

T_1 est l'intervalle de 1,5 min à 2 min entre deux périodes consécutives de surtension.

Figure 1 – Limites de temps et d'amplitude d'une période de surtension

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

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

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

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

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

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

18 Niveaux d'isolement

18.1 Valeurs d'isolement normalisées

Les niveaux d'isolement d'une installation de condensateurs doivent être choisis parmi les valeurs normalisées spécifiées par l'IEC 60071-1.

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

- **Plage I:** Comprise entre 1 kV et 245 kV incluse (Tableau 3). Cette plage couvre les réseaux de transmission et de distribution. Par conséquent, les différents aspects opérationnels doivent être pris en compte pour le choix du niveau d'isolement assigné du matériel.

- **Plage II:** Au-dessus de 245 kV (Tableau 4). Cette plage couvre principalement les réseaux de transmission.

Pour la plupart des tensions assignées, plusieurs niveaux d'isolement assignés permettent d'appliquer différents critères de fonctionnement ou modèles de surtension. Il convient de réaliser le choix en tenant compte du degré d'exposition aux surtensions à front rapide et lent, du type de mise à la terre du neutre et du type de dispositifs de limitation des surtensions (voir IEC 60071-2).

18.2 Exigences générales

18.2.1 Généralités

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

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

Pour les condensateurs installés à des altitudes supérieures à 1 000 m, le facteur de correction suivant doit être appliqué à toutes les exigences d'isolation définissant les performances de l'isolation externe telles que la tension d'essai diélectrique en courant alternatif sous pluie et la tension de tenue au choc de foudre. Il garantit que la tenue de l'isolement à altitude élevée est obtenue en dépit du fait que le matériel est soumis à essai à des altitudes inférieures.

Facteur de correction:

$$k = e^{\frac{H-1000}{8150}}$$

18.2.2 Composants isolants adjacents et équipement

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

18.2.3 Condensateurs isolés de la terre

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

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

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

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

18.2.4 Condensateurs avec neutre connecté à la terre

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

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

18.3 Essai entre bornes et cuve des condensateurs unitaires

Les essais individuels et de type sont exigés dans les Articles 10, 15 et 16 pour vérifier les exigences concernant les traversées et l'isolement borne-cuve selon 18.2.3 et 18.2.4.

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

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

où

U_t est la tension d'essai à fréquence industrielle;

U_N est la tension assignée du condensateur;

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

18.4 Condensateurs sur des réseaux monophasés

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

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

Tableau 3 – Niveaux d'isolement normalisés pour la plage I ($1 \text{ kV} < U_m < 245 \text{ kV}$)

Tension la plus élevée pour le matériel (U_m) kV (valeur efficace)	Tension assignée normalisée de tenue de courte durée à fréquence industrielle kV (valeur efficace)	Tension assignée normalisée de tenue au choc de foudre kV (valeur de crête)
3,6	10	20 40
7,2	20	40 60
12	28	60 75 95
17,5 ^a	38	75 95
24	50	95 125 145
36	70	145 170
52 ^a	95	250
72,5	140	325
100 ^b	(150)	(380)
	185	450
123	(185)	(450)
	230	550
145	(185)	(450)
	230	550
	275	650
170 ^a	(230)	(550)
	275	650
	325	750
245	(275)	(650)
	(325)	(750)
	360	850
	395	950
	460	1 050

NOTE Si les valeurs entre parenthèses sont considérées comme insuffisantes pour démontrer que les tensions de tenue entre phases requises sont obtenues, il est nécessaire de réaliser des essais de tension de tenue entre phases supplémentaires.

^a Ces valeurs de U_m sont des valeurs non préférentielles dans l'IEC 60038, par conséquent la plupart des combinaisons normalisées les plus fréquentes ne sont pas spécifiées dans les normes d'appareil.

^b Cette valeur de U_m n'est pas mentionnée dans l'IEC 60038, elle a cependant été introduite dans la plage I dans certaines normes d'appareil.

Le Tableau 3 est extrait de l'IEC 60071-1:2006, Tableau 2.

Tableau 4 – Niveaux d'isolement normalisés pour la plage II ($U_m > 245$ kV)

Tension la plus élevée pour le matériel (U_m) kV (valeur efficace)	Tension assignée normalisée de tenue aux chocs de manœuvre			Tension assignée normalisée de tenue au choc de foudre ^b kV (valeur de crête)
	Isolement longitudinal ^a kV (valeur de crête)	Phase à terre kV (valeur de crête)	Entre phases (rapport à la valeur de crête phase – terre)	
300 ^c	750	750	1,50	850
				950
	750	850	1,50	950
				1 050
362	850	850	1,50	950
				1 050
	850	950	1,50	1 050
				1 175
420	850	850	1,60	1 050
				1 175
	950	950	1,50	1 175
				1 300
	950	1 050	1,50	1 300
				1 425
550	950	950	1,70	1 175
				1 300
	950	1 050	1,60	1 300
				1 425
	950 1 050	1 175	1,50	1 425
				1 550
800	1 175	1 300	1,70	1 675
				1 800
	1 175	1 425	1,70	1 800
				1 950
	1 175 1 300	1 550	1,60	1 950
				2 100
NOTE L'introduction de U_m au-dessus de 800 kV est à l'étude, et les valeurs 1 050 kV, 1 100 kV et 1 200 kV sont énumérées en tant que U_m dans l'IEC 60038:2009.				
^a Valeur de la composante de choc de l'essai combiné applicable alors que la valeur de crête de la composante à fréquence industrielle de polarité opposée est $U_m \times \sqrt{2} / \sqrt{3}$.				
^b Ces valeurs s'appliquent tant à l'isolement phase à terre qu'à l'isolement entre phases. Pour l'isolement longitudinal, elles s'appliquent comme la composante assignée normalisée de choc de foudre de la tension de tenue assignée normalisée combinée, alors que la valeur de crête de la composante à fréquence industrielle de polarité opposée est $0,7 \times U_m \times \sqrt{2} / \sqrt{3}$.				
^c Cette valeur de U_m est une valeur non préférentielle dans l'IEC 60038.				

Le Tableau 4 est extrait de l'IEC 60071-1:2006, Tableau 3.

19 Surcharges – Tension maximale admissible

19.1 Tensions de longue durée

Les condensateurs unitaires doivent pouvoir être utilisés aux niveaux de tension indiqués dans le Tableau 5 (voir 27.2 et 27.5.1).

Tableau 5 – Niveaux de tension admissibles en service

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

Les amplitudes des surtensions qui peuvent être tolérées sans dégradation notable des condensateurs dépendent de leur durée, de leur nombre total et de la température des condensateurs (voir 27.2). On suppose que les surtensions indiquées dans le Tableau 5 et dont la valeur est supérieure à 1,15 U_N ne se produisent pas plus de 200 fois pendant la durée de vie du condensateur.

19.2 Surtensions de manœuvre

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

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

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

20 Surcharges – Courant maximal admissible

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

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

21 Exigences de sécurité pour des dispositifs de décharge

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

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

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

Il convient de considérer un condensateur directement relié à un autre appareil électrique qui assure sa décharge comme convenablement déchargé si les caractéristiques du circuit satisfont aux exigences de décharge.

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

NOTE 1 Dans certains pays, des durées de décharge plus réduites et des tensions plus faibles sont exigées. Dans ce cas, l'acheteur en informe le fabricant.

Il convient que les circuits de décharge aient un courant admissible suffisant pour décharger le condensateur à partir d'une surtension de crête de $1,3 U_N$ selon les dispositions de l'Article 19.

NOTE 2 Un défaut électrique dans une unité protégée par un fusible ou un contournement d'une partie de la batterie peut produire dans cette dernière des charges résiduelles qui peuvent ne pas être déchargées pendant la durée spécifiée au moyen d'un dispositif de décharge connecté entre les bornes de la batterie.

NOTE 3 L'Annexe D donne une formule pour calculer la résistance de décharge.

22 Exigences de sécurité pour des connexions à l'enveloppe

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

En cas de défaillance en court-circuit complet d'un condensateur, le courant de court-circuit peut dépasser la capacité du courant de défaut. Il convient de toujours bien tenir compte de l'éventuel effet sur la sécurité du personnel. Les limitations des différents dispositifs de protection tels que fusibles, limiteurs de courant, enveloppes, etc. doivent être dûment prises en compte. Il convient de considérer notamment le risque d'incendie et d'embrasements instantanés ultérieurs pour les modèles utilisés à l'intérieur ou autres ensembles sous enveloppe.

23 Exigences de sécurité pour la protection de l'environnement

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

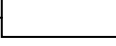
24 Autres exigences de sécurité

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

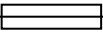
25 Marquages des condensateurs unitaires

25.1 Plaque signalétique

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

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

Le marquage du niveau d'isolement doit être effectué au moyen de deux nombres séparés par une barre, le premier nombre indiquant la valeur efficace de la tension d'essai à fréquence industrielle exprimée en kilovolts et le deuxième, la valeur de crête de la tension d'essai de choc, exprimée également en kilovolts (par exemple 28/75) (voir Article 18). Le niveau d'isolement ne doit pas être marqué pour les unités qui ne sont pas soumises à essai selon 15.2;

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

NOTE Sur demande de l'acheteur, la capacité mesurée est indiquée, soit en valeur absolue, soit en pourcentage, ou encore par un symbole.

25.2 Symboles de connexion normalisés

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

D	ou		= triangle
Y	ou		= étoile
YN	ou		= étoile avec neutre sorti
III	ou		= trois sections sans connexions mutuelles internes

25.3 Plaque d'avertissement

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

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

26 Marquages des batteries de condensateurs

26.1 Notice d'instructions ou plaque signalétique

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

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

26.2 Plaque d'avertissement

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

27 Guide d'installation et d'exploitation

27.1 Généralités

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

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

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

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

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

27.2 Choix de la tension assignée

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

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

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

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

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

- les condensateurs shunt peuvent causer une augmentation de tension à l'endroit du réseau où ils sont installés (voir Annexe D). Cette augmentation de la tension peut être accrue en présence d'harmoniques. Les condensateurs risquent donc de fonctionner à une tension supérieure à celle qui a été mesurée avant de les connecter;
- la tension présente aux bornes du condensateur peut être particulièrement élevée au moment où le réseau est peu chargé (voir Annexe D).

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

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

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

27.3 Température de service

27.3.1 Généralités

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

Si le diélectrique du condensateur descend à une température plus basse que la limite inférieure de sa catégorie, des décharges partielles peuvent apparaître dans le diélectrique, Ceci revêt une importance particulière au moment des manœuvres.

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

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

27.3.2 Conditions d'installation

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

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

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

Les condensateurs installés à haute altitude (plus de 1 000 m) travaillent dans des conditions de dissipation thermique de convection réduite dont il convient de tenir compte pour déterminer la puissance des unités. Toutefois, à de telles altitudes, la température ambiante est généralement plus basse (voir également 27.8.2).

27.3.3 Température élevée de l'air ambiant

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

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

27.4 Conditions spéciales de service

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

- **l'humidité relative élevée:** il peut être nécessaire d'utiliser des isolateurs spécialement étudiés. L'attention est attirée sur les possibilités de shuntage des fusibles externes par dépôt d'humidité à leur surface;
- **les moisissures à développement rapide:** les métaux, les matériaux céramiques ainsi que certaines laques et peintures ne permettent pas la formation de moisissures. Quand des fongicides sont utilisés, ils ne gardent pas leur propriété fongicide au-delà de quelques mois. Dans tous les cas, les moisissures peuvent proliférer dans les installations où des poussières, etc. s'accumulent de manière permanente;

- **les atmosphères corrosives:** on trouve ce genre d'atmosphères dans les zones industrielles et les zones côtières. Il convient de noter que les effets dus à ces ambiances peuvent être plus graves dans les climats à température élevée que dans les climats tempérés. Les utilisations intérieures peuvent également se trouver dans des atmosphères hautement corrosives;
- **la pollution:** il convient de prendre des précautions spéciales quand les condensateurs sont installés dans des endroits à degré de pollution élevé (voir 27.9.1);
- **les altitudes supérieures à 1 000 m:** les condensateurs utilisés à des altitudes supérieures à 1 000 m sont soumis à des conditions spéciales. Des lignes directrices relatives à la correction des exigences d'isolement sont données en 18.2;
- **les zones sismiques:** certaines zones sont sujettes à des probabilités élevées de secousses sismiques qui peuvent affecter la tenue mécanique des condensateurs et/ou des batteries installés dans ces zones. L'acheteur doit spécifier les valeurs de l'amplitude d'accélération et d'amortissement.

27.5 Surtensions

27.5.1 Généralités

L'Article 19 spécifie les facteurs de surtension.

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

27.5.2 Réamorçage des appareils de commutation

Il peut se produire des surtensions transitoires de valeur élevée quand les condensateurs sont déconnectés par un appareil de commutation permettant le réamorçage. Il convient de prendre soin de choisir des appareils de commutation qui fonctionnent sans causer de surtensions excessives.

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

27.5.3 Foudre

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

27.5.4 Auto-excitation des moteurs

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

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

27.5.5 Démarrage en couplage étoile-triangle

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

27.5.6 Choix des condensateurs unitaires

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

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

27.6 Courants de surcharge

27.6.1 Surintensités permanentes

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

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

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

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

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

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

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

27.6.2 Surintensités transitoires

Des surintensités transitoires de haute fréquence et d'amplitude élevée peuvent se produire quand les condensateurs sont mis sous tension et spécialement quand une section d'une

batterie de condensateurs est mise en parallèle avec d'autres sections qui se trouvaient déjà sous tension (voir Annexe D).

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

Il convient de limiter la valeur de crête des surintensités dues aux manœuvres de commutation à un maximum de $100 I_N$ (en valeur efficace) (voir le 27.7.1, l'Annexe C et l'IEC 60871-4).

En cas de défaillance en court-circuit complet, le courant de défaut peut dépasser la capacité spécifiée de surintensité transitoires. Il convient de toujours bien tenir compte de l'éventuel effet sur la sécurité du personnel. (voir également l'Article 22).

27.7 Appareils de coupure et de protection

27.7.1 Exigences de tenue

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

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

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

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

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

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

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

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

27.7.2 Disjoncteurs sans réamorçage

Il convient d'utiliser des disjoncteurs adaptés à la commutation des condensateurs. Par exemple, il convient que le dispositif soit étudié pour que le réamorçage au cours des opérations de déclenchement, qui peut entraîner des surtensions excessives, ne puisse pas se produire (voir également 27.5.2).

Avant de prendre les décisions sur le type d'appareil de coupure à utiliser avec une installation de condensateur, il convient de consulter le fabricant du condensateur et le fabricant de l'appareillage.

27.7.3 Réglage des relais

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

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

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

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

27.8 Choix des niveaux d'isolement

27.8.1 Généralités

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

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

Se reporter à 27.9 pour sélectionner les lignes de fuite.

27.8.2 Altitudes dépassant 1 000 m

Les niveaux d'isolement normalisés peuvent être trop faibles pour les utilisations à des altitudes dépassant 1 000 m (voir 4.1). Les facteurs de correction à appliquer sont donnés en 18.2.

27.8.3 Influence propre du condensateur

Les valeurs de tension de tenue des Tableau 3 à Tableau 4 sont conformes aux exigences de la série IEC 60071; elles sont choisies de manière à assurer des marges suffisantes pour les surtensions transitoires dans le cas d'objets de faible capacité.

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

À l'Article 18, on a considéré différentes exigences d'isolement pour différents schémas d'isolement et variantes de connexions, conformément au Tableau 6. Les diverses connexions sont représentées aux Figure 2, Figure 3 et Figure 4.

Tableau 6 – Exigences d'isolement

Type	Exigence d'isolement	Paragraphe
A1	Isolement total c.a./LIWL ^a	18.2.2
A2	Isolement total c.a./LIWL ^a	18.2.3, 1 ^{er} alinéa
A3	Isolement total c.a./LIWL ^a	18.2.3, 2 ^e alinéa
B1	Seulement c.a., 2,15 p.u.	18.2.3, 4 ^e alinéa 18.2.4, 2 ^e alinéa
B2	Seulement c.a., 2,5 p.u.	18.2.3, 3 ^e alinéa 18.2.4, 1 ^{er} alinéa
^a Niveau de tenue au choc de foudre.		

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

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

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

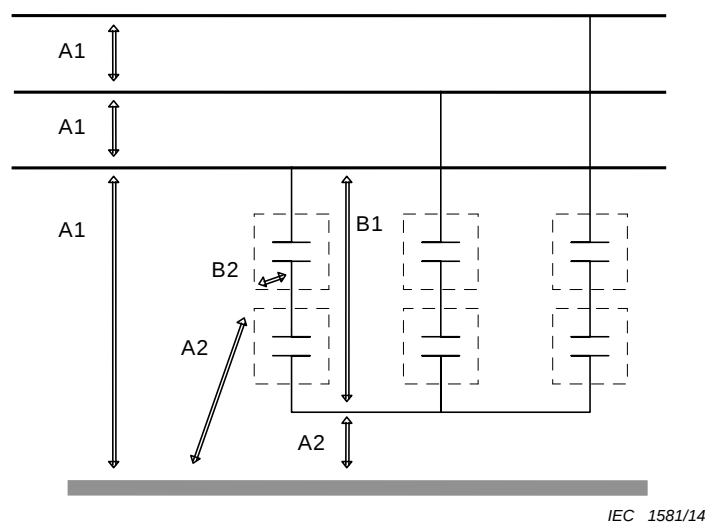


Figure 2 – Batterie isolée de la terre

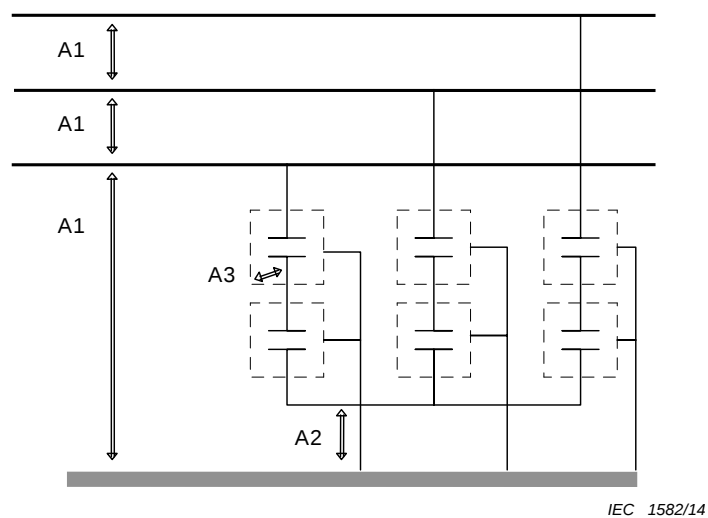


Figure 3 – Batterie isolée de la terre (cuves mises à la terre)

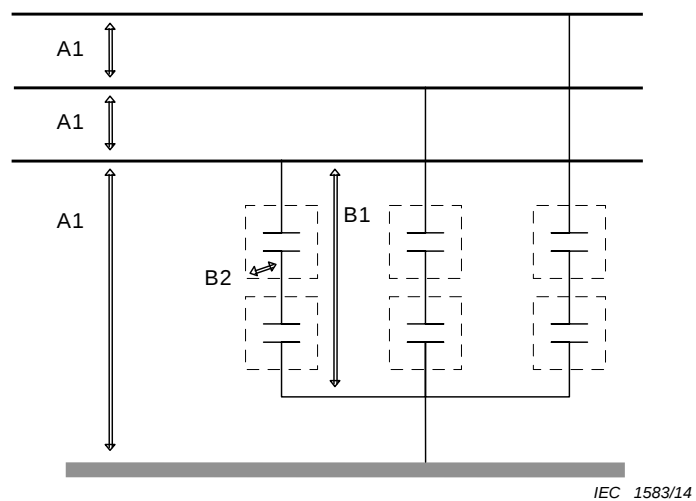


Figure 4 – Batterie mise à la terre

27.8.4 Lignes aériennes avec câbles de garde

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

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

27.9.1 Lignes de fuite

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

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

Sauf spécification contraire, il est recommandé de choisir les valeurs données dans le Tableau 7, fondées sur les données fournies dans l'IEC 60815-2 (isolateurs en céramique et en verre) et l'IEC 60815-3 (isolateurs polymères).

Tableau 7 – Lignes de fuite spécifiques

Classe de sévérité de la pollution du site (SPS – Site pollution severity)	Sévérité de la pollution	Ligne de fuite spécifique unifiée (USCD – Unified specific creepage distance), mm/kV
a	Très faible	22
b	Faible	28
c	Moyenne	35
d	Forte	44
e	Très forte	54

27.9.2 Distances dans l'air

Des recommandations pour le choix des distances dans l'air se trouvent à l'Annexe A de l'IEC 60071-2:1996. Les exigences sont basées sur les tensions de choc de foudre ou de manœuvre et s'appliquent lorsqu'un isolement total est requis conformément à l'Article 18 et en 27.8. Des distances dans l'air minimales ont été déterminées pour différentes configurations d'électrode. En général, à moins que le fournisseur n'ait une raison valable, il convient de définir les distances à partir des valeurs pointe-structure.

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

Il convient d'utiliser le Tableau 8, extrait de l'IEC 60071-2, pour l'isolement entre phases et entre phase et terre pour lequel la tension de tenue au choc de foudre est définie.

Pour le choix des distances dans l'air des parties d'isolation où s'appliquent uniquement des exigences de tenue en tension alternative (voir Articles 18 et 27.8), il convient d'utiliser les recommandations de l'Annexe G de l'IEC 60071-2:1996. Si d'autres exigences plus détaillées ne sont pas spécifiées, il convient d'appliquer la courbe de la Figure 5 donnant la distance minimale dans l'air en fonction de la tenue en courant alternatif.

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

Tableau 8 – Corrélation entre les tensions de tenue au choc de foudre normalisées et les distances dans l'air minimales (Tableau A.1 de l'IEC 60071-2:1996)

Tension de tenue au choc de foudre normalisée kV	Distance minimale mm	
	Pointe-structure	Conducteur-structure
20	60	
40	60	
60	90	
75	120	
95	160	
125	220	
145	270	
170	320	
250	480	
325	630	
450	900	
550	1 100	
650	1 300	
750	1 500	
850	1 700	1 600
950	1 900	1 700
1 050	2 100	1 900
1 175	2 350	2 200
1 300	2 600	2 400
1 325	2 850	2 600
1 550	3 100	2 900
1 675	3 350	3 100
1 800	3 600	3 300
1 950	3 900	3 600
2 100	4 200	3 900
NOTE Le choc de foudre normalisé est applicable à l'isolement entre phases et à l'isolement phase-terre. Pour l'isolement phase-terre, la distance minimale pour les configurations conducteur-structure et pointe-structure est applicable. Pour l'isolement entre phases, la distance minimale pour la configuration pointe-structure est applicable.		

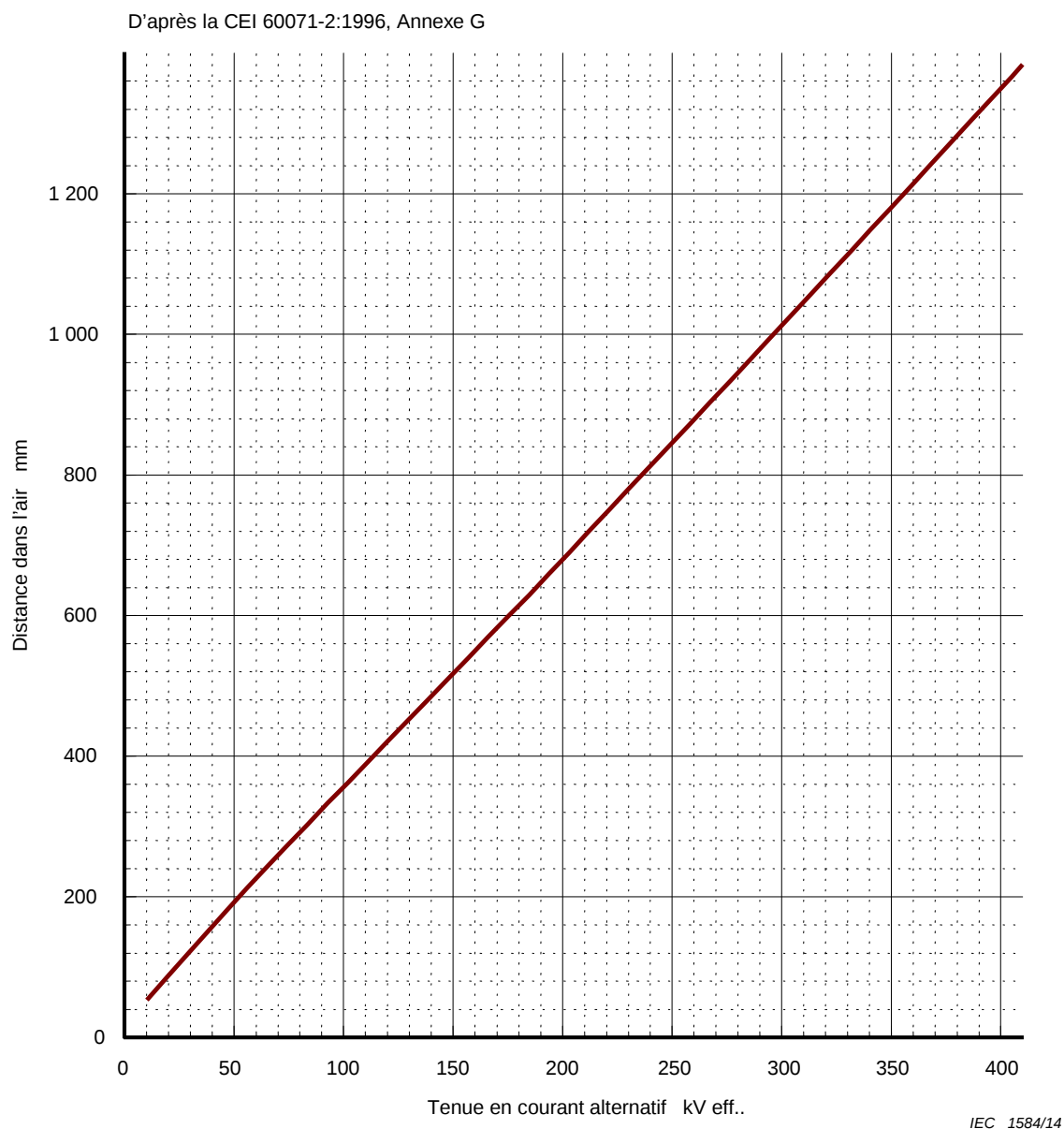


Figure 5 – Distance dans l'air en fonction de la tenue en courant alternatif

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

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

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

Annexe A (normative)

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

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

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

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

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

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

Annexe B (normative)

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

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

Ajouter la définition suivante à l'Article 3:

3.22

condensateur de filtrage passe-bande et passe-haut

condensateur de filtrage

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

Addition au 3.10:

Note 1 à l'article: Pour les condensateurs de filtrage, la puissance assignée est la somme arithmétique de la puissance due à la fréquence fondamentale et des puissances dues aux harmoniques.

Addition au 3.11:

Note 2 à l'article: Dans le cas des condensateurs de filtrage, U_N est défini comme la somme arithmétique des valeurs efficaces des tensions fondamentale et harmoniques, ou encore comme la tension calculée à partir de la puissance assignée (voir addition au 3.10) et de la réactance capacitive à la fréquence assignée, la plus grande de ces deux valeurs étant retenue.

Addition au 3.13:

Note 1 à l'article: Pour les condensateurs de filtrage, le courant assigné est défini comme la racine carrée de la somme des carrés des courants assignés à la fréquence fondamentale et aux fréquences harmoniques. Les accessoires tels que les jeux de barres doivent être dimensionnés pour fonctionner de manière satisfaisante à ce courant et à ces surintensités (voir Article 20).

Addition au 7.2:

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

Condensateurs unitaires des filtres passe-bande: ± 5 %

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

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

Il convient de considérer les facteurs suivants pour déterminer les tolérances d'une batterie de condensateurs de filtrage:

- les tolérances des matériels associés, spécialement celles de la ou des bobines d'inductance;
- la variation de la fréquence fondamentale du réseau auquel le condensateur de filtrage est connecté;
- les variations de capacité dues à la température;

- la variation de capacité tolérée pour des périodes restreintes, par exemple les montées en température ou les conditions de défaut telles que les perforations avant fonctionnement des fusibles;
- la variation de capacité après fonctionnement des fusibles.

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

Addition au 9.2:

Pour les condensateurs de filtrage:

$$U_t = 2,0 U_1 + 1,5 U_H$$

où

U_1 est la tension efficace à la fréquence fondamentale après installation;

U_H est la somme arithmétique des valeurs efficaces des tensions harmoniques après installation.

Addition au 9.3:

Pour les condensateurs de filtrage:

$$U_t = 4,0 U_1 + 3 U_H$$

Addition au 13.2:

NOTE Pour les condensateurs de filtrage, si le produit $1,44 Q_N$ est inférieur à la valeur de la puissance déterminée par $1,1 U_N$ et C_N à la fréquence fondamentale, cette dernière valeur de tension pour l'essai de stabilité thermique est utilisée.

Addition à l'Article 18:

Pour les condensateurs de filtrage, U_m se rapporte à la tension à la fréquence fondamentale aux bornes du circuit de filtrage après installation.

Cependant, si la somme arithmétique des valeurs efficaces des tensions U_H dues aux harmoniques est supérieure à 0,5 fois la tension U_1 à la fréquence fondamentale (c'est-à-dire si $U_H > 0,5 U_1$), le niveau d'isolement du condensateur doit être choisi en fonction de la tension la plus élevée pour le matériel U_m dans le réseau en question, augmentée de $0,5 U_H$.

Le niveau d'isolement et la ligne de fuite doivent être choisis parmi les valeurs normalisées. Il convient de prendre également les dispositions de 27.2 en considération.

Addition à l'Article 20:

Pour les condensateurs de filtrage, la valeur du courant maximal admissible doit faire l'objet d'un accord entre le fabricant et l'acheteur.

Addition aux 25.1 et 26.1:

Pour les condensateurs de filtrage, la fréquence d'accord harmonique doit être marquée, de préférence après la fréquence assignée.

Par exemple:

50 Hz + 250 Hz	(filtre passe-bande étroite)
50 Hz + 550 Hz/650 Hz	(filtre passe-bande large)
50 Hz + ≥ 750 Hz	(filtre passe-haut)

Annexe C (normative)

Exigences d'essai et guide d'application pour fusibles externes et unités à protéger par fusible externe

C.1 Généralités

La présente annexe s'applique aux fusibles externes utilisés avec les condensateurs shunt à haute tension. Ces fusibles doivent suivre les dispositions de l'IEC 60549.

La présente annexe a pour objet

- a) de spécifier les règles qui concernent les essais et les caractéristiques fonctionnelles des fusibles externes,
- b) de servir de guide pour l'utilisation des fusibles externes.

C.2 Termes et définitions

Pour les besoins de la présente annexe, les termes et définitions donnés dans l'IEC 60549 ainsi que les suivants s'appliquent.

C.2.1

fusible externe

fusible connecté à l'extérieur du ou des condensateurs unitaires et monté électriquement en série avec une unité ou un groupe d'unités branchées en parallèle

C.3 Exigences relatives au fonctionnement

Les exigences relatives au fonctionnement du fusible doivent être conformes à l'IEC 60549.

Le fusible doit pouvoir supporter le nombre de courants d'appel transitoires provoqués par les commutations pendant la durée de vie du condensateur. La valeur de crête de ces courants d'appel ne doit pas dépasser 100 fois la valeur efficace du courant assigné (voir 27.6.2).

NOTE 1 Si les conditions de service le permettent, l'expression «pendant la durée de vie du condensateur» peut être remplacée par «jusqu'à la prochaine inspection régulière d'entretien».

Le ou les fusibles connectés à des unités saines doivent pouvoir supporter les courants de décharge dus au claquage d'une ou des autres unités et les courants dus aux courts circuits extérieurs aux unités.

NOTE 2 Il existe un grand nombre de catégories de condensateurs qui peuvent être utilisés avec un fusible donné et un grand nombre de types et de catégories de fusible qui peuvent être utilisés avec un condensateur donné; par conséquent, aucun essai de type n'a été spécifié pour une combinaison d'un condensateur avec fusible. Cependant, pour une application où la combinaison condensateur/fusible a été spécifiée, un essai de type de décharge basé sur les conditions de l'application peut être effectué après accord entre le fabricant et l'acheteur.

C.4 Essais

C.4.1 Essai des fusibles

Se reporter à l'IEC 60549.

C.4.2 Essais de type sur les cuves des condensateurs

A l'étude.

C.5 Guide de coordination de la protection par fusibles

C.5.1 Généralités

Chaque fusible est raccordé en série avec l'unité ou le groupe d'unités qu'il est destiné à isoler si un défaut survient dans cette unité ou ce groupe d'unités.

Suivant la disposition de la batterie et les connexions internes de l'unité, le courant qui passe à travers l'unité par suite du défaut de celle-ci, augmenté du courant provoqué par la décharge de l'énergie emmagasinée dans les unités connectées en parallèle avec l'unité défectueuse, peut ne pas être suffisant pour assurer le fonctionnement du fusible avant que plusieurs des éléments raccordés en série dans l'unité défectueuse ne soient eux-mêmes devenus défectueux. Pour être certain que le fusible fonctionnera en isolant l'unité totalement défectueuse, il convient que le fusible soit calibré de manière à fonctionner quand il est uniquement soumis à la surintensité à fréquence industrielle qui traverserait l'unité en court-circuit.

Le fonctionnement d'un ou de plusieurs fusibles entraîne un changement de répartition des tensions au sein de la batterie. Il convient que la tension aux bornes des unités saines ne dépasse pas la valeur indiquée à l'Article 19, ni qu'elle soit présente pendant plus que la durée correspondante indiquée à l'Article 19. Sauf prise de dispositions pour la déconnexion de la batterie afin de satisfaire à cette exigence, il convient que toutes les unités de la batterie aient des caractéristiques assignées appropriées aux conditions de service plus sévères qui découlent de la déconnexion d'unités par suite du fonctionnement de leurs fusibles (voir également la Note 3 de l'Article 21).

Pour les unités pourvues d'éléments connectés en série, le claquage d'un élément donne lieu à des modifications de la répartition des tensions au sein de la batterie comme au sein de l'unité avant le fonctionnement des fusibles.

Il convient de considérer ces variations de tension en fonction de la protection électrique de la batterie.

C.5.2 Séquence de protection

Il convient que les divers dispositifs de protection d'une batterie de condensateurs fonctionnent dans un ordre donné.

Normalement, la première étape est le fonctionnement du fusible de l'unité ou du groupe d'unités. La deuxième étape est la protection de la batterie par relais (par exemple protection contre les surintensités ou les déséquilibres). La troisième étape est constituée par la protection propre du réseau ou de l'équipement.

NOTE 1 Suivant la taille de la batterie, la conception de la protection par relais, etc., ces trois étapes ne sont pas toutes nécessairement utilisées dans toutes les batteries de condensateurs.

NOTE 2 Avec les batteries de grande taille, une étape d'alarme peut également être utilisée.

NOTE 3 A moins que le fusible ne fonctionne déjà à coup sûr par suite de la décharge de l'énergie emmagasinée dans la plage de tensions comprise entre $0,9 \sqrt{2} \times U_N$ et $2 \sqrt{2} \times U_N$, le fabricant fournit la caractéristique temps/courant du fusible ainsi que ses tolérances.

NOTE 4 Dans certains cas, la protection contre les déséquilibres est plus sensible que les fusibles, le fonctionnement de ces derniers n'intervenant, par exemple, que lors de contournements des traversées ou du claquage complet du diélectrique de l'unité.

Dans ce cas, la première étape de la protection est la protection contre les déséquilibres et les fusibles servent de protection d'appui.

C.6 Choix des fusibles

C.6.1 Généralités

Pour choisir les fusibles, il convient d'étudier comment minimiser la probabilité des ruptures de cuve dans le cas de la défaillance d'un condensateur unitaire, en faisant appel aux meilleures données et directives disponibles. Celles qui seront utilisées doivent faire l'objet d'un accord entre le fabricant et l'acheteur.

Cette exigence concerne les surintensités à fréquence industrielle ainsi que l'énergie emmagasinée dans les unités connectées en parallèle avec l'unité défectueuse.

Pour choisir les fusibles, il convient de prendre en considération les conditions thermiques et électriques qui leur sont imposées lors des essais de type des Articles 13 et 17.

C.6.2 Fusibles autres qu'à limitation de courant

Ils sont généralement du type à expulsion avec des éléments fusibles remplaçables.

Tant pour le courant à la fréquence de fonctionnement que pour la décharge de l'énergie emmagasinée, ils ont une action limitatrice faible ou nulle.

Il convient que l'énergie totale emmagasinée dans les condensateurs en parallèle avec l'unité défectueuse soit inférieure à celle que le fusible peut supporter sans exploser, et inférieure à l'énergie nécessaire pour faire éclater le condensateur défectueux (voir C.6.1).

Ce type de fusible peut être utilisé quand les surintensités à la fréquence de fonctionnement auxquelles peut être soumise l'unité défectueuse sont suffisamment faibles.

C.6.3 Fusibles à limitation de courant

Ce type de fusible limite les surintensités à la fréquence de fonctionnement à une valeur inférieure à la valeur présumée; il réduit le courant à zéro avant le passage par le zéro normal du courant à la fréquence de fonctionnement.

Un fusible à limitation de courant correctement étudié ne laissera passer qu'une partie de l'énergie emmagasinée vers le condensateur défectueux.

Il convient que la quantité qui passe à travers le fusible soit inférieure à celle qui est nécessaire pour faire éclater le condensateur défectueux (voir C.6.1).

Il convient d'utiliser ces fusibles quand les surintensités à la fréquence de fonctionnement ou la quantité maximale d'énergie emmagasinée en parallèle avec l'unité éventuellement défectueuse sont assez élevées pour causer l'éclatement d'un fusible à expulsion ou d'un condensateur défectueux. Les fusibles à limitation de courant correctement étudiés n'imposent pas de limite supérieure à l'énergie emmagasinée en parallèle et pouvant s'écouler vers le condensateur défectueux.

C.7 Informations nécessaires à l'utilisateur de fusibles

Pour pouvoir choisir le fusible approprié dans chaque application, il peut être nécessaire de faire appel à tout ou partie des informations qui figurent dans l'IEC 60549.

Annexe D (informative)

Formules pour les condensateurs et les installations

D.1 Calcul de la puissance des condensateurs triphasés à partir de trois mesures de capacités monophasées

C_a , C_b et C_c sont les capacités mesurées entre bornes de ligne prises deux à deux d'un condensateur triphasé connecté en étoile ou en triangle. Si les exigences de symétrie établies en 7.2 sont respectées, la puissance Q du condensateur peut être calculée à l'aide de l'équation suivante:

$$Q = \frac{2}{3}(C_a + C_b + C_c)U_N^2 \times 10^{-6}$$

où

C_a , C_b et C_c sont exprimées en microfarads;

U_N est exprimée en kilovolts;

Q est exprimée en mégavars.

D.2 Fréquence de résonance

Un condensateur peut être en résonance avec un harmonique dont le rang est donné par la relation suivante où r est un nombre entier:

$$r = \sqrt{\frac{S}{Q}}$$

où

S est la puissance de court-circuit (MVA) au point où le condensateur est à connecter;

Q est exprimée en mégavars;

r est le rang de l'harmonique, c'est-à-dire le rapport entre la fréquence de l'harmonique de résonance (Hz) et la fréquence du réseau (Hz).

D.3 Elévation de tension

La connexion d'un condensateur shunt provoque l'élévation permanente de tension ci-après:

$$\frac{\Delta U}{U} \approx \frac{Q}{S}$$

où

ΔU est l'élévation de tension;

U est la tension avant connexion du condensateur;

S est la puissance de court-circuit (MVA) au point où le condensateur est à connecter;

Q est exprimée en mégavars.

D.4 Courant d'appel transitoire

D.4.1 Mise sous tension d'une seule batterie de condensateurs

$$\hat{I}_S \approx I_N \sqrt{\frac{2S}{Q}}$$

où

$\hat{I}_S$ est la valeur de crête du courant d'appel de la batterie, exprimée en ampères;

I_N est le courant assigné (valeur efficace) de la batterie exprimé en ampères;

S est la puissance de court-circuit (MVA) au point où le condensateur est à connecter;

Q est exprimée en mégavars.

D.4.2 Mise en parallèle d'une batterie avec une ou plusieurs batteries sous tension

$$\hat{I}_S = \frac{U\sqrt{2}}{\sqrt{X_C X_L}} \text{ où } X_C = 3U^2 \left(\frac{1}{Q_1} + \frac{1}{Q_2} \right) \times 10^{-6}$$

où

$\hat{I}_S$ est la valeur de crête du courant d'appel de la batterie, exprimée en ampères;

U est la tension entre phase et terre, exprimée en volts;

X_C est la réactance capacitive série par phase, exprimée en ohms;

X_L est la réactance inductive par phase entre batteries, exprimée en ohms;

Q_1 est la puissance de la batterie commutée en circuit, exprimée en mégavars;

Q_2 est la somme des puissances des batteries préalablement sous tension, exprimée en mégavars.

D.5 Résistance de décharge des unités monophasées

$$R \leq \frac{t}{C \ln(U_N \sqrt{2}/U_R)}$$

où

t est la durée de décharge pour passer de $U_N \sqrt{2}$ à U_R , exprimée en secondes;

R est la résistance de décharge, exprimée en mégohms;

C est la capacité, exprimée en microfarads;

U_N est la tension assignée de l'unité, exprimée en volts;

U_R est la tension résiduelle admissible, exprimée en volts;

(voir Article 21 pour les limites applicables à t et à U_R).

D.6 Durée de décharge à 10 % de la tension assignée

$$t_1 = 2,65 RC = \frac{2,65t}{\ln(U_N \sqrt{2}/U_R)}$$

où

t est la durée de décharge pour passer de $U_N \sqrt{2}$ à U_R , exprimée en secondes;

U_N est la tension assignée de l'unité, exprimée en volts;

U_R est la tension résiduelle admissible, exprimée en volts;

t_1 est la durée de décharge exprimée en secondes, à 10 % de la tension assignée.

Si les limites de l'Article 21 sont strictement observées, on a:

$$t_1 = \frac{1\,590}{\ln(U_N/53)}$$

Annexe E **(informative)**

Protection des batteries de condensateurs par fusibles et disposition des unités

E.1 Généralités

Trois différents types de protection par fusible et de disposition d'unités sont appliqués aux batteries de condensateurs shunt. Cette annexe donne un aperçu de ces types et de la configuration des condensateurs unitaires associée. Se référer à la Figure E.1 et à la Figure E.2.

E.2 Batterie de condensateurs avec fusibles internes

La configuration typique utilisée dans un condensateur unitaire avec fusibles internes se traduit par des groupes d'éléments équipés de fusibles connectés en parallèle. Ces groupes sont ensuite connectés en série afin d'obtenir les caractéristiques assignées du condensateur unitaire. Les condensateurs unitaires sont connectés en série et en parallèle autant que nécessaire de façon à obtenir les caractéristiques assignées de la batterie entière. De nombreuses configurations différentes sont possibles. La batterie peut être divisée en deux ou plusieurs chaînes parallèles afin de permettre la détection du déséquilibre de courant des condensateurs.

Le défaut d'un élément de condensateur se traduit par un courant de décharge des éléments en parallèle à travers le fusible interne associé provoquant la fusion du fusible. Cela entraîne une augmentation de tension aux bornes des éléments en parallèle à l'intérieur du condensateur et une légère augmentation de la tension aux bornes du condensateur unitaire. Les amplitudes de ces augmentations de tension dépendent fortement du nombre d'éléments en parallèle défini par la conception du fabricant.

Un défaut d'un élément a le plus de chance de se produire lorsque la tension aux bornes de la batterie est élevée. Comme spécifié dans l'IEC 60871-4, les fusibles internes sont conçus pour fonctionner correctement pour des tensions supérieures à $0,9 \times U_N$ et jusqu'à $2,5 \times U_N$. Il convient de prendre en compte à la conception le courant et la tension additionnels résultant de la fusion d'un certain nombre de fusibles.

Les condensateurs unitaires peuvent avoir une ou deux bornes isolées.

E.3 Batterie de condensateurs avec fusibles externes

La configuration typique utilisée pour des condensateurs protégés par fusibles externes se traduit par la connexion de groupes de condensateurs équipés de fusibles, en parallèle, autant de fois que nécessaire de façon à obtenir le courant assigné de la batterie. Ces groupes sont connectés en série afin d'obtenir les caractéristiques assignées de tension et de puissance de la batterie. Une batterie peut être divisée en deux ou plusieurs chaînes parallèles afin de permettre la détection du déséquilibre de courant des condensateurs.

Le défaut d'un condensateur unitaire se traduit par une augmentation du courant dans le fusible externe provoquant la fusion du fusible. Cela entraîne une augmentation de tension sur les condensateurs unitaires en parallèle. L'amplitude de cette augmentation de tension dépend du nombre de condensateurs unitaires en parallèle défini par la conception du fabricant.

L'Annexe C et l'IEC 60549 contiennent des exigences plus détaillées et des lignes directrices pour une application correcte des fusibles externes.

Les condensateurs unitaires ont habituellement une borne isolée.

E.4 Batterie de condensateurs sans fusible

La configuration typique utilisée avec des condensateurs sans fusible se traduit par des chaînes de condensateurs unitaires connectés en série. Le nombre de condensateurs unitaires connectés en série est déterminé de façon à obtenir la tenue en tension nécessaire. Ces chaînes de condensateurs sont connectées en parallèle afin d'obtenir les caractéristiques assignées de courant et de puissance de la batterie.

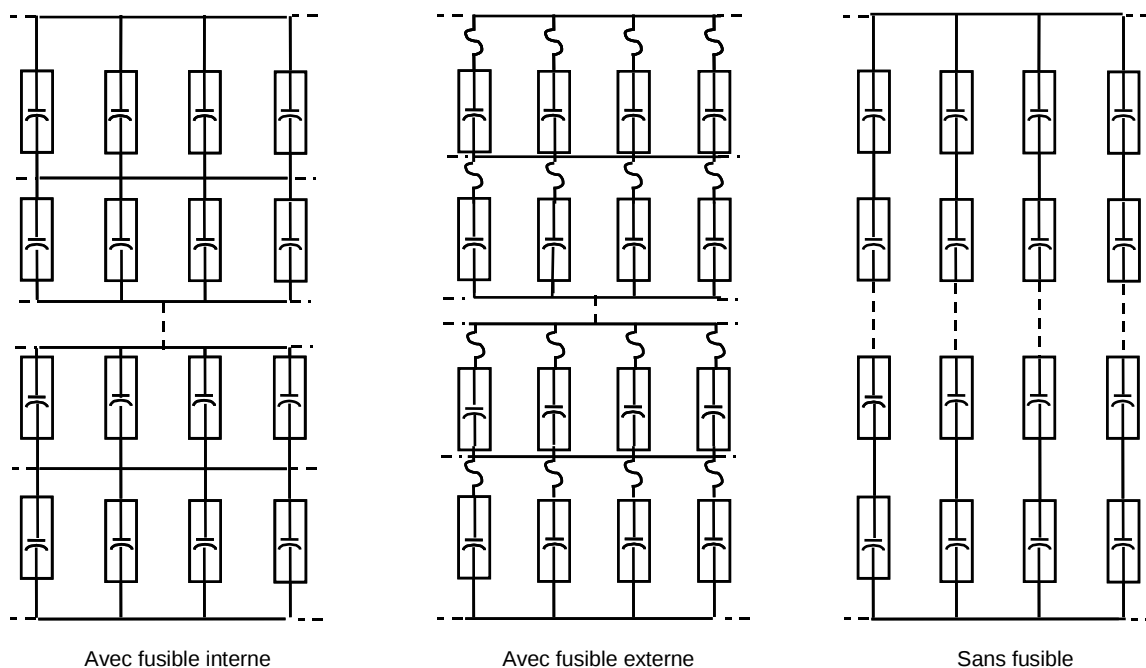
Une batterie peut être divisée en deux ou plusieurs groupes parallèles de chaînes afin de permettre la détection du déséquilibre de courant des condensateurs.

Le défaut d'un élément de condensateur se traduit par un court-circuit de la section série associée de ce condensateur unitaire. Cela entraîne une augmentation du courant traversant et une augmentation de tension aux bornes des éléments restants dans ce condensateur unitaire et dans les autres condensateurs unitaires de la chaîne associée. Le degré de cette augmentation dépend du nombre total d'éléments en série de la chaîne. L'énergie de décharge et l'augmentation de courant sont tous les deux faibles puisqu'il n'y pas de condensateur unitaire connecté directement en parallèle. Le condensateur unitaire avec l'élément court-circuité continue à être opérationnel. Il convient que les condensateurs unitaires utilisés dans les applications sans fusible disposent d'un diélectrique tout film. Un défaut dans un élément comportant ce système de diélectrique se traduit par un court-circuit soudé avec une très faible résistance. Cela n'était pas le cas avec les systèmes de diélectrique plus anciens qui étaient constitués de papier.

Dans la mesure où il n'y a pas de déconnexion de l'élément défectueux ni de déconnexion immédiate des unités affectées, l'aptitude de l'isolation interne vitale à résister à l'énergie déchargée doit être très soigneusement prise en compte. Les défaillances susceptibles d'affecter l'isolement de l'enveloppe métallique peuvent revêtir un caractère particulièrement critique.

Les condensateurs unitaires sont d'habitude conçus avec deux traversées isolées.

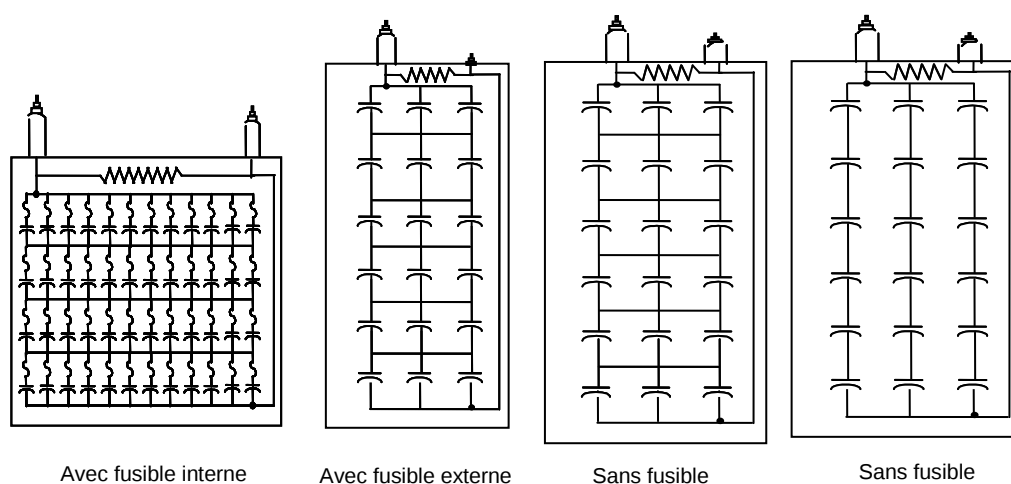
Le nombre de condensateurs unitaires peut varier selon l'application et selon le type de fusible. Les transformateurs de courant de déséquilibre de condensateur ne sont pas représentés.



IEC 1585/14

Figure E.1 – Connexions typiques entre condensateurs unitaires

Le nombre d'éléments au sein d'un condensateur unitaire et le nombre d'éléments en série et en parallèle varieront selon les exigences de l'application et selon les pratiques de conception du fabricant.



IEC 1586/14

Figure E.2 – Connexions typiques entre éléments au sein d'un condensateur unitaire

Bibliographie

IEC 60038:2009, *Tensions normales de la CEI*

IEC 60050-151:2001, *Vocabulaire Electrotechnique International – Partie 151: Dispositifs électriques et magnétiques*

IEC 60050-436:1990, *Vocabulaire Electrotechnique International – Chapitre 436: Condensateurs de puissance*

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

IEC 60099 (toutes les parties), *Parafoudres*

IEC 60110-1, *Condensateurs de puissance pour les installations de génération de chaleur par induction – Partie 1: Généralités*

IEC 60143 (toutes les parties), *Condensateurs série destinés à être installés sur des réseaux*

IEC 60252 (toutes les parties), *Condensateurs des moteurs à courant alternatif*

IEC 60273, *Caractéristiques des supports isolants d'intérieur et d'extérieur destinés à des installations de tension nominale supérieure à 1 000 V*

IEC 60358, *Condensateurs de couplage et diviseurs capacitifs*

IEC/TS 60815-2, *Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions – Part 2: Ceramic and glass insulators for a.c. systems*

IEC/TS 60815-3, *Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions – Part 3: Polymer insulators for a.c. systems*

IEC 60831 (toutes les parties), *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*

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

IEC 60871-3, *Condensateurs shunt pour réseaux à courant alternatif de tension assignée supérieure à 1 000 V – Partie 3: Protection des condensateurs shunt et des batteries de condensateurs shunt*

IEC 60931 (toutes les parties), *Condensateurs shunt de puissance non autorégénérateurs pour réseaux à courant alternatif de tension assignée inférieure ou égale à 1000 V*

IEC/TR 60996, *Méthode de vérification de la précision des mesures de la tangente de l'angle de pertes applicable aux condensateurs*

IEC 61048, *Appareils auxiliaires pour lampes – Condensateurs destinés à être utilisés dans les circuits de lampes tubulaires à fluorescence et autres lampes à décharge – Prescriptions générales et de sécurité*

IEC 61049, *Condensateurs destinés à être utilisés dans les circuits de lampes tubulaires à fluorescence et autres lampes à décharge – Prescriptions de performance*

IEC 61071, *Condensateurs pour électronique de puissance*

IEC 61270-1, *Condensateurs pour les fours à micro-ondes – Partie 1: Généralités*

IEC 61642, *Réseaux industriels à courant alternatif affectés par les harmoniques – Emploi de filtres et de condensateurs shunt*

IEEE 18, *Norme IEEE sur les Condensateurs Shunt de Puissance*

IEEE 1036, *Guide d'Application des Condensateurs Shunt de Puissance*

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

3, rue de Varembé
PO Box 131
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel: + 41 22 919 02 11
Fax: + 41 22 919 03 00
info@iec.ch
www.iec.ch