

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Shunt power capacitors of the self-healing type for AC systems having a rated voltage above 1 000 V

Condensateurs-shunt de puissance autorégénérateurs destinés aux réseaux à courant alternatif de tension assignée supérieure à 1 000 V

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63210:2021



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2021 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
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 corrigendum or an amendment might have been published.

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.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 once a month by email.

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: sales@iec.ch.

IEC online collection - oc.iec.ch

Discover our powerful search engine and read freely all the publications previews. With a subscription you will always have access to up to date content tailored to your needs.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary on electrotechnology, containing more than 22 000 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 18 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

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.

Recherche de publications IEC -

webstore.iec.ch/advsearchform

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 une fois par mois par email.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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

IEC online collection - oc.iec.ch

Découvrez notre puissant moteur de recherche et consultez gratuitement tous les aperçus des publications. Avec un abonnement, vous aurez toujours accès à un contenu à jour adapté à vos besoins.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire d'électrotechnologie en ligne au monde, avec plus de 22 000 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 16 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Shunt power capacitors of the self-healing type for AC systems having a rated voltage above 1 000 V

Condensateurs-shunt de puissance autorégénérateurs destinés aux réseaux à courant alternatif de tension assignée supérieure à 1 000 V

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 29.120.99; 31.060.70

ISBN 978-2-8322-9464-2

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	8
3 Terms and definitions	9
4 Service conditions	13
4.1 Normal service conditions	13
4.2 Unusual service conditions	14
5 Quality requirements and tests	14
5.1 General.....	14
5.2 Test conditions	14
6 Classification of tests.....	15
6.1 Routine tests.....	15
6.2 Type tests and design tests	15
6.3 Acceptance tests	16
7 Capacitance measurement	16
7.1 Measuring procedure	16
7.2 Capacitance tolerances.....	17
8 Measurement of the tangent of the loss angle ($\tan \delta$) of the capacitor.....	17
8.1 Measuring procedure	17
8.2 Loss requirements	17
9 Voltage tests between terminals	17
9.1 General for routine test	17
9.2 AC test	17
9.3 DC test	18
9.4 Type test.....	18
10 Voltage tests between terminals and container	18
10.1 Routine test	18
10.2 Type test.....	19
11 Test of internal discharge device	19
12 Sealing test	19
13 Thermal stability test (type test).....	20
13.1 General.....	20
13.2 Measuring procedure	20
14 Measurement of the tangent of the loss angle ($\tan \delta$) of the capacitor at elevated temperature (type test)	21
14.1 Measuring procedure	21
14.2 Requirements	21
15 Lightning impulse test between terminals and container (type test).....	21
16 Overvoltage test (design test).....	22
16.1 General.....	22
16.2 Conditioning of the sample before the test	22
16.3 Test procedure.....	23
16.4 Acceptance criteria	23
16.5 Validity of test.....	23
16.5.1 General	23

16.5.2	Element design.....	23
16.5.3	Test unit design.....	23
16.5.4	Waveform of overvoltage.....	24
17	Short-circuit discharge test (type test).....	24
18	Self-healing test (type test).....	25
18.1	General.....	25
18.2	Test setup.....	25
18.3	Acceptance criteria.....	25
19	Destruction test (design test).....	25
19.1	General.....	25
19.2	Test setup for capacitors without actively monitored safety device (internally protected).....	26
19.3	Acceptance criteria.....	26
19.4	Test setup for capacitors with actively monitored safety device (externally protected).....	27
19.5	Acceptance criteria.....	27
20	Insulation levels.....	27
20.1	Standard insulation values.....	27
20.2	General requirements.....	28
20.2.1	General.....	28
20.2.2	Adjacent insulating components and equipment.....	28
20.2.3	Capacitors insulated from ground.....	28
20.2.4	Capacitors with neutral connected to ground.....	29
20.3	Test between terminals and container of capacitor units.....	29
20.4	Capacitors in single-phase systems.....	29
21	Overloads – Maximum permissible voltage.....	32
21.1	Long duration voltages.....	32
21.2	Switching overvoltages.....	32
22	Overloads – Maximum permissible current.....	32
23	Safety requirements for discharge devices.....	33
24	Safety requirements for container connections.....	33
25	Safety requirements for protection of the environment.....	33
26	Other safety requirements.....	33
27	Markings of the capacitor unit.....	34
27.1	Rating plate.....	34
27.2	Standardized connection symbols.....	34
27.3	Warning plate.....	35
28	Markings of the capacitor bank.....	35
28.1	Instruction sheet or rating plate.....	35
28.2	Warning plate.....	35
29	Guide for installation and operation.....	35
29.1	General.....	35
29.2	Choice of the rated voltage.....	36
29.3	Operating temperature.....	36
29.3.1	General.....	36
29.3.2	Installation.....	37
29.3.3	High ambient air temperature.....	37
29.4	Special service conditions.....	37

29.5	Overvoltages	38
29.5.1	General	38
29.5.2	Restriking of switches	38
29.5.3	Lightning	38
29.5.4	Motor self-excitation	38
29.5.5	Star-delta starting	38
29.5.6	Capacitor unit selection	38
29.6	Overload currents	39
29.6.1	Continuous overcurrents	39
29.6.2	Transient overcurrents	39
29.7	Switching and protective devices	39
29.7.1	Withstand requirements	39
29.7.2	Restrike-free circuit-breakers	40
29.7.3	Relay settings	40
29.8	Choice of insulation levels	41
29.8.1	General	41
29.8.2	Altitudes exceeding 1 000 m	41
29.8.3	Influence of the capacitor itself	41
29.8.4	Overhead ground wires	43
29.9	Choice of creepage distances and air clearance	43
29.9.1	Creepage distance	43
29.9.2	Air clearances	44
29.10	Capacitors connected to systems with audio-frequency remote control	46
Annex A (normative)	Requirements regarding comparable element design and test unit design	47
A.1	Test element design criteria	47
A.2	Test unit design	47
Annex B (informative)	Self-healing breakdown test equipment that may be used	49
Annex C (normative)	Test requirements and application guide for external fuses and units to be externally fused	50
C.1	General	50
C.2	Performance requirements	50
C.3	Tests on fuses	50
C.4	Guide for coordination of fuse protection	50
C.4.1	General	50
C.4.2	Protection sequence	51
C.5	Choice of fuses	52
C.5.1	General	52
C.5.2	Non current-limiting fuses	52
C.5.3	Current-limiting fuses	52
C.6	Information needed by the user of the fuses	52
Annex D (informative)	Formulae for capacitors and installations	53
D.1	Computation of the output of three-phase capacitors from three single-phase capacitance measurements	53
D.2	Resonant frequency	53
D.3	Voltage increase	53
D.4	Inrush transient current	54
D.4.1	Switching in of single capacitor bank	54
D.4.2	Switching on of a bank in parallel with energized bank(s)	54

D.5 Discharge resistance in single-phase unit	54
D.6 Discharge time to 10 % of rated voltage	55
Bibliography	56
Figure 1 – Time and amplitude limits for an overvoltage period	24
Figure 2 – Bank isolated from ground	42
Figure 3 – Bank isolated from ground (containers connected to ground)	42
Figure 4 – Bank connected to ground	43
Figure 5 – Air clearance versus AC withstand	46
Figure B.1 – Example of self-healing detection equipment	49
Table 1 – Letter symbols for upper limit of temperature range	14
Table 2 – Ambient air temperature for the thermal stability test	20
Table 3 – Standard insulation levels for range I ($1 \text{ kV} < U_m \leq 245 \text{ kV}$)	30
Table 4 – Standard insulation levels for range II ($U_m > 245 \text{ kV}$)	31
Table 5 – Admissible voltage levels in service	32
Table 6 – Insulation requirements	41
Table 7 – Specific creepage distances	43
Table 8 – Correlation between standard lightning impulse withstand voltages and minimum air clearances (Table A.1 from IEC 60071-2:1996)	45

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63210:2021

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**SHUNT POWER CAPACITORS OF THE SELF-HEALING TYPE FOR
AC SYSTEMS HAVING A RATED VOLTAGE ABOVE 1 000 V**

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.

IEC 63210 has been prepared by IEC technical committee 33: Power capacitors and their applications. It is an International Standard.

The text of this International Standard is based on the following documents:

Draft	Report on voting
33/651/FDIS	33/653/RVD

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

The language used for the development of this International Standard is English.

This document was drafted in accordance with ISO/IEC Directives, Part 2, and developed in accordance with ISO/IEC Directives, Part 1 and ISO/IEC Directives, IEC Supplement, available at www.iec.ch/members_experts/refdocs. The main document types developed by IEC are described in greater detail at www.iec.ch/standardsdev/publications.

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63210:2021

SHUNT POWER CAPACITORS OF THE SELF-HEALING TYPE FOR AC SYSTEMS HAVING A RATED VOLTAGE ABOVE 1 000 V

1 Scope

This document is applicable to both self-healing capacitor units and self-healing capacitor banks intended to be used, particularly, for power-factor correction of AC power systems having a rated voltage above 1 000 V and fundamental frequencies of 15 Hz to 60 Hz.

The following capacitors are excluded from this document:

- shunt power capacitors of the self-healing type for AC systems having a rated voltage up to and including 1 000 V (IEC 60831-1, -2);
- shunt power capacitors of the non-self-healing type for AC systems having a rated voltage up to and including 1 000 V (IEC 60931-1, -2 and -3);
- shunt capacitors of the non-self-healing type for AC power systems having a rated voltage above 1 000 V (IEC 60871-1, -2, -3 and -4);
- capacitors for inductive heat-generating plants operating at frequencies between 40 Hz and 24 000 Hz (IEC 60110-1 and -2);
- series capacitors (IEC 60143-1, -2, -3 and -4);
- AC motor capacitors (IEC 60252-1 and -2);
- coupling capacitors and capacitor dividers (IEC 60358-1, -2, -3, -4);
- capacitors for power electronic circuits (IEC 61071);
- small AC capacitors to be used for fluorescent and discharge lamps (IEC 61048 and IEC 61049);
- capacitors for suppression of radio interference;
- capacitors intended to be used in various types of electrical equipment, and thus considered as components;
- capacitors intended for use with DC voltage superimposed on the AC voltage.

Requirements for accessories such as insulators, switches, instrument transformers and external fuses are given in the relevant IEC standards and are not covered by the scope of this document.

The object of this document is to:

- a) formulate uniform rules regarding performances, testing and rating;
- b) formulate specific safety rules;
- c) provide a guide for installation and operation.

2 Normative references

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

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

IEC 60071-1:2019, *Insulation co-ordination – Part 1: Definitions, principles and rules*

IEC 60071-2:1996, *Insulation co-ordination – Part 2: Application guide* ¹

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

3 Terms and definitions

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

ISO and IEC maintain terminological databases for use in standardization at the following addresses:

- IEC Electropedia: available at <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: available at <http://www.iso.org/obp>

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, modified – Note 1 to entry has been added.]

3.5

self-healing capacitor

self-healing metallized dielectric capacitor

capacitor (consisting of elements which have at least one electrode made of a metallic deposit on the dielectric) whose electrical properties, after local breakdown of the dielectric, are rapidly and essentially restored

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-03-12, modified – addition of "(metallized dielectric)" and "(consisting of elements whose at least one electrode is made of a metallic deposit on the dielectric)"]

¹ Withdrawn. IEC 60071-2:1996 has been cancelled and replaced by IEC 60071-2:2018.

3.6

capacitor installation

one or more capacitor banks and their accessories

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

3.7

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 – In the definition, "intended to reduce" has been replaced by "capable of reducing" and "to a given value" has been replaced by "practically to zero".]

3.8 Safety device (of a capacitor unit)

3.8.1

overpressure disconnecter

disconnecting device designed to switch off the capacitor unit in case of abnormal increase of the internal pressure

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-03-17, modified – "for a capacitor" has been deleted from the term. In the definition, "to interrupt the current path in the event" has been replaced by "to switch off the capacitor unit in case".]

3.8.2

overpressure detector

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

3.8.3

overtemperature disconnecter

disconnecting device designed to switch off the capacitor unit in case of abnormal increase of the internal temperature

3.8.4

segmented metallization design

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

3.8.5

special unsegmented metallization design

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

3.8.6

fault detector

device with other safety mechanisms (design measures, sensors or provisions) than those defined in 3.8.1 to 3.8.5 but utilized with the same purpose to detect an abnormal technical state of the capacitor unit in order to avoid possible safety risks by indirect interruption of the current path in the capacitor unit

3.9 Protection (of a capacitor unit)

3.9.1

protected capacitor unit

capacitor unit that meets the requirements for the destruction test as specified in Clause 19

Note 1 to entry: Protected capacitors alone are not sufficient to prevent all possible dangers in case of malfunction.

3.9.2

unprotected capacitor unit

capacitor unit that does not meet requirements for the destruction test as specified in Clause 19

3.10

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 – Note 1 to entry has been added.]

3.11

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 – The symbol " C_N " has been added.]

3.12

rated output of a capacitor

rated power of a capacitor

Q_N

reactive power for which the capacitor has been designed

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-01-16, modified – In the term, "(power)" has been added, and the symbol " Q_N " has been added.]

3.13

rated voltage of a capacitor

U_N

RMS 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 – The symbol " U_N " and Note 1 to entry have been added.]

3.14

rated frequency of a capacitor

f_N

frequency for which the capacitor has been designed

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-01-14, modified – The symbol " f_N " has been added.]

3.15

rated current of a capacitor

I_N

RMS value of the alternating current for which the capacitor has been designed

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-01-13, modified – The symbol " I_N " has been added.]

3.16

total capacitor losses

active power dissipated in the capacitor

Note 1 to entry: All loss-producing components are 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 – In the term, "total" has been added. Note 1 and Note 2 to entry have been added.]

3.17

loss factor of a capacitor

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, modified. The term "loss factor of a capacitor" has been added.]

3.18

maximum permissible AC voltage of a capacitor

maximum RMS alternating voltage which the capacitor can sustain for a given time in specified conditions

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

3.19

maximum permissible AC current of a capacitor

maximum RMS alternating current which the capacitor can sustain for a given time in specified conditions

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

3.20

ambient air temperature

temperature of the air at the proposed location of the capacitor

3.21

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 considering its mounting orientation.

3.22**steady-state condition**

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

3.23**residual voltage**

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

3.24**test voltage** U_t

voltage to be applied for designated test, which is identified either as AC or DC in the according description of test

3.25**external fuse**

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

4 Service conditions**4.1 Normal service conditions**

This document gives requirements for capacitors intended for use under the following conditions:

a) Residual voltage at energization

Not exceeding 10 % rated voltage.

b) Altitude

Not exceeding 1 000 m.

In case of installations on altitudes above 1 000 m, correction factors for insulation (clearance) and correction factors for power reduction (thermal stability) shall be considered.

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.

For indoor use, a lower limit of –5 °C is normally applicable.

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

Symbol	Ambient temperature		
	°C		
	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 1 The temperature values according to Table 1 can be found in the meteorological temperature tables covering the installation site.

NOTE 2 Higher temperature values than those indicated in Table 1 can be considered in special applications by mutual agreement between manufacturer and purchaser. In that case, the temperature category is indicated by the combination of minimum and maximum temperature values, for example, –40/60.

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 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 document does not apply to capacitors, the service conditions of which, in general, are incompatible with the requirements of this document.

5 Quality requirements and tests

5.1 General

Clauses 5 to 19 give the test requirements for capacitor units. Supporting insulators, switches, instrument transformers, external fuses, external protection devices, 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 (> 3 times the thermal time constant of the unit).

The AC 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.

Capacitors having a rated frequency below 50 Hz shall be tested and measured at 50 Hz or 60 Hz, if not otherwise specified and agreed between the manufacturer and the purchaser.

6 Classification of tests

6.1 Routine tests

The following tests are routine tests. For details, reference should be made to the relevant clauses or subclauses:

- a) capacitance measurement and output calculation (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) voltage test between terminals and container (see Clause 10);
- e) test of the internal discharge device (see Clause 11);
- f) sealing test (see Clause 12).

Routine tests shall have been carried out by the manufacturer on every capacitor before delivery. If the purchaser so requests, he/she shall be supplied by the manufacturer with a certificate detailing the results of such tests.

In general, the indicated sequence of the tests is not mandatory except for 7.1 (final capacitance measurement).

6.2 Type tests and design tests

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

Design tests are tests for the general design approval. They are not intended to be performed on each individual unit within a capacitor series of the same design principle. It is sufficient to test one unit representing the highest electrical and thermal stress and the highest power density per volume and per surface within such capacitor series. It is the responsibility of the manufacturer to provide evidence regarding the proper design of such test units.

The design tests shall be carried out by the manufacturer. The results of the design tests are valid for all capacitors of the same design principle. They may be generally used for reference purposes.

The following tests are type tests or design tests. For details, reference should be made to the relevant clauses or subclauses:

- a) thermal stability test (see Clause 13 – type test);
- b) measurement of the tangent of the loss angle ($\tan \delta$) of the capacitor at elevated temperature (see Clause 14 – type test);
- c) voltage test between terminals (see 9.4 – type test);
- d) voltage test between terminals and container (see 10.2 – type test);
- e) lightning impulse voltage test between terminals and container (see Clause 15 – type test);
- f) short-circuit discharge test (see Clause 17 – type test);
- g) overvoltage test (see Clause 16 – design test);

- h) self-healing test (see Clause 18 – type test);
- i) destruction test (see Clause 19 – design test).

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 units of a design identical with that of the capacitor to be supplied or on units 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. However, each test [a) to i)] should be performed on an individual unit unless otherwise specified.

For thermal tests one prepared sample with additional temperature sensors, located in the expected hot-spot of the capacitor unit, may be used if, depending of the test voltage level, the effort for the necessary electrical insulation of the thermal sensors is reasonable. The choice is left to the manufacturer.

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

6.3 Acceptance tests

Some or all of the routine and/or type tests may be repeated by the manufacturer in connection with any contract by agreement with the purchaser. The kind of tests, the number of samples that may be subjected to such repeated tests, and the acceptance criteria shall be subject to agreement between the manufacturer and the purchaser, and shall be stated in the contract.

NOTE Refer to Clause 9 and Clause 10 for lowered test voltage at repeated voltage tests.

7 Capacitance measurement

7.1 Measuring procedure

The capacitance shall be measured at 0,9 to 1,1 times the rated voltage at 50/60 Hz, 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, 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 faulty element can be detected.

NOTE For polyphase capacitors, the measuring voltage is adjusted to give 0,9 to 1,1 times the 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, and
- 0 % to +10 % for banks.

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

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

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

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

8.1 Measuring procedure

The capacitor loss factor ($\tan \delta$) shall be measured at 0,9 to 1,1 times rated voltage at 50/60 Hz, 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 the rated voltage across each element.

NOTE 2 The tangent of the loss angle of low-loss dielectrics can change during the first hours of initial energization. This change 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.

9 Voltage tests between terminals

9.1 General for routine test

Every capacitor unit 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, self-healings are allowed. Neither puncture nor flashover shall occur.

In the case of a follow-up voltage test, the voltage shall be reduced to 80 % of U_t .

For polyphase capacitors, the test voltages should be adjusted as appropriate.

9.2 AC test

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

$$U_t = 2,15 U_N$$

NOTE The AC test voltage level and the duration of test are chosen with respect to the dielectric design of self-healing capacitors. For assuring an equivalent safety level, the AC test voltage ($U_t = 2,15 U_N$) is the same as for low voltage self-healing capacitors according to IEC 60831-1. So it exceeds the AC test voltage ($U_t = 2,0 U_N$) for film/foil capacitors according to IEC 60871-1 with the same rated voltage U_N .

9.3 DC test

The DC test voltage shall be as follows:

$$U_t = 3,04 U_N (= \sqrt{2} \times 2,15 U_N)$$

NOTE The DC test voltage is chosen to be equal to the peak value of the AC test voltage. Higher DC test voltage factors could cause a premature damage of the dielectric due to a risk for uncertain or even non self-healing breakdowns which need to be avoided. So the level differs from the DC test voltage ($U_t = 4,0 U_N$) for film/foil capacitors according to IEC 60871-1 with the same rated voltage U_N . Nevertheless, such inherent difference caused by the disparate capacitor technologies does not influence the reliability or lifetime expectancy of the self-healing units.

9.4 Type test

Every capacitor shall be subjected to the same test as specified in 9.1, but for a testing duration of 60 s. The capacitance and the loss factor $\tan \delta$ shall be measured before and after this test at rated voltage and a frequency of 50/60 Hz.

The change of capacitance caused by this test shall be below $\pm 0,5 \%$.

The change of $\tan \delta$ caused by this test shall be below $\pm 30 \%$.

NOTE The extended testing duration compensates the lower DC test voltage level in comparison to other capacitor technologies with U_t up to $4,0 U_N$.

10 Voltage tests between terminals and container

10.1 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 20.1 shall apply. For all other bank connections the test voltage shall be proportional to the rated voltage and calculated according to 20.3.

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 20.1 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.

In the case of a follow-up voltage test, the voltage shall be reduced to 80 % of U_t .

10.2 Type test

Every capacitor unit shall be subjected to a 60 s test as specified in 10.1.

Units with plastic containers are not subject to such a test. The insulation system of these units shall be tested as regards design, materials and manufacture by other appropriate means.

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 20.3.

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 a 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.

The alternative test on units with plastic containers should respect the necessary clearance and creepage distances when providing test electrodes on the surface for impressing the test voltage.

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

11 Test of internal discharge device

The resistance of the internal discharge device, if any, shall be checked either by a resistance measurement or by measuring the self-discharging rate (see Clause D.6).

The choice of the method is left to the manufacturer.

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

12 Sealing 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 the capacitor contains only materials which are solid within the capacitors normal operating temperature range, the test may be omitted as a routine test unless sealing is mandatory for triggering a safety device (see Clause 19).

If no procedure is stated by the manufacturer, the following test procedure shall apply. The un-energized capacitor in sealed state is supplied with pressurized air up to 0,3 bar above atmospheric pressure. The supply of the pressurized air is locked and the pressure inside the capacitor is monitored. If no pressure decrease within 20 s is detected, the test is passed. It is recommended that a suitable indicator is used.

The test with pressurized air should be performed prior to filling the capacitor with, for example, resin.

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, and
- 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.

The capacitor unit may be optionally equipped with an inner thermo-sensor for monitoring of the hot-spot temperature.

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 temperatures 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 AC 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 Clause 7), 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 and the loss factor $\tan \delta$ shall be measured (see Clause 7 and 8.1) at the same dielectric temperature. The difference between the two measurements of the capacitance and the loss factor $\tan \delta$ shall be less than $\pm 2\%$ for the capacitance and less than $20\% + 1 \times 10^{-4}$ for the $\tan \delta$.

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 and loss factor $\tan \delta$.

NOTE 1 The aim of these comparative measurements is the proof of the stability of the electrical parameters under maximal thermal load conditions.

NOTE 2 When checking if the temperature conditions are satisfied, fluctuations of voltage, frequency and ambient air temperature during the test need to 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 respecting the technical effort.

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

NOTE The result of such $\tan \delta$ measurement allows the calculation of the total losses of the capacitor unit close to its real operating conditions.

14.2 Requirements

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

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

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

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

Capacitors with non-conductive container material shall be tested using a wrapped conductive sheet covering major parts of the container forming the opposite polarity (ground) against the connected terminals.

NOTE Clearance and creepage aspects need to be considered when using the conductive sheet for covering a non-conductive container and providing test electrodes on the surface for impressing the test voltage.

Fifteen impulses of positive polarity followed by fifteen 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, and
- 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 20.1.

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, 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 (design 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 6.1. The test sample shall be manufactured according to Clause A.2.

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 document. For other applications where overvoltages related to rated voltage are better known and controlled, other test voltages may be agreed upon between purchasers and manufacturers. This may be applicable when extra safety margins are taken into account in the design calculations or when means for dielectric overvoltage protection with arresters or equipment for synchronized switching are used. The repeated overvoltage as stipulated in 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 and the capacitor loss factor ($\tan \delta$) 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 is agreed upon between the purchaser and the manufacturer.

- b) Remove and place test sample in still air at an ambient temperature 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 one day. (For more details about test voltage characteristics, see 16.5.4.)

NOTE 2 The test voltage ($2,25 U_N$) is chosen with respect to the test voltage of the overvoltage test in IEC 60871-1.

- c) Repeat steps a) and b) for four more days. The combined applications of overvoltage $2,25 U_N$ shall be 300 in total.
- d) Within 1 h of completion of step c), proceed to apply $1,4 U_N$ for total 96 h. The test ambient temperature shall be at +15 °C to +35 °C.
- e) Measurement of capacitance and capacitor loss factor ($\tan \delta$) shall be repeated at rated voltage.

For users who prefer to subject 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 manufacturer to increase the number of applications of $2,25 U_N$ overvoltage per day. The number of days should then be reduced accordingly to complete the total of 300 applications.

16.4 Acceptance criteria

The acceptance criteria are that no breakdown shall occur based on the capacitance measurement. The total change of capacitance during the test shall be less than 2 %. If breakdown should occur, two more samples shall be tested and both samples shall have no breakdown. The differences between the two capacitor loss factor ($\tan \delta$) measurements shall be less than $30 \% + 1 \times 10^{-4}$.

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 requirements of Clause A.1 are satisfied.

16.5.3 Test unit design

A test unit is considered to be comparable to the units to be manufactured if the requirements of Clause A.2 are satisfied.

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.

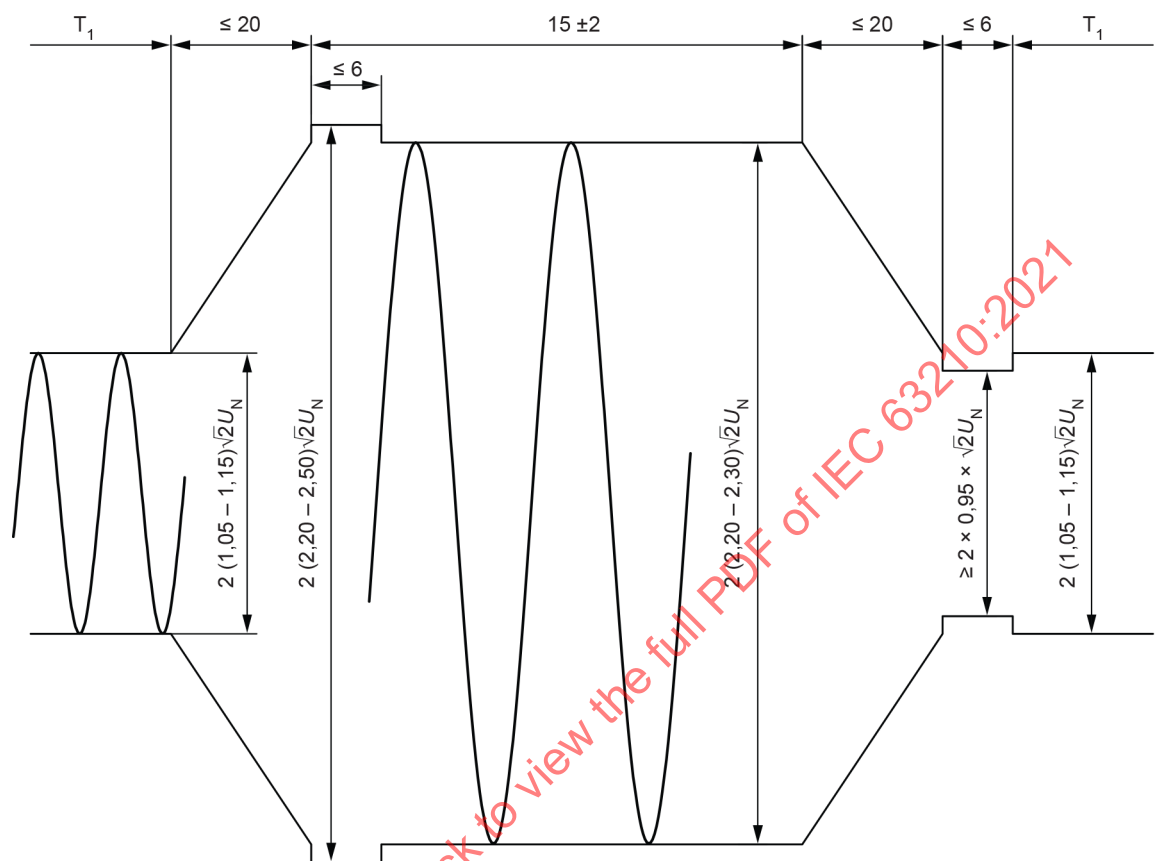


Figure 1 – Time and amplitude limits for an overvoltage period

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 to 2 minutes between two consecutive overvoltage periods. The indicated voltages are peak-to-peak values.

17 Short-circuit discharge test (type test)

The unit shall be charged by means of a DC supply 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 DC test voltage shall be $2,5 U_N (= \sqrt{2} \times 1,77 U_N)$.

The capacitance shall be measured before and after the discharge tests. The differences between the two measurements shall be less than $\pm 2 \%$.

The loss factor ($\tan \delta$) shall be measured before and after the discharge tests. The differences between the two measurements shall be less than $20 \% + 1 \times 10^{-4}$.

NOTE 1 The purpose of the discharge test is to reveal any weak design of the internal connections at element and unit level.

NOTE 2 Due to its possibly high content of energy, such a test is limited to the unit level.

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

18 Self-healing test (type test)

18.1 General

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

18.2 Test setup

The capacitor or element shall be subjected for 10 s to an AC voltage of $2,15 U_N$ or to a DC voltage of $3,04 U_N (= \sqrt{2} \times 2,15 U_N)$. The choice is left to the manufacturer.

If fewer than five breakdowns occur during this time, the voltage shall be increased slowly until five breakdowns have occurred since the beginning of the test or until the voltage has reached $3,5 U_N$ in AC or $4,95 U_N (= \sqrt{2} \times 3,5 U_N)$ in DC.

If fewer than five breakdowns have occurred when the voltage has reached the above stated voltage limit for a time of 10 s, the test shall be finished if at least one clearing has occurred. If no breakdown has occurred, the test may be continued until at least one breakdown is obtained or may be interrupted and repeated on another identical unit or element, at the choice of the manufacturer.

18.3 Acceptance criteria

Before and after the test, the capacitance and $\tan \delta$ shall be measured (see 7.1 and 8.1).

The difference between the two measurements of the capacitance and the loss factor ($\tan \delta$) shall be less than $\pm 0,5 \%$ for the capacitance and less than $\pm 10 \% + 1 \times 10^{-4}$ for the $\tan \delta$.

NOTE 1 Breakdown during the test can be detected by an oscilloscope or by an acoustic or a high-frequency test method. In particular, self-healing breakdown test equipment as shown in Annex B could be used.

NOTE 2 The test carried out on a part of a unit can facilitate the detection of self-healing breakdown.

For polyphase capacitors, the test voltages should be adjusted accordingly. When comparing the results of capacitance and $\tan \delta$ measurement obtained before and after the test, two factors should be taken into account:

- a) the reproducibility of the measurement;
- b) the fact that an internal change in the dielectric may cause a small change in the capacitance without detriment to the capacitor.

19 Destruction test (design test)

19.1 General

The destruction test shall demonstrate the safe behaviour of a capacitor in a fault situation under defined testing conditions. Only capacitors which satisfy the acceptance criteria of this destruction test are allowed to be characterized and marked as internally or externally protected capacitors.

Other methods and fault detectors with other safety mechanisms (see 3.8.6) may be used upon agreement between the manufacturer and the purchaser. Demonstrations of the safe behaviour made with methods different from the test specified in this document will be valid only for the intended purchaser.

The decision to do the destruction test on the original project capacitor may be taken upon agreement between the manufacturer and the purchaser.

NOTE The necessary reactive power for doing such destruction tests can limit the possibility to use the actual capacitors to be manufactured. This is the reason why in general a model capacitor according to Annex A can be used for the destruction test.

For self-healing capacitors with an actively monitored safety device, it is essential to test the triggering of the safety device, e.g. overpressure detector, overpressure disconnecter or overtemperature detector, overtemperature disconnecter.

This test shall be performed with a sample comparable to produced capacitor (see Annex A). It is allowed to use a sample from the overvoltage test (Clause 16) or a new sample capacitor.

When practically using such an actively monitored safety device, the purchaser shall take care of the active monitoring and suitability in the application, as well as the electrically forced permanent switching off of the power supply, in case of the triggering of the safety device. Otherwise, the safety device will not protect in the intended manner. This applies analogously to similar working fault detectors with other safety mechanisms according to 3.8.6.

It is in the responsibility of the manufacturer to provide the purchaser with all information necessary for the correct operation of the actively monitored safety device.

19.2 Test setup for capacitors without actively monitored safety device (internally protected)

This kind of destruction test is applicable for self-healing capacitors using no actively monitored safety device (e.g. capacitors of segmented metallization design or special unsegmented metallization design). During the test the sample shall be stressed using either AC overvoltage or a combination of DC and AC overvoltages and overtemperature-steps with intermittent measurement of the capacitance according to Clause 7, until this value is decreased below 10 % of the original value.

During the voltage application the AC voltage shall be maintained higher than the rated voltage of the capacitor unit and the DC voltage shall be always lower than the RMS value of the applied AC voltage.

Specific values of overvoltages and overtemperature shall be suggested by the manufacturer and agreed by the purchaser.

Operating just one phase of capacitor is allowed while carrying out this test.

NOTE Indicative overvoltages and overtemperature test parameters:

- duration in the range of minutes to hours;
- overtemperature preferably in the range of 60 °C to 90 °C;
- overvoltage in the range of 1,1 to 3 times U_N .

19.3 Acceptance criteria

The test shall be deemed as passed if the sample is not torn (inflated shape is allowed), and if the sample passes the insulation test according to 10.1.

19.4 Test setup for capacitors with actively monitored safety device (externally protected)

The triggering of the safety device shall be tested while it is built in the capacitor, using a situation that is close to the actual service condition. During the test, the sample is operated with an AC voltage of 1,1 times the rated voltage to trigger the safety device. Additionally, the sample should be modified in an appropriate way by using up to three winding elements (one per phase), which were harmed prior to inserting them in the capacitor. In this way, these winding elements will produce increased temperature and will generate gas during operation of the capacitor at 1,1 times the rated voltage, which shall lead to triggering of the safety device, e.g. overpressure detector or overpressure / overtemperature disconnecter.

As another option, it is possible to use up to three heating resistors (one per phase) instead of harmed winding elements to locally provoke thermal overload and generation of gas. In this sense it is allowed to modify the internal discharge resistors in an appropriate way to use them as heating resistors. The model capacitor is operated at 1,1 times the rated voltage and by heating the resistors capacitor elements will fail and generate gas in the same way as by using harmed elements.

The choice of the kind of sample preparation is left to the manufacturer. Using the harmed winding or heating resistor right next to the safety device is not allowed. They shall be placed in such a way that the path of generated gas or temperature rise is as long as possible (worst case).

The manufacturer shall present appropriate documents to provide evidence that the model capacitor used in this destruction test represents by its size, shape and/or form factor the most critical design in respect of triggering the safety device.

If the safety device exhibits another physical effect than pressure or heat generation, a comparable procedure of test during electrical operation is required. In such a case, the specific procedure shall be suggested by the manufacturer and confirmed by the purchaser.

Routine test of sealing quality prior to this test of the capacitor is recommended, if the physical effect of pressure is monitored by the safety device.

An appropriate way of harming windings is to stress the dielectric with DC overvoltages and limited current (50 mA to 200 mA) until the self-healing process is failing and the loss factor is drastically raised by a permanent dielectric breakdown. Other methods are permitted as well.

In case of a three-phase capacitor unit, operating just one phase of capacitor is allowed carrying out this test. In case of a restoring of the harmed element during the test, the change to a new phase of the sample for test or the use of a completely new sample for test is permitted.

19.5 Acceptance criteria

The test shall be deemed as passed if the safety device triggered, the sample is not torn (inflated shape is allowed), and if the sample passes the insulation test according to 10.1.

20 Insulation levels

20.1 Standard insulation values

The insulation levels of the capacitor installation shall be chosen from the standard values prescribed by IEC 60071-1:2019.

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 shall 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, according to IEC 60071-2.

20.2 General requirements

20.2.1 General

The general requirements 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 AC wet and lightning impulse test voltage. It ensures that the insulation withstand at high altitude is achieved despite the equipment being tested at lower altitudes.

Correction factor:

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

where H is the altitude above sea level in metres.

20.2.2 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 20.1.

20.2.3 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 20.1.

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 AC 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 AC voltage of 2,15 times the rated phase voltage.

20.2.4 Capacitors with neutral connected to ground

Bushings and terminal-to-container insulation shall withstand an AC 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 AC voltage of 2,15 times the rated phase voltage.

20.3 Test between terminals and container of capacitor units

Routine and type tests are required in Clauses 10 and 15 to verify the requirements on bushings and terminal-to-container insulation according to 20.2.3 and 20.2.4.

For cases where the AC 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.

20.4 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 ($1 \text{ kV} < U_m \leq 245 \text{ kV}$)

Highest voltage for equipment, U_m kV (RMS value)	Standard rated short-duration power-frequency withstand voltage kV (RMS 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
If values in brackets are insufficient to prove that the required phase-to-phase withstand voltages are met, additional phase-to-phase withstand voltage tests shall be conducted.		
^a These U_m are non-preferred values in IEC 60038 and thus no preferred 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 60071-1:2019, Table 2.

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

Highest voltage for equipment (U_m) kV (RMS 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 U_m above 800 kV is under consideration, and 1 050 kV, 1 100 kV and 1 200 kV are listed as U_m 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 $U_m \times \sqrt{2}/\sqrt{3}$.				
^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 $0,7 \times U_m \times \sqrt{2}/\sqrt{3}$.				
^c This U_m is a non-preferred value in IEC 60038.				

Table 4 is extracted from IEC 60071-1:2019, Table 3.

21 Overloads – Maximum permissible voltage

21.1 Long duration voltages

Capacitor units shall be suitable for operation at voltage levels according to Table 5 (see 29.2 and 29.5.1).

Table 5 – Admissible voltage levels in service

Type	Voltage factor (Overvoltage / U_N)	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 29.2)
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 29.2)
Power frequency	1,30	1 min	
Power frequency plus harmonics	Such that the current does not exceed the value given in Clause 22 (see also 29.6 and 29.7.1).		

The amplitudes of the overvoltages that can be tolerated without significant deterioration of the capacitor depend on their duration, their total number and the capacitor temperature (see 29.2). 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.

21.2 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 (RMS 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 29.6.2.)

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.

22 Overloads – Maximum permissible current

Capacitor units shall be suitable for continuous operation at an RMS 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 29.6).

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 21.1.

23 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 21.

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.

24 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 such as fuses, current limiters, and enclosures 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.

25 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 27.3).

26 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.

27 Markings of the capacitor unit

27.1 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 the 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. This shall be indicated by wording or by the symbol  (IEC 60417-6321:2015-03) 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 RMS value of the power-frequency test voltage, in kilovolts, and the second number giving the peak value of the impulse test voltage, in kilovolts (e.g. 28/75) (see Clause 20). For units not tested according to Clause 15, 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 27.2;
- j) capacitor technology. This shall be indicated by the wording "self-healing", "SH" or by the symbol  (IEC 60417-6157:2012-04);
- k) capacitor protection and type of protection – for example:
 - not protected;
 - internally protected – segmented film;
 - externally protected – overpressure detector;
- l) chemical or trade name of impregnant. This indication shall be stated on the warning plate – see 27.3);
- m) reference to IEC 63210 (plus year of issue).

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

27.2 Standardized connection symbols

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

D	or		= delta	(IEC 60617-S00806:2001-07)
Y	or		= star	(IEC 60617-S00808:2001-07)
YN	or		= star, neutral brought out	(IEC 60617-S00809:2001-07)
III	or		= three sections without internal interconnections	(IEC 60617-S00797:2001-07)

27.3 Warning plate

If the capacitor unit contains material which can pollute the environment (see Clause 25), or can be hazardous in any other way (for example flammability), the unit shall be equipped with a label. The purchaser shall inform the manufacturer about any relevant law(s) of the country of the user relating to labels.

28 Markings of the capacitor bank

28.1 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 RMS 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 (e.g. 185/450);
- e) connection symbol. For standardized connection symbols see 27.2. 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).

28.2 Warning plate

Subclause 27.3 is also valid for the bank.

29 Guide for installation and operation

29.1 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.

29.2 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 21 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.

29.3 Operating temperature

29.3.1 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.

29.3.2 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 29.2;
- 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 29.8.2).

29.3.3 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.

29.4 Special service conditions

In addition to the conditions covered in 29.3, the manufacturer should be advised by the purchaser of any special service conditions such as the following.

- 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 29.9.1).
- 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 20.2.

Thermal derating may also apply; the manufacturer should be consulted for further details.

- 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.

29.5 Overvoltages

29.5.1 General

Clause 21 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 RMS value.

29.5.2 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.

29.5.3 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).

29.5.4 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 cause 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.

29.5.5 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.

29.5.6 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.

29.6 Overload currents

29.6.1 Continuous overcurrents

Capacitors should never be operated with currents exceeding the permissible value specified in Clause 22, 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 exceeds the maximum value specified in Clause 22, whilst the voltage is within the permissible limits specified in 21.1, 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 29.2);
- increasing the value of the capacitance where the capacitor is connected close to rectifiers.

29.6.2 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 29.7.2).

The peak value of the overcurrents due to switching operations should be limited to a maximum of $100 I_N$ (RMS value) (see 29.7.1 and Annex C).

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 24).

29.7 Switching and protective devices

29.7.1 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 22) which could be obtained with a sinusoidal voltage of RMS 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 29.6.2 for the purpose of protection against overcurrents, should be taken.

Fuses, in particular, should be chosen with adequate thermal capacity (see Annex C).

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 shall 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.

29.7.2 Restrike-free circuit-breakers

Circuit-breakers suitable for capacitor switching should be used. For example, the device should be such that restriking during breaking operations, which may result in excessive over-voltages, cannot occur (see also 29.5.2).

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.

29.7.3 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 22. Fuses generally do not provide suitable overcurrent protection (see Annex C).

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 21.

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.

29.8 Choice of insulation levels

29.8.1 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 20.

The insulation requirements according to 20.2 are considered sufficient for the switching surges if restrike-free circuit-breakers are used.

Regarding choice of creepage distances, see 29.2.

29.8.2 Altitudes exceeding 1 000 m

Standard insulation levels might be too low for use at altitudes higher than 1 000 m (see 4.1). The correction factor to apply is given in 20.2.

29.8.3 Influence of the capacitor itself

The voltage withstand values in Table 3 and Table 4 are in accordance with the 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, Table 3 and Table 4 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 20 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 AC/LIWL ^a	20.2.2
A2	Full insulation AC/LIWL ^a	20.2.3, first paragraph
A3	Full insulation AC/LIWL ^a	20.2.3, second paragraph
B1	Only AC, 2,15 per unit	20.2.3, fourth paragraph 20.2.4, second paragraph
B2	Only AC, 2,5 per unit	20.2.3, third paragraph 20.2.4, first 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 AC withstand value is specified for all types of insulation in parallel to the dielectric. This should never be lower than 2,15 times the 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 AC 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.

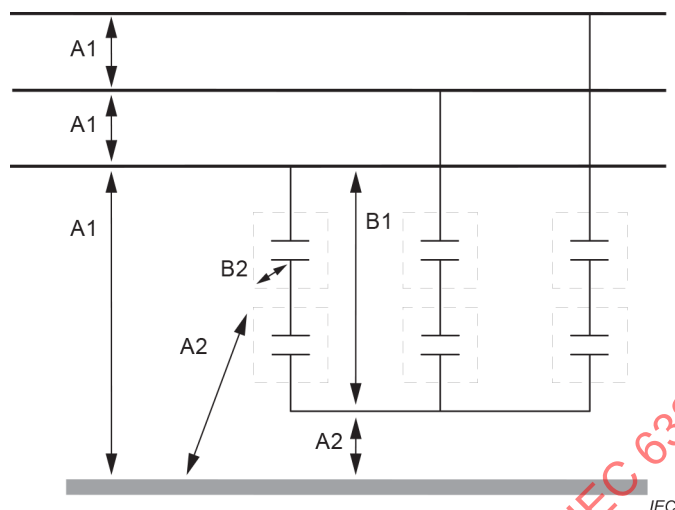


Figure 2 – Bank isolated from ground

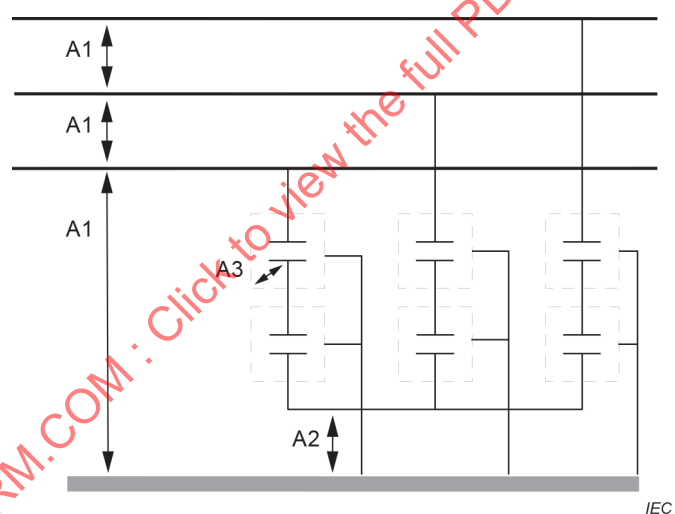


**Figure 3 – Bank isolated from ground
(containers connected to ground)**

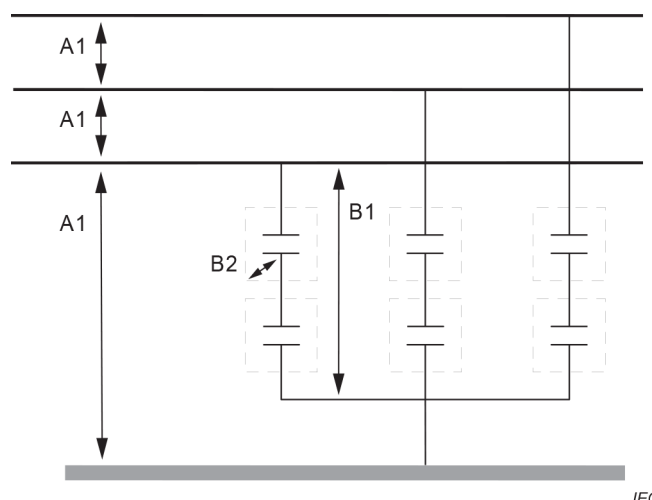


Figure 4 – Bank connected to ground

29.8.4 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.

29.9 Choice of creepage distances and air clearance

29.9.1 Creepage distance

General guidelines for selection of creepage distance on insulators are given in the IEC TS 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 millimetres per kilovolt (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 IEC TS 60815 series. The purchaser is usually quite familiar and experienced with these conditions and should specify which requirement to apply.

If not otherwise specified, values should be selected from Table 7, which is based on data given in IEC TS 60815-2 (ceramic and glass insulators) and IEC TS 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

29.9.2 Air clearances

Guidelines for selection of air clearance distance are found in Annex A of IEC 60071-2:2018. The requirements are based on lightning or switching impulse voltages and are applicable when full insulation according to Clause 20 and 29.8 is required. Minimum clearances have been determined for different electrode configurations. Generally, unless justified by the manufacturer, 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 60071-2:1996, should be used for phase-to-phase and phase-to-earth insulation for which lightning impulse voltage withstand is defined.

For selection of air clearance across insulation paths where only AC voltage withstand requirements apply (see Clause 20 and 29.8), the recommendations in Annex G of IEC 60071-2:1996 should be used. Minimum air clearance versus AC-withstand should be according to Figure 5.

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63210:2021

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.		

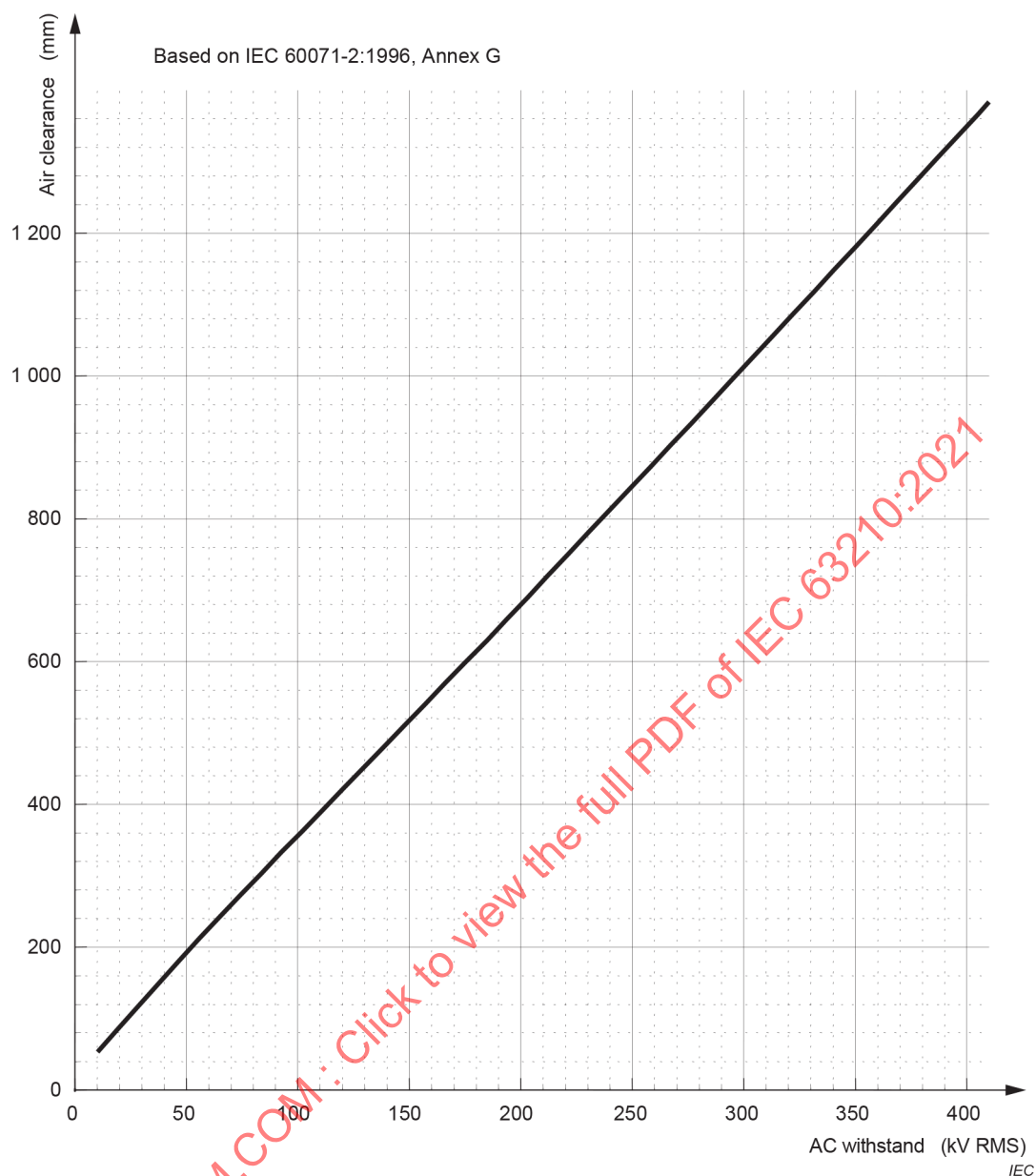


Figure 5 – Air clearance versus AC withstand

29.10 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)

Requirements regarding comparable element design and test unit design

A.1 Test element design criteria

A tested element design is considered to be comparable with respect to the elements in the units to be manufactured if the following requirements are fulfilled:

- a) the tested element shall be of the same fundamental construction (dry or impregnated self-healing dielectric system), shall have the same shape (cylindrical or flat), the same or a lower thickness of the dielectric film and shall be subjected to the same thermal processing;
- b) the tested elements shall have the same or lower number of layers of solid materials in the dielectric and shall be impregnated with the same fluid;
- c) solid and liquid dielectric materials shall satisfy the same manufacturer's specifications;
- d) if a impregnated dielectric system is used, the tested element shall be impregnated with the same liquid;
- e) both the rated element voltage and the electrical stress level of the tested element shall be equal or higher;
- f) for the overvoltage cycling test, both the rated voltage and the electrical stress shall be equal or higher;
- g) for the ageing test, the dielectric shall be within 70 % to 100 % of the thickness and shall be rated at equal or higher electrical stress;
- h) when a dielectric contains both film and paper, the stress value to be used in this comparison shall be the stress across each of the solid materials, calculated using the thickness of only the solid materials and their respective permittivity;
- i) the metallization design shall be of the same type (segmented, unsegmented) and of the same principal technical characteristic;
- j) element connections shall be of the same type, for example tabs, soldering, crimping, etc.

A.2 Test unit design

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

- a) elements meeting the requirements of Clause A.1 shall be similarly assembled and connected, have equal or thinner inter-element insulation, be equally processed within the manufacturing tolerance, etc., as compared with the units to be manufactured;
- b) at least four of these elements shall be connected to give not less than 100 kvar output at rated voltage (50/60 Hz). All connected elements shall be placed adjacent to each other. For the overvoltage cycling test unit, at least one inter-element insulation shall be assembled in such a way that, during the test, it is exposed to the voltage difference occurring between two series-connected elements;

The connected elements may be series and parallel-connected in any way to match the test equipment. For the ageing test unit, all elements may be connected in parallel.
- c) the connections outside the tested elements may be enlarged in order to handle the increased currents due, for example, to a number of elements in parallel;
- d) the insulation to the container shall be of the same thickness or thicker;

NOTE 1 This requirement is intended to ensure that the drying and impregnation conditions are equal to those of the units to be produced. The electrical withstand requirements of the insulation to container are taken care of by the tests according to Clauses 10, 15 and 16.

- e) a container with the manufacturer's standard design shall be used whose 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. To ensure the same thermal effects, the specific power loss per total surface of the container shall be the same as or higher than to the units to be manufactured;

NOTE 2 These ranges in container dimensions are necessary to allow for the variation in element sizes.

NOTE 3 The height of a container is measured as the normal vector between the base area and the bushing area.

The container material shall be of equal type (metal, polymer, etc.), but the painting may be different.

The bushing design and number of bushings may be adjusted in order to match the test voltage and/or test currents;

- f) the drying, casting and impregnation process shall be identical to the normal production process;
- g) the insulation material and the filling material shall be exactly the same and the filling process shall be identical to the normal production process.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63210:2021

Annex B (informative)

Self-healing breakdown test equipment that may be used

Figure B.1 shows an example of self-healing detection equipment that can be used during the self-healing test (Clause 18).

Other methods are acceptable.

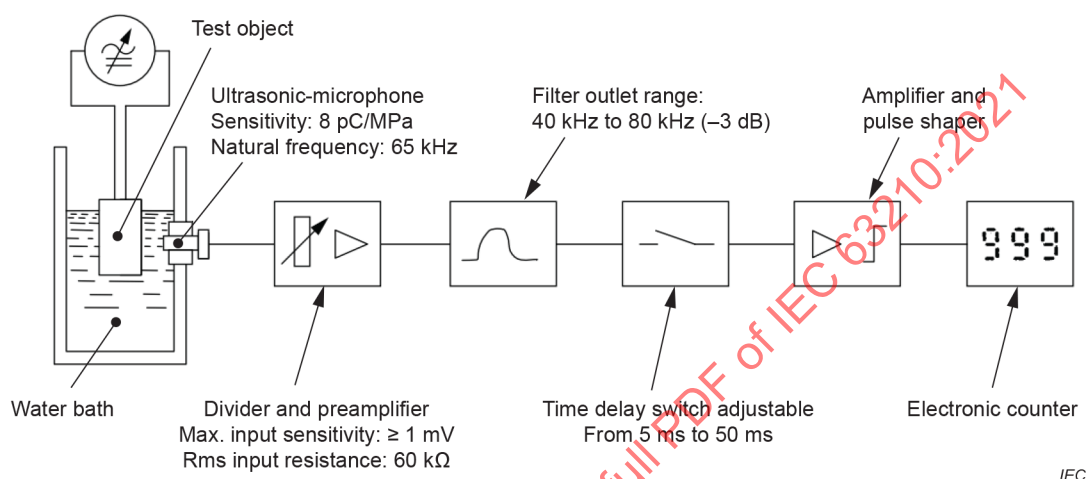


Figure B.1 – Example of self-healing detection equipment

Annex C

(normative)

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

C.1 General

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

The object of Annex C is

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

NOTE Specific attention needs to be paid to the safety information given in C.4.1 and C.4.2 for the fault characteristics of self-healing elements.

C.2 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 (RMS) current (see 29.6.2).

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.3 Tests on fuses

High-voltage fuses according IEC 60549 for the external protection of high-voltage shunt capacitors are not sufficient for the protection of self-healing capacitors. They are only suitable for the line protection in such self-healing high-voltage shunt capacitor installations.

For that reason there are no continuing special tests on fuses defined in this document.

C.4 Guide for coordination of fuse protection

C.4.1 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, may not 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.

For self-healing elements, a substantial increase of current under the circumstance of an element failure (dielectric fault) is not necessarily the case. In many cases only the loss factor of the element will change, but without a substantial change in the total impedance. Hence an external current fuse alone is not sufficient as a safety device for self-healing capacitors.

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 21, nor exist for longer than the corresponding duration given in Clause 21. 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 23, Note 2).

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.4.2 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.

Due to the specific behaviour of the self-healing elements in case of a dielectric fault (in many cases only the loss factor of the element will change but without a substantial change in the total impedance) the sensitivity of the unit (group) fuse or the relay protection of the bank (for example, overcurrent or unbalance protection) may be insufficient for detecting a fault of a single element. A general use of protected capacitors or other/additional safety measures shall be taken into account.

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.5 Choice of fuses

C.5.1 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.5.2 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.5.1).

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

C.5.3 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 passage to zero of the waveshape at working frequency.

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.5.1).

These fuses should be used when either the working frequency overcurrent 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.6 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 capacitances 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:

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

where

ω is the pulsation in radians per second;

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 (RMS) 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

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

where

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

R is the discharge resistance, expressed in megaohms;

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 23 for limits of t and U_R).

D.6 Discharge time to 10 % of rated voltage

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

where

t is the time for discharge from $\sqrt{2} U_N$ 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 23 are strictly observed, then:

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63210:2021

Bibliography

IEC 60071-2:2018, *Insulation co-ordination – Part 2: Application guidelines*

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

IEC 60831-1, *Shunt power capacitors of the self-healing type for a.c. systems having a rated voltage up to and including 1 000 V – Part 1: General – Performance, testing and rating – Safety requirements – Guide for installation and operation*

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

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

IEC 60038, *IEC standard voltages*

IEC 60099 (all parts), *Surge arresters*

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63210:2021

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63210:2021

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	62
1 Domaine d'application	64
2 Références normatives	65
3 Termes et définitions	65
4 Conditions de service	69
4.1 Conditions normales de service	69
4.2 Conditions inhabituelles de service	70
5 Exigences de qualité et essais	71
5.1 Généralités	71
5.2 Conditions d'essais	71
6 Classification des essais	71
6.1 Essais individuels de série	71
6.2 Essais de type et essais de conception	71
6.3 Essais de réception	72
7 Mesurage de la capacité	73
7.1 Procédure de mesure	73
7.2 Tolérances sur la capacité	73
8 Mesurage de la tangente de l'angle de perte ($\tan \delta$) du condensateur	73
8.1 Procédure de mesure	73
8.2 Exigences de perte	74
9 Essais de tension entre les bornes	74
9.1 Généralités pour l'essai individuel de série	74
9.2 Essai en courant alternatif	74
9.3 Essai en courant continu	74
9.4 Essai de type	74
10 Tensions d'essai entre les bornes et la cuve	75
10.1 Essai individuel de série	75
10.2 Essai de type	75
11 Essai du dispositif interne de décharge	76
12 Essai d'étanchéité	76
13 Essai de stabilité thermique (essai de type)	76
13.1 Généralités	76
13.2 Procédure de mesure	77
14 Mesurage de la tangente de l'angle de perte ($\tan \delta$) du condensateur à température élevée (essai de type)	78
14.1 Procédure de mesure	78
14.2 Exigences	78
15 Essai de tension de choc de foudre entre les bornes et la cuve (essai de type)	78
16 Essai de surtension (essai de conception)	79
16.1 Généralités	79
16.2 Conditionnement de l'échantillon avant l'essai	79
16.3 Mode opératoire d'essai	79
16.4 Critères d'acceptation	80
16.5 Validité de l'essai	80
16.5.1 Généralités	80

16.5.2	Conception d'élément	80
16.5.3	Conception d'unité d'essai	80
16.5.4	Forme d'onde de surtension.....	80
17	Essai de décharge en court-circuit (essai de type).....	81
18	Essai d'autorégénération (essai de type)	82
18.1	Généralités	82
18.2	Montage d'essai.....	82
18.3	Critères d'acceptation	82
19	Essai de destruction (essai de conception)	82
19.1	Généralités	82
19.2	Montage d'essai des condensateurs sans dispositif de sécurité activement surveillé (protégé en interne)	83
19.3	Critères d'acceptation	84
19.4	Montage d'essai des condensateurs avec dispositif de sécurité activement surveillé (protégé en externe)	84
19.5	Critères d'acceptation	85
20	Niveaux d'isolement.....	85
20.1	Valeurs d'isolement normalisées	85
20.2	Exigences générales.....	85
20.2.1	Généralités	85
20.2.2	Composants isolants adjacents et matériels	86
20.2.3	Condensateurs isolés de la terre	86
20.2.4	Condensateurs avec neutre connecté à la terre	86
20.3	Essai entre bornes et cuve des condensateurs unitaires	86
20.4	Condensateurs sur des réseaux monophasés	87
21	Surcharges – Tension maximale admissible	90
21.1	Tensions de longue durée.....	90
21.2	Surtensions de manœuvre	90
22	Surcharges – Courant maximal admissible	91
23	Exigences de sécurité pour des dispositifs de décharge	91
24	Exigences de sécurité pour les connexions de cuve	91
25	Exigences de sécurité pour la protection de l'environnement	92
26	Autres exigences de sécurité	92
27	Marquages du condensateur unitaire	92
27.1	Plaque signalétique	92
27.2	Symboles de connexion normalisés	93
27.3	Plaque de mise en garde	93
28	Marquages de la batterie de condensateurs	93
28.1	Notice d'instructions ou plaque signalétique	93
28.2	Plaque de mise en garde	93
29	Guide d'installation et d'exploitation.....	94
29.1	Généralités	94
29.2	Choix de la tension assignée	94
29.3	Température de fonctionnement.....	95
29.3.1	Généralités	95
29.3.2	Installation	95
29.3.3	Température élevée de l'air ambiant	95
29.4	Conditions spéciales de service	96

29.5	Surtension	96
29.5.1	Généralités	96
29.5.2	Réamorçage des commutateurs	96
29.5.3	Foudre	97
29.5.4	Autoexcitation des moteurs	97
29.5.5	Démarrage en couplage étoile-triangle	97
29.5.6	Choix du condensateur unitaire	97
29.6	Courants de surcharge	97
29.6.1	Surintensités permanentes	97
29.6.2	Surintensités transitoires	98
29.7	Appareils de connexion et dispositifs de protection	98
29.7.1	Exigences de tenue	98
29.7.2	Disjoncteurs sans réamorçage	99
29.7.3	Réglage des relais	99
29.8	Choix des niveaux d'isolement	99
29.8.1	Généralités	99
29.8.2	Altitudes dépassant 1 000 m	100
29.8.3	Influence propre du condensateur	100
29.8.4	Câbles de garde	102
29.9	Choix des lignes de fuite et distances d'isolement dans l'air	102
29.9.1	Ligne de fuite	102
29.9.2	Distances d'isolement dans l'air	102
29.10	Condensateurs raccordés à des réseaux avec télécommande en audiofréquence	105
Annexe A (normative) Exigences relatives à la conception d'éléments et de modèles d'unité d'essai comparables		106
A.1	Critères de conception d'éléments d'essai	106
A.2	Conception d'unité d'essai	106
Annexe B (informative) Matériel d'essai de claquage autorégénérateur qui peut être utilisé		108
Annexe C (normative) Exigences d'essai et guide d'application pour fusibles externes et unités à protéger par fusible externe		109
C.1	Généralités	109
C.2	Exigences de performances	109
C.3	Essais sur les fusibles	109
C.4	Guide de coordination de la protection par fusibles	109
C.4.1	Généralités	109
C.4.2	Séquence de protection	110
C.5	Choix des fusibles	111
C.5.1	Généralités	111
C.5.2	Fusibles autres qu'à limitation de courant	111
C.5.3	Fusibles à limitation de courant	111
C.6	Informations nécessaires à l'utilisateur de fusibles	111
Annexe D (informative) Formules pour les condensateurs et les installations		112
D.1	Calcul de la puissance des condensateurs triphasés à partir de trois mesurages de capacités monophasées	112
D.2	Fréquence de résonance	112
D.3	Hausse de tension	112
D.4	Courant d'appel transitoire	113

D.4.1	Mise sous tension d'une seule batterie de condensateurs	113
D.4.2	Mise en parallèle d'une batterie avec une ou plusieurs batteries sous tension	113
D.5	Résistance de décharge des unités monophasées	113
D.6	Durée de décharge à 10 % de la tension assignée	114
Bibliographie.....		115
Figure 1 –Limites de temps et d'amplitude d'une période de surtension		81
Figure 2 – Batterie isolée de la terre		101
Figure 3 – Batterie isolée de la terre (cuves mises à la terre).....		101
Figure 4 – Batterie mise à la terre		101
Figure 5 – Distance d'isolement dans l'air en fonction de la tenue en courant alternatif		105
Figure B.1 – Exemple de matériel de détection autorégénérateur		108
Tableau 1 – Symboles littéraux pour la limite supérieure de la plage de températures		70
Tableau 2 – Température de l'air ambiant pour l'essai de stabilité thermique		77
Tableau 3 – Niveaux d'isolement normalisés pour la plage I ($1 \text{ kV} < U_m \leq 245 \text{ kV}$)		88
Tableau 4 – Niveaux d'isolement normalisés pour la plage II ($U_m > 245 \text{ kV}$)		89
Tableau 5 – Niveaux de tension admissibles en service.....		90
Tableau 6 – Exigences d'isolement.....		100
Tableau 7 – Lignes de fuite spécifiques		102
Tableau 8 – Corrélation entre les tensions de tenue au choc de foudre normalisées et les distances d'isolement dans l'air minimales (Tableau A.1 de l'IEC 60071-2:1996).....		104

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

CONDENSATEURS-SHUNT DE PUISSANCE AUTORÉGÉNÉRATEURS DESTINÉS AUX RÉSEAUX À COURANT ALTERNATIF DE TENSION ASSIGNÉE SUPÉRIEURE À 1 000 V

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Électrotechnique 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. À 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 63210 a été établie par le comité d'études 33 de l'IEC: Condensateurs de puissance et leurs applications.

Le texte de cette Norme internationale est issu des documents suivants:

Projet	Rapport de vote
33/651/FDIS	33/653/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 internationale.

La version française de cette norme n'a pas été soumise au vote.

L'anglais est la langue utilisée pour l'élaboration de cette Norme internationale.

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2. Il a été développé selon les Directives ISO/IEC, Partie 1 et les Directives ISO/IEC, Supplément IEC, disponibles à l'adresse www.iec.ch/members_experts/refdocs. Les principaux types de documents développés par l'IEC sont décrits plus en détail à l'adresse www.iec.ch/standardsdev/publications.

Le comité a décidé que le contenu de ce document 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 au document recherché. À cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63210:2021

CONDENSATEURS-SHUNT DE PUISSANCE AUTORÉGÉNÉRATEURS DESTINÉS AUX RÉSEAUX À COURANT ALTERNATIF DE TENSION ASSIGNÉE SUPÉRIEURE À 1 000 V

1 Domaine d'application

Le présent document s'applique tant aux condensateurs unitaires autorégénérateurs qu'aux batteries de condensateurs autorégénérateurs 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 fréquences fondamentales comprises entre 15 Hz et 60 Hz.

Les condensateurs suivants sont exclus du présent document:

- condensateurs-shunt de puissance autorégénérateurs destinés aux réseaux à courant alternatif de tension assignée inférieure ou égale à 1 000 V (IEC 60831-1, IEC 60831-2);
- condensateurs-shunt de puissance non-autorégénérateurs destinés aux réseaux à courant alternatif de tension assignée inférieure ou égale à 1 000 V (IEC 60931-1, IEC 60931-2 et IEC 60931-3);
- condensateurs-shunt non-autorégénérateurs destinés aux réseaux à courant alternatif de tension assignée supérieure à 1 000 V (IEC 60871-1, IEC 60871-2, IEC 60871-3 et IEC 60871-4);
- condensateurs pour les installations de génération de chaleur par induction fonctionnant à des fréquences comprises entre 40 Hz et 24 000 Hz (IEC 60110-1 et IEC 60110-2);
- condensateurs série (IEC 60143-1, IEC 60143-2, IEC 60143-3 et IEC 60143-4);
- condensateurs des moteurs à courant alternatif (IEC 60252-1 et IEC 60252-2);
- condensateurs de couplage et diviseurs capacitifs (IEC 60358-1, IEC 60358-2, IEC 60358-3, IEC 60358-4);
- condensateurs pour circuits électroniques de puissance (IEC 61071);
- petits condensateurs à courant alternatif destinés à être utilisés dans des lampes à fluorescence et des lampes à décharge (IEC 61048 et IEC 61049);
- condensateurs pour la suppression des interférences radio;
- condensateurs destinés à être utilisés dans différents types de matériels électriques et étant donc considérés comme des composants;
- condensateurs destinés à être utilisés avec une tension continue superposée à une tension alternative.

Les exigences relatives aux accessoires tels que les isolateurs, les commutateurs, les transformateurs de mesure et les fusibles externes sont spécifiées dans les normes IEC correspondantes et ne relèvent pas du domaine d'application du présent document.

Le présent document a pour objet:

- a) de formuler des règles uniformes en matière de performances, d'essais et de caractéristiques assignées;
- b) de formuler des règles de sécurité spécifiques;
- c) de fournir un guide d'installation et d'exploitation.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

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

IEC 60071-1:2019, *Coordination de l'isolement – Partie 1: Définitions, principes et règles*

IEC 60071-2:1996, *Coordination de l'isolement – Partie 2: Guide d'application*¹

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

3 Termes et définitions

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

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <http://www.iso.org/obp>

3.1

élément de condensateur

élément

dispositif constitué essentiellement par deux électrodes séparées par un diélectrique

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

3.2

condensateur unitaire

ensemble d'un ou 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

¹ Supprimée. L'IEC 60071-2:1996 a été annulée et remplacée par l'IEC 60071-2:2018.

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

[SOURCE: IEC 60050-151:2001, 151-13-28, modifiée – Note 1 à l'article ajoutée.]

3.5

condensateur autorégénérateur

condensateur diélectrique métallisé autorégénérateur

condensateur (composé d'éléments dont au moins une électrode est constituée d'un dépôt métallique sur le diélectrique) dont les propriétés électriques sont rapidement et pratiquement rétablies, après une perforation locale du diélectrique

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-03-12, modifiée – ajout de "(diélectrique métallisé)" et de "(composé d'éléments dont au moins une électrode est constituée d'un dépôt métallique sur le diélectrique)"]

3.6

installation de condensateurs

une ou plusieurs batteries de condensateurs et leurs accessoires

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

3.7

dispositif de décharge d'un condensateur

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

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-03-15, modifiée – Dans la définition, "destiné à réduire" a été remplacé par "capable de réduire" et "à une valeur donnée" a été remplacé par "pratiquement jusqu'à zéro".]

3.8 dispositif de sécurité (d'un condensateur unitaire)

3.8.1

déconnecteur à surpression

dispositif de déconnexion destiné à déconnecter le condensateur unitaire en cas d'augmentation anormale de la pression à l'intérieur de l'enveloppe

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-03-17, modifiée – "d'un condensateur" a été supprimé du terme. Dans la définition, "interrompre le passage du courant en cas" a été remplacé par "déconnecter le condensateur unitaire en cas".]

3.8.2

détecteur de surpression

dispositif conçu pour détecter une augmentation anormale de la pression interne d'un condensateur unitaire, généralement utilisé pour effectuer une commutation électrique et qui interrompt indirectement le passage du courant du condensateur unitaire

3.8.3

déconnecteur thermique

dispositif de déconnexion conçu pour déconnecter le condensateur unitaire en cas d'augmentation anormale de la température interne

3.8.4

structure de métallisation segmentée

structure de la couche métallique située au-dessus du diélectrique formée de façon à permettre d'en isoler une petite partie en cas de court-circuit ou de claquage local, pour rétablir toute la fonctionnalité de l'unité avec une perte de capacité négligeable

3.8.5**structure de métallisation spéciale non segmentée**

structure de la couche métallique située au-dessus du diélectrique conformée de sorte que les caractéristiques d'autorégénération de sûreté qui agissent à une tension allant jusqu'à U_N garantissent toute la fonctionnalité de l'unité avec une perte de capacité négligeable

3.8.6**détecteur de défaut**

dispositif avec d'autres mécanismes de sécurité (mesures de conception, capteurs ou dispositions) que ceux définis de 3.8.1 à 3.8.5, mais qui est utilisé pour détecter un état technique anormal du condensateur unitaire afin d'éviter d'éventuels risques pour la sécurité par une interruption directe du passage du courant dans le condensateur unitaire

3.9 protection (d'un condensateur unitaire)**3.9.1****condensateur unitaire protégé**

condensateur unitaire qui satisfait aux exigences de l'essai de destruction spécifié à l'Article 19

Note 1 à l'article: Les condensateurs protégés seuls ne sont pas suffisants pour empêcher tous les dangers possibles en cas de dysfonctionnement.

3.9.2**condensateur unitaire non protégé**

condensateur unitaire qui ne satisfait pas aux exigences de l'essai de destruction spécifié à l'Article 19

3.10**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, une borne destinée à être connectée au conducteur de neutre n'est pas considérée comme une borne de ligne.

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-03-01, modifiée – Note 1 à l'article ajoutée.]

3.11**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 – Le symbole " C_N " a été ajouté.]

3.12**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 – Le mot "puissance" a été ajouté au terme, et le symbole " Q_N " a été ajouté.]

3.13**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 des condensateurs composés d'un ou de plusieurs circuits séparés (unités monophasées destinées à être utilisées dans une connexion polyphasée ou unités polyphasées avec circuits séparés, par exemple), U_N fait référence à la tension assignée de chaque circuit.

Pour les condensateurs polyphasés avec connexions électriques internes entre les phases et pour les batteries de condensateurs polyphasés, U_N fait référence à la tension entre phases.

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-01-15, modifiée – Le symbole " U_N " et la Note 1 à l'article ont été ajoutés.]

3.14

fréquence assignée d'un condensateur

f_N

fréquence pour laquelle le condensateur a été conçu

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-01-14, modifiée – Le symbole " f_N " a été ajouté.]

3.15

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 – Le symbole " I_N " a été ajouté.]

3.16

pertes totales d'un condensateur

puissance active dissipée dans le condensateur

Note 1 à l'article: Tous les composants générant des pertes sont inclus, par exemple:

- pour une unité, les pertes provenant du diélectrique, des fusibles internes, de la résistance de décharge interne, des connexions, etc;
- pour une batterie, les pertes des unités, des fusibles externes, des barres omnibus, des bobines d'inductance de décharge et des résistances de décharge, etc.

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

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-04-10, modifiée – "total" a été ajouté au terme. Note 1 à l'article et Note 2 à l'article ont été ajoutées.]

3.17

facteur de perte d'un condensateur

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, modifiée – Le terme "facteur de perte d'un condensateur" a été ajouté.]

3.18

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]

3.19**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]

3.20**température de l'air ambiant**

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

3.21**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 à partir de sa base en tenant compte de l'orientation de montage.

3.22**état stable**

équilibre thermique atteint par le condensateur fonctionnant dans des conditions constantes de puissance et de température de l'air ambiant

3.23**tension résiduelle**

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

3.24**tension d'essai**

U_t

tension à appliquer pour l'essai prévu, qui est identifiée comme étant alternative ou continue dans la description correspondante de l'essai

3.25**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

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

Le présent document donne les exigences relatives aux condensateurs destinés à être 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.

b) Altitude

Elle ne doit pas dépasser 1 000 m.

En cas d'installation à plus de 1 000 m d'altitude, des facteurs de correction de l'isolement (distance d'isolement) et de réduction de puissance (stabilité thermique) doivent être pris en considération.

c) Catégories de température de l'air ambiant

Les condensateurs sont classés en catégories de température, chaque catégorie étant spécifiée par un numéro suivi d'une lettre. Le numéro représente la température de l'air ambiant la plus basse à laquelle le condensateur peut fonctionner.

Les lettres représentent les limites supérieures des plages de variations de températures, dont les valeurs maximales sont spécifiées dans le Tableau 1. Les catégories de température couvrent la plage de températures comprise entre -50 °C et $+55\text{ °C}$.

Il convient de choisir la température de l'air ambiant la plus basse à laquelle le condensateur peut fonctionner parmi cinq valeurs préférentielles: $+5\text{ °C}$, -5 °C , -25 °C , -40 °C , -50 °C .

Pour une utilisation en intérieur, une limite inférieure de -5 °C est en principe applicable.

Le Tableau 1 est fondé sur des conditions de service dans lesquelles le condensateur n'a aucune influence sur la température de l'air ambiant (des installations extérieures, par exemple).

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

Symbole	Température ambiante °C		
	Maximum	Moyenne la plus élevée sur une période de	
		24 h	1 an
A	40	30	20
B	45	35	25
C	50	40	30
D	55	45	35

NOTE 1 Les valeurs de température selon le Tableau 1 peuvent être consultées dans les tables de température météorologiques couvrant le site d'installation.

NOTE 2 Des valeurs de température supérieures à celles indiquées dans le Tableau 1 peuvent être prises en considération dans des applications spéciales dans le cadre d'un accord entre le fabricant et l'acheteur. Dans ce cas, la catégorie de température est indiquée en combinant les valeurs de température minimale et maximale ($-40/60$, par exemple).

Si le condensateur a une influence sur la température de l'air, la ventilation et/ou le choix du condensateur doit être de nature à respecter les limites du Tableau 1. Dans ce type d'installation, la température de l'air de refroidissement ne doit pas dépasser de plus de 5 °C les limites de température du Tableau 1.

Une quelconque combinaison valeur minimale/valeur maximale peut être choisie pour la catégorie de température normalisée d'un condensateur ($-40/A$ ou $-5/C$, par exemple).

Les catégories de températures préférentielles sont les suivantes:

$-40/A$, $-25/A$, $-5/A$ et $-5/C$.

4.2 Conditions inhabituelles de service

Sauf s'il en a été convenu autrement entre le fabricant et l'acheteur, le présent document ne s'applique pas aux condensateurs, dont les conditions de service sont généralement incompatibles avec les exigences du présent document.

5 Exigences de qualité et essais

5.1 Généralités

L'Article 5 à l'Article 19 donnent les exigences d'essais des condensateurs unitaires. La prise en charge des isolateurs, des commutateurs, des transformateurs de mesure, des fusibles externes, des dispositifs de protection externes, etc. doit être conforme aux normes IEC correspondantes.

NOTE L'année de publication (numéro de version) des normes citées en référence est indiquée dans les rapports d'essai.

5.2 Conditions d'essais

Sauf spécification contraire pour un essai ou un mesurage particulier, la température du diélectrique du condensateur doit être comprise entre +5 °C et +35 °C. Si une correction doit être appliquée, la température de référence à utiliser est de +20 °C, sauf s'il en a été convenu autrement entre le fabricant et l'acheteur.

Il peut être pris pour hypothèse que la température du diélectrique du condensateur unitaire est égale à la température ambiante, à condition que le condensateur ait été laissé dans un état hors tension à une température ambiante constante pendant une durée adéquate (>3 fois la constante de temps thermique de l'unité).

Les essais et mesurages en courant alternatif doivent être réalisés à une fréquence de 50 Hz ou 60 Hz quelle que soit la fréquence assignée du condensateur, sauf spécification contraire.

Les condensateurs dont la fréquence assignée est inférieure à 50 Hz doivent être soumis à l'essai et mesurés à 50 Hz ou 60 Hz, sauf spécification contraire et s'il en a été convenu autrement entre le fabricant et l'acheteur.

6 Classification des essais

6.1 Essais individuels de série

Les essais suivants sont des essais individuels de série. Pour de plus amples informations, il convient de faire référence aux articles ou paragraphes correspondants:

- a) mesurage de la capacité et calcul de sortie (voir l'Article 7);
- b) mesurage de la tangente de l'angle de perte ($\tan \delta$) du condensateur (voir l'Article 8);
- c) essai de tension entre les bornes (voir l'Article 9);
- d) essai de tension entre les bornes et la cuve (voir l'Article 10);
- e) essai du dispositif interne de décharge (voir l'Article 11);
- f) essai d'étanchéité (voir l'Article 12).

Les essais individuels de série doivent avoir été réalisés par le fabricant sur chaque condensateur avant la livraison. Si l'acheteur le demande, le fabricant doit lui remettre un certificat détaillant les résultats de ces essais.

En général, la séquence d'essais indiquée n'est pas obligatoire, sauf pour 7.1 (mesurage de la capacité finale).

6.2 Essais de type et essais de conception

Les essais de type sont réalisés pour vérifier que, en matière de conception, de taille, de matériaux et de fabrication, les condensateurs unitaires sont conformes aux caractéristiques et satisfont aux exigences opérationnelles spécifiées dans le présent document. Les essais de

type visent principalement à vérifier la conception. Il ne s'agit pas d'outils permettant de révéler la variabilité de la qualité dans une production en série.

Les essais de conception sont des essais d'approbation de la conception générale. Ils ne sont pas destinés à être réalisés sur chaque unité individuelle d'une série de condensateurs de même conception. Il est suffisant de soumettre à l'essai une unité qui représente les contraintes électriques et thermiques les plus élevées et la densité de puissance maximale par volume et par surface dans cette série de condensateurs. Il revient au fabricant d'apporter la preuve de la conception correcte de ce type d'unité d'essai.

Les essais de conception doivent être réalisés par le fabricant. Les résultats des essais de conception sont valables pour tous les condensateurs de même conception. Ils peuvent être généralement utilisés pour les besoins de référence.

Les essais suivants sont des essais de type ou des essais de conception. Pour de plus amples informations, il convient de faire référence aux articles ou paragraphes correspondants:

- a) essai de stabilité thermique (voir l'Article 13 – essai de type);
- b) mesurage de la tangente de l'angle de perte ($\tan \delta$) du condensateur à température élevée (voir l'Article 14 – essai de type);
- c) essai de tension entre les bornes (voir 9.4 – essai de type);
- d) essai de tension entre les bornes et la cuve (voir 10.2 – essai de type);
- e) essai de tension de choc de foudre entre les bornes et la cuve (voir l'Article 15 – essai de type);
- f) essai de décharge de court-circuit (voir l'Article 17 – essai de type);
- g) essai de sursension (voir l'Article 16 – essai de conception);
- h) essai d'autorégénération (voir l'Article 18 – essai de type);
- i) essai de destruction (voir l'Article 19 – essai de conception).

Sauf spécification contraire, chaque échantillon de condensateur auquel il est prévu d'appliquer l'essai de type doit en premier lieu avoir convenablement résisté à l'application de tous les essais individuels de série.

Les essais de type doivent être réalisés sur des unités de conception identique à celle du condensateur à livrer ou sur des unités dont la conception et le traitement ne diffèrent pas de ceux du condensateur d'une quelconque manière pouvant avoir une influence sur les propriétés à vérifier dans le cadre de l'essai de type.

Il n'est pas essentiel de réaliser tous les essais de type sur le même condensateur unitaire. Ils peuvent l'être sur différentes unités qui présentent les mêmes caractéristiques. Cependant, il convient de réaliser l'essai [a) à i)] sur une unité individuelle, sauf spécification contraire.

Pour les essais thermiques, un échantillon préparé avec des capteurs de température supplémentaires, placés dans le point chaud prévu du condensateur unitaire, peut être utilisé si, selon le niveau de tension d'essai, l'effort d'isolement électrique nécessaire des capteurs thermiques reste raisonnable. Le choix est laissé à l'appréciation du fabricant.

Les essais de type doivent être réalisés par le fabricant et un certificat détaillant les résultats de ces essais doit être remis à l'acheteur sur demande.

6.3 Essais de réception

Tout ou partie des essais individuels de série et/ou essais de type peut être répété par le fabricant dans le cadre d'un contrat avec l'acheteur. Le type des essais, le nombre d'échantillons qui peuvent être soumis à ces essais répétés et les critères d'acceptation doivent faire l'objet d'un accord entre le fabricant et l'acheteur et doivent être indiqués dans le contrat.

NOTE Voir l'Article 9 et l'Article 10 pour la tension d'essai abaissée lors des essais de tension répétés.

7 Mesurage de la capacité

7.1 Procédure de mesure

La capacité doit être mesurée entre 0,9 et 1,1 fois la tension assignée à 50/60 Hz, avec une méthode qui exclut les erreurs dues aux harmoniques.

Un mesurage à une autre tension est admis, à condition que des facteurs de correction appropriés fassent l'objet d'un accord entre le fabricant et l'acheteur.

La capacité finale doit être mesurée après l'essai de tension (voir l'Article 9 et l'Article 10).

Pour révéler toute variation de la capacité, un mesurage préliminaire de la capacité doit être réalisé avant les autres essais individuels de série électriques. Ce mesurage préliminaire doit être réalisé avec une tension réduite inférieure ou égale à $0,15 U_N$.

L'exactitude de la méthode de mesure doit être telle que les tolérances du 7.2 puissent être respectées. En cas d'accord, une exactitude plus élevée peut être exigée, auquel cas l'exactitude de la méthode de mesure doit être indiquée par le fabricant.

La répétabilité de la méthode de mesure doit être telle qu'un élément défectueux puisse être détecté.

NOTE Pour les condensateurs polyphasés, la tension de mesure est ajustée pour donner 0,9 à 1,1 fois la tension assignée sur chaque élément.

7.2 Tolérances sur la capacité

La capacité ne doit pas différer de la capacité assignée de plus de

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

La valeur de capacité est celle mesurée dans les conditions du 7.1.

Dans les unités triphasées, le rapport valeur maximale/valeur minimale de la capacité mesurée entre deux quelconques bornes de ligne ne doit pas dépasser 1,05.

NOTE Une formule permettant de calculer la sortie d'un condensateur triphasé à partir d'un mesurage de capacité monophasée est donnée à l'Annexe D.

8 Mesurage de la tangente de l'angle de perte ($\tan \delta$) du condensateur

8.1 Procédure de mesure

Le facteur de perte du condensateur ($\tan \delta$) doit être mesuré entre 0,9 et 1,1 fois la tension assignée à 50/60 Hz, avec une méthode qui exclut les erreurs dues aux harmoniques. L'exactitude du système de mesure doit être consignée.

NOTE 1 Pour les condensateurs polyphasés, la tension de mesure est ajustée pour donner 0,9 à 1,1 fois la tension assignée sur chaque élément.

NOTE 2 La tangente de l'angle de perte des diélectriques à faibles pertes peut varier au cours des premières heures de la mise sous tension initiale. Cette variation n'est pas corrélée à la variation de $\tan \delta$ en fonction de la température. Le $\tan \delta$ mesuré dans les essais individuels de série peut varier de manière importante entre des unités identiques fabriquées en même temps. Toutefois, les valeurs "stabilisées" finales sont souvent dans des limites proches, telles qu'indiquées par les différences consignées entre les mesurages de l'essai individuel de série et la valeur déterminée dans les essais de stabilité thermique ou d'autres méthodes de conditionnement selon la pratique du fabricant.

NOTE 3 Le matériel de mesure est étalonné selon l'IEC 60996 ou selon une autre méthode qui donne une exactitude identique ou améliorée.

8.2 Exigences de perte

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

La valeur des pertes du condensateur est celle mesurée dans les conditions du 8.1.

9 Essais de tension entre les bornes

9.1 Généralités pour l'essai individuel de série

Chaque condensateur unitaire doit être soumis pendant 10 s à l'essai du 9.2 ou à celui du 9.3. En l'absence d'un accord, le choix est laissé à l'appréciation du fabricant. Pendant l'essai, les autorégénérations sont admises. Aucune perforation ni aucun contournement ne doit se produire.

En cas d'essai de tension de suivi, la tension doit être réduite à 80 % de U_t .

Pour les condensateurs polyphasés, il convient d'ajuster les tensions d'essai selon le cas.

9.2 Essai en courant alternatif

L'essai en courant alternatif doit être réalisé avec une tension sensiblement sinusoïdale:

$$U_t = 2,15 U_N$$

NOTE Le niveau de tension alternative d'essai et la durée de l'essai sont choisis en fonction de la conception diélectrique des condensateurs autorégénérateurs. Pour assurer un niveau de sécurité équivalent, la tension alternative d'essai ($U_t = 2,15 U_N$) est identique à celle des condensateurs autorégénérateurs basse tension selon l'IEC 60831-1. Elle dépasse donc la tension alternative d'essai ($U_t = 2,0 U_N$) des condensateurs à film/à feuilles selon l'IEC 60871-1 avec la même tension assignée U_N .

9.3 Essai en courant continu

La tension continue d'essai doit être la suivante:

$$U_t = 3,04 U_N (= \sqrt{2} \times 2,15 U_N)$$

NOTE La tension continue d'essai est choisie égale à la valeur de crête de la tension alternative d'essai. Des facteurs de tension d'essai en courant continu plus élevés peuvent endommager prématurément le diélectrique en raison d'un risque de claquages incertains voire non autorégénérateurs, qu'il est nécessaire d'éviter. Le niveau est donc différent de la tension continue d'essai ($U_t = 4,0 U_N$) des condensateurs à film/à feuilles selon l'IEC 60871-1 avec la même tension assignée U_N . Néanmoins, cette différence inhérente dont le caractère disparate des technologies de condensateur est à l'origine n'a aucune influence sur la fiabilité ou l'espérance de vie des unités autorégénératrices.

9.4 Essai de type

Chaque condensateur doit être soumis au même essai que celui spécifié en 9.1, mais pour une durée d'essai de 60 s. La capacité et le facteur de perte $\tan \delta$ doivent être mesurés avant et après cet essai à la tension assignée et à une fréquence de 50/60 Hz.

La variation de capacité provoquée par cet essai doit être inférieure à $\pm 0,5$ %.

La variation de δ provoquée par cet essai doit être inférieure à ± 30 %.

NOTE La durée d'essai étendue compense le niveau de tension d'essai en courant continu inférieur comparé aux autres technologies de condensateur avec U_t inférieur ou égal à $4,0 U_N$.

10 Tensions d'essai entre les bornes et la cuve

10.1 Essai individuel de série

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

Pour les unités utilisées dans des batteries avec neutre isolé, et les cuves étant reliées à la terre, les tensions d'essai selon 20.1 doivent être appliquées. Pour toutes les autres connexions de batterie, la tension d'essai doit être proportionnelle à la tension assignée et est calculée selon 20.3.

En l'absence d'informations permettant de savoir si une unité avec des bornes isolées de la cuve est utilisée avec la cuve connectée à la terre ou non, les tensions d'essai selon 20.1 doivent être appliquées. L'acheteur doit spécifier si l'essai est exigé.

Les unités dont une borne est connectée 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 de tension entre les phases de même valeur, de même que pour l'essai des bornes à la cuve.

Pendant l'essai, aucune perforation ni aucun contournement ne doit se produire.

En cas d'essai de tension de suivi, la tension doit être réduite à 80 % de U_t .

10.2 Essai de type

Chaque condensateur unitaire doit être soumis pendant 60 s à l'essai spécifié en 10.1.

Les unités avec des cuves en plastique ne sont pas soumises à cet essai. Le système d'isolement de ces unités doit être soumis à l'essai eu égard à la conception, aux matériaux et à la fabrication par d'autres moyens appropriés.

Les unités dont une borne est connectée en permanence à la cuve doivent également être soumises à une tension d'essai appliquée entre les bornes pour vérifier la pertinence de l'isolement par rapport à la cuve. La tension d'essai est proportionnelle à la tension assignée et est calculée selon 20.3.

À chaque fois que la tension de cet essai dépasse l'exigence d'essai diélectrique, la composition diélectrique de l'unité d'essai peut être modifiée (en augmentant le nombre d'éléments en série, par exemple) afin d'éviter une défaillance diélectrique. Toutefois, l'isolement à la cuve ne doit pas être modifié. Par ailleurs, cet essai peut être complété en utilisant une unité similaire avec deux bornes isolées qui présentent le même isolement par rapport à la cuve.

Les unités avec des phases séparées doivent être soumises à des essais de tension entre les phases à la même tension d'essai que celle entre les bornes et la cuve.

Les essais sont réalisés à sec pour les unités destinées à être utilisées en intérieur et avec une pluie artificielle (voir l'IEC 60060-1) pour les unités destinées à être utilisées en extérieur.

Les positions des traversées, lorsqu'elles sont soumises à un essai sous pluie artificielle, doivent correspondre à leur position en service. Pendant l'essai, aucune perforation ni aucun contournement ne doit se produire.

Il convient que l'essai alternatif réalisé sur des unités avec des cuves en plastique respecte la distance d'isolement et les lignes de fuite nécessaires lors de la mise en place des électrodes d'essai sur la surface pour l'application de la tension d'essai.

Les unités destinées aux installations extérieures peuvent n'être soumises qu'à un essai à sec si le fabricant est en mesure 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, la position des traversées doit correspondre à celle qu'elles occupent en service.

11 Essai du dispositif interne de décharge

La résistance du dispositif interne de décharge prévu, le cas échéant, doit être vérifiée par un mesurage de résistance ou par un mesurage du taux d'autorégénération (voir l'Article D.6).

Le choix de la méthode est laissé à l'appréciation du fabricant.

L'essai doit être exécuté après les essais de tension de l'Article 9.

12 Essai d'étanchéité

L'unité (avant peinture) doit être soumise à un essai qui détecte réellement toute fuite de la cuve et de la ou des traversées. La procédure d'essai est laissée au choix du fabricant, qui doit décrire la méthode d'essai appliquée.

Si le condensateur contient uniquement des matériaux qui sont solides dans les limites de sa plage de températures de fonctionnement normales, l'essai peut être omis en tant qu'essai individuel de série, sauf si l'étanchéité est obligatoire pour déclencher un dispositif de sécurité (voir l'Article 19).

Si le fabricant ne spécifie pas de procédure, la procédure d'essai suivante doit être appliquée. Un condensateur étanche hors tension est alimenté en air sous pression jusqu'à 0,3 bar au-dessus de la pression atmosphérique. L'alimentation en air sous pression est verrouillée et la pression à l'intérieur du condensateur est surveillée. Si aucune diminution de pression n'est détectée dans les 20 s qui suivent, l'essai est concluant. Il est recommandé d'utiliser un indicateur adapté.

Il convient de réaliser l'essai à l'air sous pression avant de remplir le condensateur (avec de la résine, par exemple).

13 Essai de stabilité thermique (essai de type)

13.1 Généralités

Cet essai est destiné à

- a) déterminer la stabilité thermique du condensateur dans les conditions de surcharge, et
- b) mettre le condensateur dans les conditions qui permettent d'effectuer le mesurage des pertes de manière reproductible.

13.2 Procédure de mesure

Le condensateur unitaire soumis à l'essai doit être placé entre deux autres unités ayant les mêmes caractéristiques assignées et doit être mis sous tension à la même tension que le condensateur d'essai.

Le condensateur unitaire peut être éventuellement équipé d'un capteur thermique interne pour surveiller la température du point chaud.

Par ailleurs, deux condensateurs fictifs contenant chacun des résistances peuvent être utilisés. La dissipation dans les résistances doit être ajustée à une valeur telle que la température du boîtier des condensateurs fictifs à proximité des faces opposées soit supérieure ou égale à celle du condensateur d'essai. La séparation entre les unités doit être inférieure ou égale à l'espacement normal. L'ensemble doit être placé dans une enceinte chauffée sans ventilation, en adoptant la position la plus défavorable du point de vue thermique selon les instructions du fabricant pour le montage sur site. La température de l'air ambiant doit être maintenue supérieure ou égale à la température appropriée indiquée dans le Tableau 2. Elle doit être vérifiée à l'aide d'un thermomètre dont la constante de temps thermique est d'environ 1 h. Ce thermomètre doit être protégé de manière à recevoir le moins de rayonnement thermique possible des trois échantillons sous tension.

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 d'essai doit être soumis à une tension alternative de forme pratiquement sinusoïdale pendant au moins 48 h. L'amplitude de tension tout au long de l'essai doit être ajustée de façon à obtenir une puissance calculée, à partir de la capacité mesurée mesurée (voir l'Article 7), au moins égale à 1,44 fois sa puissance assignée.

Pendant les 6 dernières heures, la température près du dessus de la cuve doit être mesurée au moins quatre fois. Pendant cette période de 6 h, l'échauffement ne doit pas augmenter de plus de 1 K. Si une variation plus importante est observée, l'essai doit être prolongé tant que l'exigence ci-dessus n'est pas satisfaite pour quatre mesurages consécutifs pendant une autre période 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.

Avant et après l'essai, la capacité et le facteur de perte $\tan \delta$ doivent être mesurés (voir l'Article 7 et le 8.1) à la même température diélectrique. La différence entre les deux mesurages de la capacité et du facteur de perte δ doit être inférieure à $\pm 2 \%$ pour la capacité et à moins de $20 \% + 1 \times 10^{-4}$ pour $\tan \delta$.

Lors de l'interprétation des résultats de mesure, deux facteurs doivent être pris en compte:

- la répétabilité de mesure;
- le fait que la variation interne du diélectrique peut provoquer une légère variation de la capacité et du facteur de perte $\tan \delta$.

NOTE 1 L'objectif de ces mesurages comparatifs est de démontrer la stabilité des paramètres électriques dans les conditions de charge thermique maximales.

NOTE 2 Au moment de vérifier si les conditions de température sont satisfaites, il est nécessaire de tenir compte des fluctuations de tension, de fréquence et de température de l'air ambiant pendant l'essai. C'est la raison pour laquelle il est conseillé de tracer ces paramètres et l'échauffement de la cuve en fonction du temps.

Les unités destinées à une installation à 60 Hz peuvent être soumises à l'essai à 50 Hz, et les unités destinées à une installation à 50 Hz peuvent être soumises à l'essai à 60 Hz à condition d'appliquer la puissance spécifiée. Pour les unités assignées à moins de 50 Hz, il convient de définir les conditions d'essai dans le cadre d'un accord entre le fabricant et l'acheteur et en respectant l'effort technique.

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

14.1 Procédure de mesure

Le facteur de perte du condensateur ($\tan \delta$) doit être mesuré directement sur le condensateur chauffé à la fin de l'essai de stabilité thermique (voir l'Article 13). La tension de mesure doit être celle de l'essai de stabilité thermique.

NOTE Le résultat de ce mesurage de $\tan \delta$ permet de calculer les pertes totales du condensateur unitaire proche de ses conditions de fonctionnement réelles.

14.2 Exigences

La valeur de δ , mesurée selon 14.1, ne doit pas dépasser la valeur déclarée par le fabricant pour la température et la tension de l'essai ou la valeur convenue entre le fabricant et l'acheteur.

15 Essai de tension de choc de foudre entre les bornes et la cuve (essai de type)

L'essai de tension de choc de foudre s'applique aux condensateurs unitaires destinés à être utilisés dans des batteries avec neutre isolé et pour la connexion aux lignes aériennes.

Les unités dont toutes les bornes sont isolées de la cuve, les cuves étant reliées à la terre, doivent être soumises à l'essai suivant.

Les condensateurs dont le matériau de la cuve n'est pas conducteur doivent être soumis à l'essai à l'aide d'une feuille conductrice enroulée couvrant la majeure partie de la cuve formant la polarité inverse (terre) contre les bornes connectées.

NOTE Il est nécessaire de prendre en considération la distance d'isolement et la ligne de fuite lors de l'utilisation de la feuille conductrice pour recouvrir une cuve non conductrice et mettre en place les électrodes d'essai sur la surface pour l'application de la tension d'essai.

Quinze chocs de polarité positive suivis de quinze chocs de polarité négative doivent être appliqués entre les traversées reliées entre elles et la cuve.

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

Le condensateur est considéré comme ayant satisfait à l'essai si

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

L'essai de tension de 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 satisfaisant à l'exigence de l'essai d'isolement selon 20.1.

En l'absence d'informations permettant de savoir si une unité avec des bornes isolées de la cuve est utilisée avec la cuve connectée à la terre ou non, l'essai de tension de choc de foudre doit être appliqué. L'acheteur doit spécifier si l'essai est exigé.

Les unités dont une borne est connectée en permanence à la cuve ne doivent pas être soumises à cet essai.

16 Essai de surtension (essai de conception)

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, dès lors que ce dernier est assemblé pour former un condensateur unitaire.

L'échantillon d'essai doit être fabriqué en utilisant les matériaux de production normalisés et en appliquant les procédures de fabrication normalisées. L'échantillon d'essai doit satisfaire aux essais individuels de série applicables spécifiés au 6.1. L'échantillon d'essai doit être fabriqué selon l'Article A.2.

Les conditions d'essai spécifiées ci-dessous 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 le présent document. 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 fabricants. Cela peut s'appliquer lorsque des marges de sécurité supplémentaires sont prises en compte lors de la conception ou lors de l'utilisation des dispositifs de protection contre les surtensions diélectriques comme des parafoudres ou matériels de coupure synchronisée. Il convient que la surtension répétée telle qu'indiquée au 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. Après l'essai, la capacité et le facteur de perte du condensateur ($\tan \delta$) de l'échantillon d'essai doivent être mesurés à sa tension assignée. La température ambiante pour l'essai de conditionnement doit être comprise entre +15 °C et +35 °C.

16.3 Mode opératoire d'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 ambiante basse est spécifié par l'acheteur ou fait l'objet d'un accord entre l'acheteur et le fabricant.

- 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 d'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, après laquelle une tension égale à 1,1 fois U_N est de nouveau maintenue sans aucune interruption de tension. Après un intervalle de 1,5 min à 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 une journée. (Pour de plus amples informations relatives aux caractéristiques de tension d'essai, voir 16.5.4.)

NOTE 2 La tension d'essai ($2,25 U_N$) est choisie en fonction de la tension de l'essai de surtension de l'IEC 60871-1.

- c) Répéter les étapes a) et b) pendant quatre jours supplémentaires. Les applications combinées de surtension $2,25 U_N$ doivent être réalisées 300 fois au total.
- d) Dans l'heure qui suit la réalisation de l'étape c), poursuivre l'application de $1,4 U_N$ pendant 96 h au total. La température ambiante d'essai doit être comprise entre $+15\text{ °C}$ et $+35\text{ °C}$.
- e) Le mesurage de la capacité et du facteur de perte du condensateur ($\tan \delta$) doit être répété à la tension assignée.

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 fabricant d'augmenter le nombre d'applications de surtension de $2,25 U_N$ par jour. Il convient ensuite de réduire en conséquence le nombre de jours 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 mesurages de la capacité. La variation totale de capacité pendant l'essai doit être inférieure à 2 %. En cas de claquage, deux autres échantillons doivent être soumis à l'essai et aucun des deux échantillons ne doit présenter de claquage. La différence entre les deux mesurages du facteur de perte du condensateur ($\tan \delta$) doit être inférieure à $30\% + 1 \times 10^{-4}$.

16.5 Validité de l'essai

16.5.1 Généralités

Chaque essai de surtension couvre également d'autres conceptions de condensateurs dont il est admis qu'elles diffèrent de la conception soumise à l'essai dans les limites spécifiées suivantes.

16.5.2 Conception d'élément

Une conception d'élément est considérée comme étant comparable aux éléments constitutifs des unités à fabriquer si les exigences de l'Article A.1 sont satisfaites.

16.5.3 Conception d'unité d'essai

Une unité d'essai est considérée comme étant comparable aux unités à fabriquer si les exigences de l'Article A.2 sont satisfaites.

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.

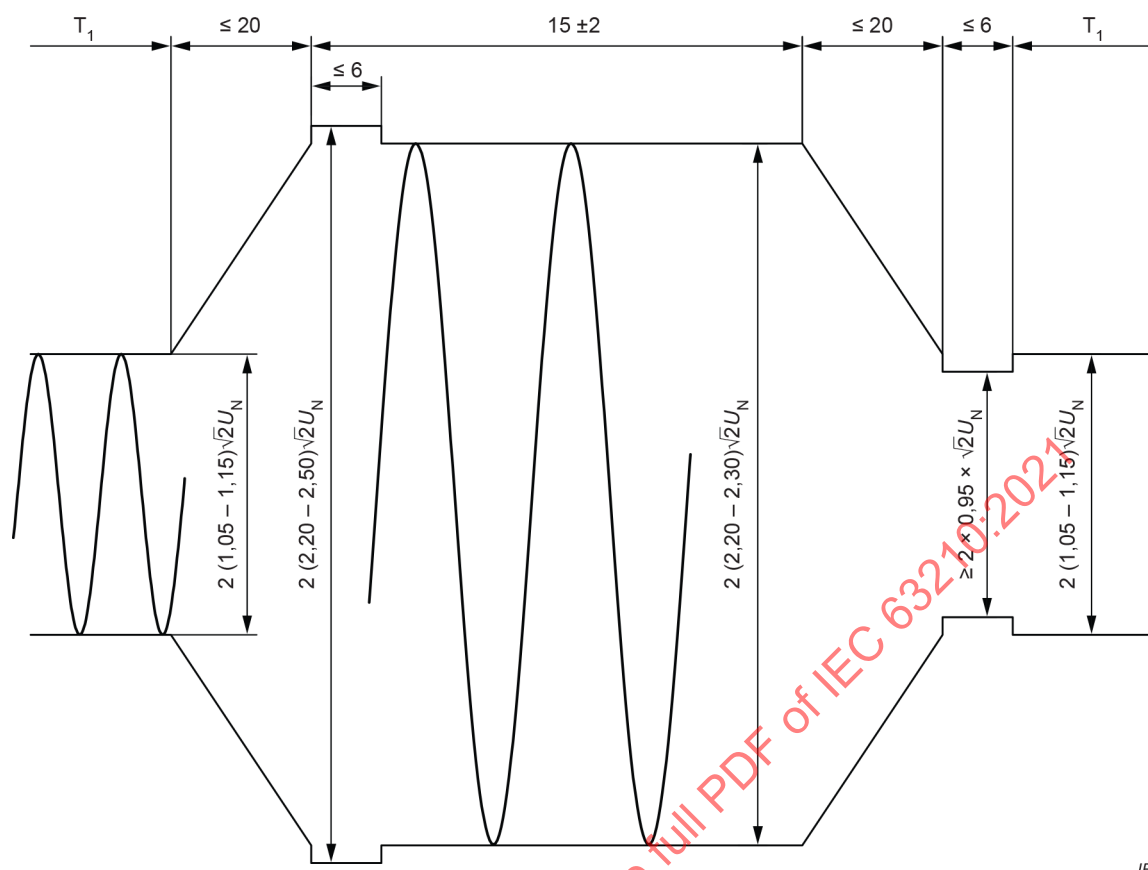


Figure 1 –Limites de temps et d'amplitude d'une période de surtension

NOTE Les durées, autres que T_1 , sont exprimées en nombre 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. Les tensions indiquées sont des valeurs crête à crête.

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

L'unité doit être chargée par une alimentation 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 continue d'essai doit être de $2,5 U_N (= \sqrt{2} \times 1,77 U_N)$.

La capacité doit être mesurée avant et après les essais de décharge. La différence entre les deux mesurages doit être inférieure à $\pm 2 \%$.

Le facteur de perte ($\tan \delta$) doit être mesuré avant et après les essais de décharge. La différence entre les deux mesurages doit être inférieure à $20 \% + 1 \times 10^{-4}$.

NOTE 1 L'essai de décharge a pour but de mettre en évidence toute faiblesse de conception des connexions internes au niveau de l'élément et de l'unité.

NOTE 2 Compte tenu de son éventuelle teneur élevée en énergie, cet essai est limité au niveau de l'unité.

Dans les applications où les courants de surcharge et/ou les courants transitoires sont limités, des tensions d'essai inférieures à $2,5 U_N$ peuvent être utilisées, comme convenu entre le fabricant et l'acheteur.

18 Essai d'autorégénération (essai de type)

18.1 Généralités

Cet essai a pour objet de démontrer l'utilisation d'éléments de condensateur autorégénérateur. Cet essai peut être réalisé sur une unité complète ou sur un élément ou groupe d'éléments séparé faisant partie intégrante de l'unité, à condition que l'élément ou les éléments en essai soient identiques à ceux utilisés dans l'unité et que leurs conditions soient similaires à celles qui existent dans l'unité. Le choix est laissé à l'appréciation du fabricant.

18.2 Montage d'essai

Le condensateur ou l'élément doit être soumis pendant 10 s à une tension alternative de $2,15 U_N$ ou une tension continue de $3,04 U_N (= \sqrt{2} \times 2,15 U_N)$. Le choix est laissé à l'appréciation du fabricant.

Si moins de cinq claquages se produisent pendant cette période, la tension doit être augmentée lentement tant que cinq claquages ne se sont pas produits depuis le début de l'essai ou tant que la tension n'a pas atteint $3,5 U_N$ en courant alternatif ou $4,95 U_N (= \sqrt{2} \times 3,5 U_N)$ en courant continu.

Si moins de cinq claquages se sont produits lorsque la tension a atteint la limite de tension indiquée ci-dessus pendant une période de 10 s, l'essai doit prendre fin si au moins un relâchement s'est produit. Si aucun claquage ne s'est produit, l'essai peut se poursuivre jusqu'à obtenir au moins un claquage, ou il peut être interrompu et répété sur une autre unité ou un autre élément identique, au choix du fabricant.

18.3 Critères d'acceptation

Avant et après l'essai, la capacité et $\tan \delta$ doivent être mesurés (voir 7.1 et 8.1).

La différence entre les deux mesurages de la capacité et du facteur de perte ($\tan \delta$) doit être inférieure à $\pm 0,5 \%$ pour la capacité et à moins de $\pm 10 \% + 1 \times 10^{-4}$ pour $\tan \delta$.

NOTE 1 Un claquage peut être détecté pendant l'essai par oscilloscope ou par une méthode d'essai acoustique ou à haute fréquence. En particulier, un matériel d'essai de claquage autorégénérateur (voir l'Annexe B) peut être utilisé.

NOTE 2 L'essai réalisé sur une partie d'une unité peut faciliter la détection d'un claquage autorégénérateur.

Pour les condensateurs polyphasés, il convient d'ajuster les tensions d'essai en conséquence. Lors de la comparaison des résultats de mesure de la capacité et de $\tan \delta$ obtenus avant et après l'essai, il convient de tenir compte de deux facteurs:

- a) la reproductibilité de mesure;
- f) le fait que la variation interne du diélectrique peut provoquer une légère variation de la capacité sans préjudice pour le condensateur.

19 Essai de destruction (essai de conception)

19.1 Généralités

L'essai de destruction doit démontrer le comportement sûr d'un condensateur en situation de défaut dans les conditions d'essai définies. Seuls les condensateurs qui satisfont aux critères d'acceptation de cet essai de destruction peuvent être caractérisés et marqués comme étant des condensateurs protégés en interne et en externe.

D'autres méthodes et détecteur de défaut avec d'autres mécanismes de sécurité (voir 3.8.6) peuvent être utilisés dans le cadre d'un accord entre le fabricant et l'acheteur. Les démonstrations du comportement sûr réalisées selon des méthodes différentes de l'essai spécifié dans le présent document ne sont valables que pour l'acheteur concerné.

La décision de procéder à l'essai de destruction sur le condensateur du projet d'origine peut être prise dans le cadre d'un accord entre le fabricant et l'acheteur.

NOTE La puissance réactive nécessaire pour procéder à ces essais de destruction peut limiter la possibilité d'utiliser les condensateurs réels à fabriquer. C'est la raison pour laquelle un modèle de condensateur conforme à l'Annexe A peut généralement être utilisé pour l'essai de destruction.

Pour les condensateurs autorégénérateurs avec un dispositif de sécurité activement surveillé, il est essentiel de soumettre à l'essai le déclenchement du dispositif de sécurité (un détecteur de surpression, un déconnecteur à surpression, un détecteur thermique ou un déconnecteur thermique, par exemple).

Cet essai doit être réalisé avec un échantillon comparable au condensateur produit (voir l'Annexe A). Il est admis d'utiliser un échantillon provenant de l'essai de surtension (Article 16) ou un condensateur échantillon neuf.

Si ce type de dispositif activement surveillé est utilisé dans la pratique, l'acheteur doit veiller à la surveillance active et à la pertinence dans l'application, ainsi qu'à la déconnexion permanente forcée électriquement de l'alimentation, en cas de déclenchement du dispositif de sécurité. Sinon, le dispositif de sécurité n'assure pas une protection adaptée. Cela s'applique également aux détecteur de défaut fonctionnant de la même manière avec d'autres mécanismes de sécurité selon 3.8.6.

Il est de la responsabilité du fabricant de donner toutes les informations nécessaires à l'acheteur pour le bon fonctionnement du dispositif de sécurité activement surveillé.

19.2 Montage d'essai des condensateurs sans dispositif de sécurité activement surveillé (protégé en interne)

Ce type d'essai de destruction s'applique aux condensateurs autorégénérateurs utilisant un dispositif de sécurité non activement surveillé (des condensateurs à structure de métallisation segmentée ou à structure de métallisation spéciale non segmentée, par exemple). Pendant l'essai, l'échantillon doit être soumis à une contrainte en utilisant une surtension en courant alternatif ou une combinaison de surtensions en courant continu et en courant alternatif, ainsi que des pas d'échauffement avec un mesurage intermittent de la capacité selon l'Article 7, tant que cette valeur n'est pas passée en dessous de 10 % de la valeur d'origine.

Pendant l'application de la tension, la tension alternative doit rester supérieure à la tension assignée du condensateur unitaire, et la tension continue doit toujours être inférieure à la valeur efficace de la tension alternative appliquée.

Des valeurs spécifiques de surtensions et d'échauffement doivent être suggérées par le fabricant et acceptées par l'acheteur.

Le fonctionnement d'une seule phase du condensateur est admis lors de la réalisation de cet essai.

NOTE Paramètres d'essai de surtension et d'échauffement indicatifs:

- durée dans une plage de minutes et d'heures;
- échauffement de préférence dans la plage comprise entre 60 °C et 90 °C;
- surtension dans la plage comprise entre 1,1 fois et 3 fois U_N .

19.3 Critères d'acceptation

L'essai doit être considéré comme étant concluant si l'échantillon n'est pas arraché (forme gonflée admise) et si l'échantillon satisfait à l'essai d'isolement selon 10.1.

19.4 Montage d'essai des condensateurs avec dispositif de sécurité activement surveillé (protégé en externe)

Le déclenchement du dispositif de sécurité doit être soumis à l'essai pendant qu'il est intégré dans le condensateur, dans une situation proche de la condition de service réelle. Pendant l'essai, l'échantillon est mis en fonctionnement avec une tension alternative égale à 1,1 fois la tension assignée pour déclencher le dispositif de sécurité. De plus, il convient de modifier l'échantillon de manière appropriée en utilisant au maximum trois éléments d'enroulement (un par phase), qui ont été endommagés avant de les insérer dans le condensateur. De cette manière, ces éléments d'enroulement augmentent la température et génèrent du gaz pendant le fonctionnement du condensateur à 1,1 fois la tension assignée qui doit déclencher le dispositif de sécurité (un détecteur de surpression, un déconnecteur à surpression ou un déconnecteur thermique, par exemple).

Une autre option consiste à utiliser jusqu'à trois résistances chauffantes (une par phase) en lieu et place d'éléments d'enroulement endommagés pour provoquer en local une surcharge thermique et générer du gaz. À cet effet, il est admis de modifier les résistances de décharge interne de manière appropriée afin de les utiliser comme résistances chauffantes. Le modèle de condensateur est mis en fonctionnement à 1,1 fois la tension assignée, et en chauffant les résistances, les éléments de condensateur échouent et génèrent du gaz comme si des éléments endommagés étaient utilisés.

Le choix du type de préparation de l'échantillon est laissé à l'appréciation du fabricant. Il n'est pas admis d'utiliser l'enroulement endommagé ou la résistance chauffante juste après le dispositif de sécurité. Ils doivent être placés de sorte que le chemin du gaz généré ou de l'échauffement soit aussi long que possible (cas le plus défavorable).

Le fabricant doit présenter les documents appropriés pour apporter la preuve que le modèle de condensateur utilisé dans cet essai de destruction représente, par sa taille, sa forme et/ou son facteur de forme, la conception la plus critique eu égard au déclenchement du dispositif de sécurité.

Si le dispositif de sécurité présente d'autres effets physiques que la pression ou la génération de chaleur, un mode opératoire d'essai comparable est exigé pendant le fonctionnement électrique. Dans ce cas, le mode opératoire spécifique doit être suggéré par le fabricant et confirmé par l'acheteur.

Il est recommandé de procéder à l'essai individuel de série de la qualité de l'étanchéité avant cet essai du condensateur, si l'effet physique de pression est surveillé par le dispositif de sécurité.

Une manière appropriée d'endommager les enroulements consiste à appliquer une contrainte sur le diélectrique avec des surtensions en courant continu et un courant limité (50 mA à 200 mA) tant que le processus d'autorégénération n'est pas défaillant et que le facteur de perte n'est pas drastiquement augmenté par un claquage diélectrique permanent. D'autres méthodes sont également admises.

Dans le cas d'un condensateur unitaire triphasé, le fonctionnement d'une seule phase du condensateur est admis pendant cet essai. En cas de rétablissement de l'élément endommagé pendant l'essai, le passage à une nouvelle phase de l'échantillon pour l'essai ou l'utilisation d'un échantillon totalement neuf pour cet essai est admis.

19.5 Critères d'acceptation

L'essai doit être considéré comme étant concluant si le dispositif de sécurité s'est déclenché, si l'échantillon n'est pas arraché (forme gonflée admise) et si l'échantillon satisfait à l'essai d'isolement selon 10.1.

20 Niveaux d'isolement

20.1 Valeurs d'isolement normalisées

Les niveaux d'isolement d'une installation de condensateurs doivent être choisis parmi les valeurs normalisées spécifiées par l'IEC 60071-1:2019.

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

- plage I: Au-dessus de 1 kV jusqu'à 245 kV inclus (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 performances ou modèles de surtension. Le choix doit tenir compte du degré d'exposition aux surtensions à front rapide et lent, du type de mise à la terre du neutre du réseau et du type des dispositifs de limitation des surtensions, conformément à l'IEC 60071-2.

20.2 Exigences générales

20.2.1 Généralités

Les exigences générales ci-dessous doivent être appliquées aux installations qui peuvent être constituées soit d'une seule unité, soit d'une batterie de condensateurs.

Les traversées, les isolateurs et autres matériels isolants doivent être choisis avec des caractéristiques assignées d'isolement pour satisfaire 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 de matériel doivent être utilisées chaque fois que cela est applicable. Isolement total signifie un niveau d'isolement supérieur ou égal à celui du réseau.

Pour les condensateurs installés à plus de 1 000 m d'altitude, le facteur de correction suivant doit être appliqué à toutes les exigences d'isolement définissant les performances de l'isolement 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 l'essai à des altitudes inférieures.

Facteur de correction:

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

où H est l'altitude, en mètres.

20.2.2 Composants isolants adjacents et matériels

Tous les composants isolants ou le matériel 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 20.1.

20.2.3 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 20.1.

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.

20.2.4 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.

20.3 Essai entre bornes et cuve des condensateurs unitaires

Les essais individuels de série et les essais de type sont exigés à l'Article 10 et à l'Article 15 pour vérifier les exigences concernant les traversées et l'isolement borne-cuve conformément à 20.2.3 et 20.2.4.

Dans les cas où l'essai sous tension alternative (voir l'Article 10 et l'Article 15) est fondé sur la tension assignée, la tension d'essai doit être calculée selon l'équation suivante:

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

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.

20.4 Condensateurs sur des réseaux monophasés

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

Pour les condensateurs isolés de la terre, les mêmes exigences d'isolement que celles d'un réseau triphasé isolé de la terre doivent être appliquées.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63210:2021

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

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
Si les valeurs entre parenthèses sont insuffisantes pour démontrer que les tensions de tenue entre phases exigées sont obtenues, des essais supplémentaires de tension de tenue entre phases doivent être réalisés.		
^a Ces valeurs de U_m sont des valeurs non préférentielles dans l'IEC 60038, par conséquent aucune combinaison normalisée préférentielle n'est spécifiée 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 60071-1:2019, 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-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 60071-1:2019, Tableau 3.

21 Surcharges – Tension maximale admissible

21.1 Tensions de longue durée

Les condensateurs unitaires doivent être adaptés à une exploitation aux niveaux de tension indiqués dans le Tableau 5 (voir 29.2 et 29.5.1).

Tableau 5 – Niveaux de tension admissibles en service

Type	Facteur de tension (Surtension / U_N)	Durée maximale	Observation
Fréquence industrielle	1,00	Continue	Valeur moyenne la plus élevée pendant n'importe quelle période de mise sous tension du condensateur. Pour les périodes de mise sous tension inférieures à 24 h, des exceptions sont applicables selon les valeurs données ci-dessous (voir 29.2)
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 29.2)
Fréquence industrielle	1,30	1 min	
Fréquence industrielle plus harmoniques	Tels que le courant ne dépasse pas la valeur donnée à l'Article 22 (voir également 29.6 et 29.7.1).		

Les amplitudes des surtensions qui peuvent être tolérées sans dégradation notable du condensateur dépendent de leur durée, de leur nombre total et de la température du condensateur (voir 29.2). Par hypothèse, 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.

21.2 Surtensions de manœuvre

La tension résiduelle présente sur un condensateur avant mise sous tension ne doit pas dépasser 10 % de la 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 (valeur efficace) pendant une durée maximale d'une demi-période.

Il est pris pour hypothèse que les condensateurs peuvent être commutés 1 000 fois par an dans ces conditions. (La crête de surintensité transitoire associée peut atteindre 100 fois I_N ; voir 29.6.2.)

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 dans le contrat.

22 Surcharges – Courant maximal admissible

Les condensateurs unitaires doivent être adaptés au fonctionnement continu sous un courant efficace égal à 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 29.6).

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 21.1.

23 Exigences de sécurité pour des dispositifs de décharge

Chaque condensateur unitaire doit être équipé de moyens permettant de le décharger à une tension maximale de 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 tout autre dispositif d'isolement 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 du condensateur en court-circuit et à la terre avant toute manipulation.

Il convient de considérer les condensateurs directement reliés à un autre matériel électrique qui assure leur décharge comme étant convenablement déchargés si les caractéristiques du circuit satisfont aux exigences de décharge.

Pour les batteries dont les condensateurs unitaires sont connectés en série, la tension aux bornes de la batterie peut être supérieure à 75 V après 10 min de décharge en raison de l'effet cumulatif des tensions résiduelles de chaque unité. Il convient que le fabricant déclare la durée de décharge à 75 V pour la batterie dans la notice d'instructions 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 l'Article 21.

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 locales qui ne peuvent 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.

24 Exigences de sécurité pour les connexions de cuve

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

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

25 Exigences de sécurité pour la protection de l'environnement

Des précautions doivent être prises pour les condensateurs imprégnés de matériaux qui ne doivent pas être dispersés dans l'environnement. Il existe dans certains pays des exigences légales à ce propos (voir 0).

26 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 dans lequel le condensateur doit être installé.

27 Marquages du condensateur unitaire

27.1 Plaque signalétique

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

- a) le nom du fabricant;
- b) le numéro d'identification et l'année de fabrication. L'année peut faire partie du numéro d'identification ou être sous forme codée;
- c) la puissance assignée Q_N en kilovars. La puissance totale pour les unités triphasées doit être indiquée (voir l'Annexe D);
- d) la tension assignée U_N en volts ou kilovolts;
- e) la fréquence assignée f_N en hertz;
- f) la catégorie de température (voir 4.1);
- g) le dispositif de décharge, s'il est interne. Il doit être indiqué en toutes lettres, par le symbole  (IEC 60417-6321:2015-03) ou par sa valeur ohmique assignée;
- h) le niveau d'isolement U_i en kilovolts (uniquement pour les unités 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 l'Article 20). Le niveau d'isolement ne doit pas être marqué pour les unités qui ne sont pas soumises à l'essai selon l'Article 15;
- i) le symbole de connexion. À l'exception des condensateurs monophasés n'ayant qu'une seule capacité, tous les condensateurs doivent comporter l'indication de leur schéma de connexion. Pour les symboles de connexion normalisés, voir 27.2;
- j) la technologie du condensateur. Elle doit être indiquée par le terme "autorégénérateur", "SH" ou par le symbole  (IEC 60417-6157:2012-04);
- k) la protection du condensateur et le type de protection, par exemple:
 - non protégé;
 - protégé en interne – film segmenté;
 - protégé en externe – détecteur de surpression;
- l) le produit chimique servant à l'imprégnation ou sa désignation commerciale. Ce renseignement doit être porté sur la plaque de mise en garde; voir 27.3);
- m) la référence à l'IEC 63210 (avec l'année de publication).

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

27.2 Symboles de connexion normalisés

Le type de connexion doit être indiqué par des lettres ou au moyen des symboles suivants:

D	ou		= triangle	(IEC 60617-S00806:2001-07)
Y	ou		= étoile	(IEC 60617-S00808:2001-07)
YN	ou		= étoile, neutre sorti	(IEC 60617-S00809:2001-07)
III	ou		= trois sections sans connexions mutuelles internes	(IEC 60617-S00797:2001-07)

27.3 Plaque de mise en garde

Si le condensateur unitaire contient des matériaux qui peuvent polluer l'environnement (voir l'Article 25) ou qui peuvent être dangereux de toute autre façon (par exemple en raison de leur inflammabilité), l'unité doit comporter une étiquette. L'acheteur doit informer le fabricant des lois du pays d'utilisation applicables aux étiquettes.

28 Marquages de la batterie de condensateurs

28.1 Notice d'instructions ou plaque signalétique

Les informations suivantes, au minimum, doivent être données par le fabricant dans une notice d'instructions ou, en variante et sur demande de l'acheteur, sur une plaque signalétique:

- le nom du fabricant;
- la puissance assignée Q_N en mégavars. La puissance totale doit être indiquée;
- la tension assignée U_N en kilovolts;
- le niveau d'isolement U_i . Le marquage du niveau d'isolement 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 courte durée à fréquence industrielle (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);
- le symbole de connexion. Pour les symboles de connexion normalisés, voir 27.2. Le symbole de connexion peut faire partie d'un schéma de connexion simplifié qui représente par exemple la protection contre les déséquilibres, les bobines d'amortissement, etc.;
- la durée minimale exigée entre la déconnexion de la batterie et sa remise sous tension (voir 4.1 a)) et l'Annexe D);
- la durée de décharge à 75 V (dans le cas de batteries dont la tension assignée dépasse 25 kV).

28.2 Plaque de mise en garde

Le 27.3 concerne également la batterie de condensateurs.

29 Guide d'installation et d'exploitation

29.1 Généralités

À l'inverse de la plupart des appareils électriques, à partir de leur mise sous tension, les condensateurs-shunt fonctionnent en permanence à pleine charge ou à des charges qui ne s'écartent de cette valeur qu'en fonction des variations de tension et de fréquence.

Les contraintes et les températures excessives raccourcissent la durée de vie d'un condensateur, et c'est pourquoi il convient de strictement spécifier et contrôler les conditions de fonctionnement (c'est-à-dire la température, la tension et le courant).

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

Les différents types de condensateurs et les nombreux facteurs qui interviennent rendent impossible de couvrir la totalité des cas d'installation et d'exploitation par des règles simples. Les informations suivantes concernent les points les plus importants à prendre en considération.

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.

29.2 Choix de la tension assignée

Il convient que la tension assignée du condensateur ne soit pas inférieure à la tension de service maximale du réseau auquel le condensateur doit être connecté, compte tenu de l'influence du condensateur lui-même.

Dans certains réseaux, il peut exister une différence considérable entre la tension assignée et la tension de service du réseau. Il convient que l'acheteur fournisse ces données de sorte que le fabricant puisse prévoir les marges nécessaires. Cela importe pour les condensateurs, étant donné que leurs performances comme leur durée de vie peuvent être altérées par une augmentation 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 de service du réseau exige d'augmenter la tension assignée du condensateur de manière correspondante.

En l'absence d'informations contraires, il convient de prendre pour hypothèse que la tension de service est égale à la tension assignée ou déclarée du réseau.

Pour déterminer la valeur de la tension à prévoir 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 l'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 aux bornes du condensateur peut être particulièrement élevée au moment auquel le réseau est peu chargé (voir l'Annexe D).

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